

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р



РЕДКОЛЛЕГИЯ СЕРИИ
«НАУЧНО-БИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА»
И ИСТОРИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ
ИНСТИТУТА ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ
И ТЕХНИКИ АН ССР ПО РАЗРАБОТКЕ НАУЧНЫХ БИОГРАФИЙ
ДЕЯТЕЛЕЙ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ:

*Л. Я. Бляхер, А. Т. Григорьян, Б. М. Кедров, Б. Г. Кузнецов,
В. И. Кузнецов, А. И. Купцов, Б. В. Левшин, С. Р. Микулинский,
Д. В. Ознобишин, Э. К. Соколовская (ученый секретарь),
В. Н. Сокольский, Ю. И. Соловьев, А. С. Федоров
(зам. председателя), И. А. Федосеев (зам. председателя),
Н. А. Фигуровский (зам.-председателя), А. А. Чеканов,
С. В. Шухардин*, *А. П. Юшкевич, А. Л. Яншин (председатель),
М. Г. Ярошевский*

В. П. Карцев

**Михаил Полиевктович
КОСТЕНКО**

(1889—1976)



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА

1981

К 21 Карцев В. П. Михаил Полиевктович Костенко
(1889—1976). М.: Наука, 1981. 288 с.

Книга — биография академика М. П. Костенко, выдающегося советского ученого, основателя научной школы электромашиностроения. При его непосредственном участии в Советском Союзе началась разработка ряда важнейших отраслей современной электротехники. Крупные теоретические и практические достижения этой школы во многом содействовали повышению престижа советской науки, ее выдвижению на самые передовые позиции в области энергетики и электротехники. В книге подробно анализируется процесс формирования Ленинградской научно-технической школы электромашиностроения и роль в этом процессе М. П. Костенко — руководителя и лидера этой школы.

Ответственный редактор
академик И. А. ГЛЕБОВ

© Издательство «Наука», 1981 г.

К $\frac{20100-192}{054(02)-81}$ 83-80 НП. 1601000000

«...Судьбы людей таковы, что их либо быстро забывают после смерти, либо, наоборот, они все больше и больше вырастают в нашей памяти как живые памятники прошлого и светочи жизни. Помню, как однажды вечером, перед заходом солнца, мне пришлось выехать из Еревана к озеру Севан. Вдали, на горизонте виднелся Арарат. Дорога поднималась в горы все выше и выше, и все выше над горизонтом вставала вершина Арарата. И когда мы были уже совсем высоко, белая гора, ставшая розовой от лучей заходящего солнца, занимала основную часть всего видимого горизонта...» Эти полные чувства и поэзии строки, несущие важную мысль, написаны много лет назад академиком М. П. Костенко о его друге — академике С. И. Вавилове. Образ вершины, освещенной незатухающим солнцем памяти, приходит на ум и тогда, когда мы обращаемся к судьбе самого Михаила Полиевктovichа Костенко. Его жизнь и творчество, наполненные, казалось бы, только повседневной работой, скромными семейными событиями, сейчас, после его смерти, приобретают величественные очертания и новые краски.

Все мы, знавшие М. П. Костенко, всегда были уверены в том, что он — выдающийся ученый и замечательный человек, но таково уж, видно, свойство людской памяти — уже потом, задним числом, в воспоминаниях и сравнениях, познавать истинные масштабы личности. Еще при его жизни ученые-научковеды пытались осмыслить творческий метод Костенко, раскрыть причины особой продуктивности его научной работы, его «магнетизма», заставлявшего сотни людей, среди которых были очень крупные ученые, вставать «под его знамена» и осуществлять то, что задумано им.

Сбор материалов для исследования творчества М. П. Костенко начался довольно давно. Еще в мае 1974 г. группа исследователей из Института истории естествознания и техники Академии наук СССР провела с М. П. Костенко и видными представителями его школы ряд науковедческих интервью. Эта работа продолжалась и в 1975 г., и после смерти М. П. Костенко в 1976 г., она продолжается и сейчас. Исследователи надеются, что комплексный анализ процесса возникновения и бурного развития ленинградской научной школы электромашиностроения позволит сделать ряд важных общетеоретических и практических выводов относительно влияния руководителя — лидера научной школы, его личных качеств, его исследовательской программы на эффективность исследований в созданной и возглавляемой им научной школе.

Зная об этих работах, некоторые ведущие члены ленинградской научной школы электромашиностроения предложили автору написать биографию М. П. Костенко. Они же предоставили в распоряжение автора свои воспоминания о Михаиле Полиевктовиче. Воспоминаниями о нем поделились также многие видные специалисты других отраслей науки и техники, лица, хорошо знавшие его. Предоставленные материалы оказывались в ряде случаев столь обстоятельными, что практически без переделки легли в предлагаемую читателям книгу. Так, раздел «Международная деятельность М. П. Костенко» целиком написан академиком И. А. Глебовым, глава об электродинамическом моделировании — кандидатом технических наук В. Е. Каштеляном, в главе о первых годах деятельности Института электромеханики широко использованы материалы доктора технических наук В. В. Рудакова и кандидата технических наук Г. В. Карпова, в главах, посвященных «Электросиле», Институту электромеханики АН СССР и кафедре электрических машин Ленинградского политехнического института им. М. И. Калинина — доктором технических наук Е. Я. Казовского и кандидатов технических наук В. Н. Анемподистова, А. Р. Дембо, М. В. Латманизова. В книгу включены воспоминания академиков А. А. Воронова и И. А. Глебова, членов-корреспондентов АН СССР А. Е. Алексеева и Г. Н. Петрова, члена-корреспондента АН УССР И. М. Постникова, докторов технических наук Э. Г. Капарского, Р. А. Лютера, Ю. А. Сабинина, И. Д. Урусова, кандидатов техни-

ческих наук И. М. Артюгиной, Б. С. Баскова, Г. Н. Бладзевича, П. К. Карцева, Г. Г. Корнитенко, Е. Д. Нестоворовой, И. П. Рожновой, Е. В. Толвинской. Автор сердечно благодарит всех их. Большая работа по просмотру, сверке фактического материала и оформлению рукописи проведена А. Р. Дембо, Е. Я. Казовским и М. М. Шмыревой, которым автор выражает свою глубокую признательность. Особую благодарность автор приносит жене и другу М. П. Костенко — Ольге Васильевне и дочери Елене Михайловне, не только предоставившим уникальные материалы о жизни и творчестве Михаила Полиевктовича, но и оказывавших на протяжении всей работы над книгой большую практическую помощь и поддержку.

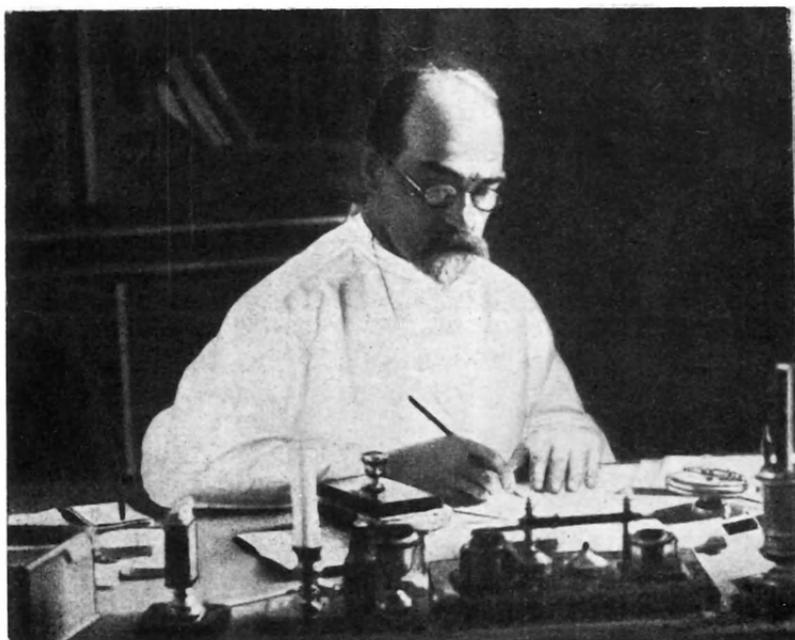
В книге широко использованы материалы различных государственных архивов, а также архивов отдельных лиц — учеников, родственников, коллег М. П. Костенко, любезно предоставивших в наше распоряжение многие ценные документы. Значительное место занимают в книге фрагменты стенографических и магнитофонных записей бесед и интервью, проведенных историками науки с М. П. Костенко и членами его школы, хранящиеся в настоящее время в архиве Института истории естествознания и техники АН СССР и обозначаемые в дальнейшем как «Науковедческие интервью». Естественные трудности, связанные с обращением к новейшей истории техники, побудили нас использовать и иные разновидности «нетрадиционных» историко-научных источников: предисловия ученых к своим работам, их газетные и журнальные выступления, выступления по радио и телевидению, юбилейные статьи и некрологи и другие документы подобного рода. Таким образом, несмотря на то, что на титульном листе книги значится фамилия лишь одного автора, книга фактически является коллективным трудом, созданным большим кругом участников в большинстве своем — учеников и последователей М. П. Костенко.

**Детские годы. Петербургский университет.
И. И. Боргман. Электротехнический институт.
Революционная работа. Ссылка.
Начало трудовой деятельности**

Михаил Полиевктович Костенко родился 16 декабря (28 декабря) 1889 г. в с. Вейделевка Валуйского уезда Воронежской губернии (ныне — Белгородская область). В честь этого события «вследствие определения Воронежского епархиального начальства» и «за надлежащим приложением печати из Воронежской духовной консистории» коллежскому асессору Полиевкту Ивановичу Костенко было выдано свидетельство в том, что «...в метрической книге Валуйского уезда, слободы Вейделевки, Покровской церкви за тысяча восемьсот девяностый год значится: декабря шестнадцатого, 1889 года рожден, а 1890 года января девятого числа крещен Михаил. Родители его: валуйский земской врач Полиевкт Иванов Костенко и законная жена его Мария Иосифова, оба православного вероисповедания. Восприемники были: коллежский асессор Иосиф Кузнецов и штабс-капитана жена Надежда Иосифова Нечаева...»¹.

Этим документом начинается обширный архив Михаила Полиевктовича Костенко, собранный впоследствии его женой Ольгой Васильевной. Как видно из документа, Полиевкт Иванович Костенко (1857—1935) был земским врачом, т. е. принадлежал к образованным и небогатым, как правило, демократически настроенным слоям русского общества того времени. Он пользовался в губернии большим авторитетом и уважением, в частности, избирался председателем Белгородского общества врачей. Среди коллег П. И. Костенко выделялся высокой врачебной квалификацией, принципиальностью и доброжелательностью.

¹ Семейный архив М. П. Костенко (хранится в Ленинграде у О. В. Костенко).



Отец М. П. Костенко — Полиевкт Иванович Костенко

Как вспоминают хорошо знавшие его люди, П. И. Костенко был широко образован, много читал, пробовал заниматься литературной деятельностью. В «Вестнике Южных железных дорог» за 1918 г. им опубликованы «Очерки по естествознанию. Эволюция мироздания и миротворения» в 16 главах и серия статей «Путеводитель по музеям Европы». Полиевкт Иванович занимался и живописью. В своих воспоминаниях и рассказах Михаил Полиевктович часто упоминал о литературных и художественных способностях отца. Многие, знавшие Полиевкта Ивановича, отмечали особый, строго аналитический склад его ума.

Мать Михаила Полиевктовича, Мария Иосифовна, в девичестве Кузнецова (1859—1928), обладала твердым характером, большой силой воли, отличалась собранностью, трудолюбием, практичностью. До замужества она работала в Валуйском уезде сельской учительницей. Ее отец, Иосиф Георгиевич, был мировым посредником, активным участником «Великой реформы».



*Мать М. П. Костенко —
Мария Иосифовна Костенко*

*М. П. Костенко со старшей сестрой Марией (ок.
1893 г.)*



В семье П. И. Костенко было много детей, но наибольшее влияние оказывали на молодого Михаила его старшая сестра Мария Полиевктовна (1885—1951) и особенно старший брат Владимир Полиевктович Костенко (1881—1956). Володя с детства увлекался литературой о морских путешествиях, приключениях, сражениях, строил модели кораблей. Он решил стать морским инженером и, закончив гимназию, поступил в Кронштадтское инженерное училище, где начал активно заниматься революционной работой. Можно не сомневаться, что решение поехать после окончания гимназии в Санкт-Петербург созрело у Михаила Полиевктовича под сильным влиянием брата.

Семья много странствовала. Когда старшие братья достигли возраста, достаточного для поступления в гимназию, переехали в г. Славянск (Харьковской губернии), где Полиевкт Иванович занял место железнодорожного врача станции Славянск Курско-Харьковско-Азовской железной дороги. Затем семья Костенко переехала на

станцию Белгород той же дороги, где отец также работал железнодорожным врачом.

Там, в Белгороде, Михаил Костенко поступил в 1-й класс городской гимназии, где проучился до 1907 г. Он был одним из лучших учеников, но в гимназии ему не нравилось. Его раздражала архаическая система преподавания, основанная на зубрежке. По русской словесности проходили, например, Тредиаковского, стихи которого надлежало выучивать наизусть. Его поэзия была Михаилу Костенко совершенно чужда. Его гораздо больше привлекали философские размышления поэта-ученого М. В. Ломоносова:

Лицо свое скрывает день,
Поля покрыла влажна ночь,
Взошла на горы чорна тень,
Лучи от нас склонились прочь.
Открылась бездна звезд полна;
Звездам числа нет, бездне дна.
Песчинка как в морских волнах,
Как мала искра в вечном льде,
Как в сильном вихре тонкий прах,
Так я в сей бездне углублен,
Теряюсь, мыслями утомлен.

Через полвека после окончания гимназии М. П. Костенко вспоминал эти стихи: он читал их по памяти в 1961 г. на Научной сессии ленинградских учреждений АН СССР, посвященной М. В. Ломоносову (и там же сравнивал эти строки со стихами Тредиаковского). Может быть, именно со стихов Ломоносова начинался в М. П. Костенко углубленный интерес к философским проблемам, сохранившийся на всю жизнь.

Юношеские годы М. П. Костенко протекали, как он сам впоследствии вспоминал, под сильным впечатлением усиливающегося разложения царизма, ставшего особенно явным во время русско-японской войны и первой русской революции 1905 г.

Старший брат Владимир, в то время уже корабельный инженер, был отправлен с русским флотом в Цусиму. В своих письмах Владимир Полиевктович сравнивал эскадру с куском Российской империи, отколовшимся от метрополии и направляющимся к японским берегам. На корабле, как писал он, существовали те же беспорядки и произвол, что и в остальной России. Владимир был



Брат М. П. Костенко — Владимир Полиевктович Костенко

убежден в том, что русская эскадра, руководимая в большинстве случаев бездарными, поставленными на ответственные посты отнюдь не из деловых соображений адмиралами, плохо оснащенная, с матросами, которым чужды цели войны, не сможет победить вдвое более сильную японскую эскадру. Он именовал направление балтийского флота в обход Африки в Цусимский пролив и вообще всю русско-японскую эпопею «авантюрой»². Не останавливаясь на этом, Владимир писал о социальной несправедливости существующего политического строя, о том, что в России неизбежна революция. На броненосце «Орел» он познакомился с баталером Новиковым, стихийным бунтарем, любознательным и способным моряком. Костенко оказал решающее влияние на этого молодого матроса, вовлек его в революционную работу, поощрял его занятия литературой, давал читать запрещенные книги. Впоследствии баталер Новиков стал известным писателем Новиковым-Прибоем, написавшим «Цусиму». В. П. Костенко выведен в этом романе как «инженер Васильев». Фамилия «Васильев» была революционной кличкой В. П. Костенко. При написании романа А. С. Новиков-Прибой широко пользовался советами и материалами В. П. Костенко. Сам Владимир Полиевктович описал цусимские события в книге «На „Орле“ в Цусиме». Из скромности Костенко не акцентировал в книге того обстоятельства, что именно он, творчески используя методы академика А. Н. Крылова, не допустил потопления броненосца «Орел», получившего многочисленные пробоины корпуса. Известно, что многие

² Семейный архив М. П. Костенко.

русские корабли с аналогичными повреждениями не остались на плаву, а затонули.

В. П. Костенко вместе с экипажем «Орла» попал в плен к японцам и содержался в лагере в Киото. Потом он был репатриирован и назначен членом комиссии по приемке строящегося для России в Англии крейсера «Рюрик»³. Отбыв с этим поручением в Лондон, он вызвал туда и Новикова, который нелегально, в кочегарке случайного судна, бежал из России и в конце концов нашел В. П. Костенко в Глазго, где «Рюрик» стоял на верфи. Новиков и Костенко создали на «Рюрике» революционную организацию, возглавляемую судовым комитетом⁴.

Юный Михаил Костенко всегда с большим нетерпением ожидал писем от брата: он горячо воспринимал содержащиеся там порой между строк горькие признания в бездарности военного и гражданского русского начальства, убежденность в бесперспективности войны и неизбежности революции. Окружающая Михаила серая действительность провинциальной России давала и ему самому много материала для собственных раздумий. Во время Первой русской революции Михаил Костенко решил оставить гимназию. Для поступления в высшее учебное заведение необходим был, однако, аттестат об образовании, и поэтому, уйдя в 1907 г. из седьмого класса Белгородской гимназии, он экстерном блестяще сдал экзамены за 8 классов при 2-й Харьковской гимназии. Перед Михаилом открылась возможность получения высшего образования. Вопросы — куда отправиться? — не было. Он решил поехать в Петербург. Юношу особенно привлекали физика и математика, и в 1907 г. Михаил успешно выдержал вступительные экзамены на естественный факультет Петербургского университета.

Университет произвел на молодого Костенко чрезвычайно большое впечатление, хотя в целом он провел там не так уж много времени — всего один год. В университете в то время самым различным специальностям обучалось до десяти тысяч студентов, было разрешено свободное посещение лекций. Этим правом Михаил Костенко воспользовался для расширения своего кругозора и ознакомления с основными направлениями историко-филоло-

³ Крылов А. Н. Мои воспоминания. Л.: Судостроение, 1979, с. 188—191.

⁴ Перегудов А. Светлый день. М.: Моск. рабочий, 1975, с. 98—103.

гического образования. Он посещал лекции Ковалевского, Сперанского, Караева на юридическом и историко-филологическом факультетах. На лекциях Туган-Барановского М. П. Костенко познакомился с «дегальным» марксизмом. Сильное впечатление произвели на Михаила лекции по физике, которые читал ректор университета И. И. Боргман. В одном из своих писем М. П. Костенко подчеркивал, что лекции, читавшиеся И. И. Боргманом, пробудили у него интерес к трудам Максвелла⁵.

Посещая лекции на других факультетах, в частности на физико-математическом, М. П. Костенко, например, слушал и профессора О. Д. Хвольсона. Предпочтение, отдаваемое в данной связи Боргману, весьма многозначительно⁶.

Профессор И. И. Боргман (1849—1914) был, как отмечают историки физики, убежденным, последовательным сторонником теории электромагнитного поля Фарадея — Максвелла, хранителем материалистических традиций. В своем двухтомном труде «Основания учения об электрических и магнитных явлениях» (СПб., 1893, 1895), имевшемся в личной библиотеке М. П. Костенко и тщательно «штудировавшемся им, он подробно излагает взгляды Максвелла на природу физической реальности. Восторженное отношение Боргмана к теории Максвелла выражено и в его словах, сказанных на торжественном акте Петербургского университета 8 февраля 1890 г.: «Теория Максвелла не картина, передающая со всеми деталями какой-нибудь момент, — это как бы глубокое музыкальное произведение, ясно, рельефно выражающее внутреннее содержание этого момента, независимо от внешних форм, касающихся его...»⁷. Ученики Боргмана, принимая его взгляды, приучались смотреть на конкретные электромагнитные явления через призму более общих физических законов, через уравнения Максвелла и их электротехнические модификации.

Лекции И. И. Боргмана, помимо их несомненного воздействия на стиль технического мышления М. П. Костенко, повлияли на него еще и в другом отношении — он почувствовал непреодолимое желание заниматься именно

⁵ Личный архив автора.

⁶ См.: Очерки по истории физики в России/ Под ред. К. А. Тириязева. М.; 1949, с. 286.

⁷ Боргман И. И. Основания учения об электрических и магнитных явлениях. СПб., 1893, т. 1, с. 2.

электротехникой, избрав ее из всего многообразия отраслей физики, которые Боргман вел на естественном факультете. На втором курсе М. П. Костенко решил перевестись из университета в Петербургский электротехнический институт, для чего стал готовиться к сдаче соответствующих экзаменов. По-видимому, на такой шаг навела юношу и весьма популярная в то время книга Боргмана «Магнитный поток и его действия», где ярко и, можно сказать, заманчиво излагались практическое применение и перспективы развития электротехники. Обучение теоретическим основам электротехники по курсу физики И. И. Боргмана стало для М. П. Костенко устойчивым фундаментом его электротехнического образования. Впоследствии каждое явление и процесс в электрической машине он обязательно соотносил с базовыми электрофизическими явлениями. Об этом свидетельствует практически любая работа ученого. Анализ справочной литературы к трудам М. П. Костенко также показывает, что в нее включены работы по электрическим машинам преимущественно тех авторов, которые выводят расчетные формулы непосредственно из рассмотрения физических процессов в машине или самих по себе. Таковы, например, ссылки М. П. Костенко на труды Р. Рихтера⁸ и Э. Арнольда⁹.

В 1908 г. М. П. Костенко стал студентом Петербургского электротехнического института. Интересно, что одновременно он выдержал конкурсные экзамены и в Технологический институт, где проф. А. А. Воронов на высоком теоретическом уровне читал курс электротехники. Видимо, в выборе института в 1908 г. у юноши еще были

⁸ Рихтер Р. Электрические машины, т. II, Синхронные машины и однофазные преобразователи, Berlin: J. Springer, 1930; рус. пер. ОНТИ, 1936; Т. IV, Индукционные машины, Berlin: J. Springer, 1936; рус. пер. ОНТИ, 1939; Т. V, Коллекторные машины однофазного и многофазного тока, регулировочные агрегаты, Berlin: J. Springer, 1950; рус. пер. Госэнергоиздат, 1961; Kurzer Lehrbuch der elektrischen Maschinen. Berlin: J. Springer, 1949; Lehrbuch der Wicklungen elektrischer Maschinen. G. Braun, Karlsruhe, 1952.

⁹ Arnold E. Die Wechselstromtechnik, Bd. 1. Theorie der Wechselströme, von J. La Cour und O. Bragstad, 1910; Bd. 2. III Die Wicklungen der Wechselstrommaschinen, von E. Arnold und J. La Cour, 1913; Bd. V. Die asynchlonen Wechselstrommaschinen. 1. Teil. Die Induktionsmaschinen, von E. Arnold, J. La Cour und A. Fraenkel, 1912; 2. Teil Die Wechselstromkommutatormaschinen, von E. Arnold, J. La Cour und A. Fraenkel, 1912. Berlin: J. Springer.



*М. П. Костенко — студент
Электротехнического института*

колебания, впрочем, весьма скоро преодоленные: почтительное отношение к И. И. Боргману привело его в конце концов в Петербургский электротехнический институт.

Это был для М. П. Костенко счастливый выбор. В институте преподавали многие видные деятели российской электротехники и энергетики. Среди них выделялся весьма популярный среди студентов проф. Г. О. Графтио, крупный ученый, энтузиаст электротехники. Он в это время занимался постройкой Петербургского трамвая, первая очередь которого была пущена в 1907 г.,

проектировал ГЭС на Волхове и на порогах Иматы. Преподавал в электротехническом институте и проф. В. В. Дмитриев, который построил как в самом институте, так и в других местах весьма экономичные тепловые станции с использованием отработанного тепла для отопления зданий. П. Д. Войнаровский заведовал лабораторией электротехники и принадлежащей ей линией электропередач¹⁰.

Основным принципом институтского преподавания было воспитание интереса к производству: студенты часто бывали на электростанциях, заводах, на трамвайных подстанциях (трамвай был тогда крупной технической новинкой). Большое впечатление на студентов произвела прочитанная в 1910 г. Г. О. Графтио лекция об использовании энергии р. Волхов для электроснабжения Петербурга, о разработанном им подробном проекте Волховской гидроэлектростанции. Доклад организовало имевшее в институте громадную популярность и влияние Общество инженеров-электриков. Большая общая аудитория института была переполнена. Присутствовали директор

¹⁰ Давыдова Л. Г. А. А. Смуров. М.: Наука, 1974, с. 18—22.

П. Д. Войнаровский, многие преподаватели, студенты, среди них — М. П. Костенко. «...Мы, студенты, — вспоминал И. В. Егизаров, — были допущены на это заседание и с восхищением смотрели на небольшого роста коренастого инженера в зеленой путевой форме, уверенно докладывавшего свой проект и ставившего новые для электроснабжения Петербурга проблемы и задачи, связанные с использованием водной энергии...»¹¹.

Это была постановка очень важной для Петербурга проблемы, который снабжался углем из Бирмингема (Англия) и Домбровского бассейна (Силезия). Однако влиятельное Общество электрического освещения 1886 года, контролируемое немецким капиталом, едва слышав о проекте Графтио, скупило по дешевке земли вдоль берегов Волхова и сделало постройку станции в то время невозможной. Примерно так же плачевно завершились и планы Графтио по созданию электростанции на водопадах Иматры. Недаром Графтио, заканчивая свой доклад, пожелал студентам высшего счастья для инженеров — видеть их проекты осуществленными на практике¹². Графтио вел в институте курсы электрической тяги и электрических станций — гидравлических. Курс электрических станций в Петербургском электротехническом институте начал читать еще в конце XIX в. П. Д. Войнаровский.

В годы обучения Костенко Санкт-Петербургский электротехнический институт, одно из первых в мире высших учебных заведений «чисто электротехнического профиля», образованный в 1891 г. на базе Почтово-телеграфного училища, переживал период роста и становления. В этот период деятели института в процессе обучения студентов придерживались четкой ориентации на новейшие направления практической электротехники, необходимость развития которой определялась хотя и не столь бурным, как в конце XIX в., но все же весьма интенсивным развитием промышленности¹³. Это был период «совершенствования и специализации преподавания

¹¹ Егизаров И. В. Воспоминания о деятельности Г. О. Графтио. — В кн.: Строитель первых гидроэлектростанций в СССР академик Генрих Осипович Графтио. М.: Изд-во АН СССР, 1953, с. 75—76.

¹² Лютер Р. А. «Электросила» — плану ГОЭЛРО. — В кн.: Сделаем Россию электрической. М.: Госэнергоиздат, 1961, с. 171—172.

¹³ Центральный государственный архив народного хозяйства СССР (ЦГАНХ СССР), ф. 165, оп. 1, д. 1.

отраслей техники, имеющих научной основой электрофизику, и одновременно с этим организации и развития преподавания техники сильных токов, создавшей электротехническую промышленность и черпающей свои научные основания преимущественно в электромеханике»¹⁴.

В этой связи в учебные планы и программы института были включены курсы теоретической электротехники, электрических измерений, теории переменных токов, воздушных и кабельных линий электропередач, центральных электрических станций и т. п. Изучались и электрические машины, причем в качестве учебника служила книга Э. Арнольда «Машины постоянного тока», переведенная в 1909 г. по разрешению автора с немецкого на русский язык проф. Г. А. Люстом и инж. Е. Н. Фридбергом. Как известно, по этому труду обучалось целое поколение электротехников, в том числе и русских. В предисловии к русскому изданию книги Э. Арнольда и И. Л. Лакура «Машины постоянного тока» ее редакторы Е. Нитусов, Г. Петров и М. Елин указывали, что «почти во всех руководствах для более детального ознакомления с подавляющим числом отдельных моментов теории, конструкции и расчета электрических машин авторы до сих пор отсылают читателей к Арнольду как первоисточнику...»¹⁵

В начале 1910 г. в Электротехническом институте была устроена электротехническая выставка, приуроченная к съезду инженеров-электриков — выпускников института. Выставка, организованная силами преподавателей и студентов, демонстрировала новинки электротехники и возможности электрификации. В частности, были показаны схемы регулирования частоты вращения асинхронных электродвигателей — в то время почти неразрешимой задачи, особенно при конструировании двигателей с короткозамкнутым ротором, весьма привлекательных (благодаря простоте конструкции и дешевизне) для работы в регулируемом приводе.

Большую роль в организации выставки сыграл ректор института проф. П. Д. Войнаровский — страстный энтузиаст электротехники. Как вспоминают современники,

¹⁴ Из речи проф. П. С. Осадчего на Торжественном заседании, посвященном 25-летию Электротехнического института. Цит. по: *Давыдова Л. Г.* А. А. Смуров, с. 18.

¹⁵ *Арнольд Э., Лакур И. Л.* Машины постоянного тока. М.: Гостехиздат, 1931, с. 5.

это был интеллигентный, обаятельный человек, который не только умел «окружить особым вниманием и заботой молодых студентов, но и привить им уважение к будущей деятельности инженеров-электриков» в те годы, когда электротехника была среди других технических специальностей «золушкой». Крупный инженер-производственник, он сумел собрать «под крышей Электротехнического института многих энтузиастов-электротехников»¹⁶. К сожалению, деятельность Войнаровского на посту ректора находилась под постоянным контролем Министерства внутренних дел, в ведении которого находился институт. С одной стороны, это было удобно: Министерство внутренних дел, поддерживая вместе с Министерством путей сообщения мероприятия в области энергетики и электротехники, неподвластные германскому капиталу, являлось хотя и слабым, но противовесом всеобщему засилью в России немецкой электротехники. Намеки на это, в частности, имеются в «изысканиях и проектах Управления внутренних водных путей МПС и в работах Электротехнического института МБД, проводившихся П. Д. Войнаровским, В. В. Дмитриевым и Г. О. Графтио»¹⁷. С другой стороны, близость к Министерству внутренних дел с его развитым аппаратом слежки и шпионажа способствовала возникновению в институте различных правых партий — от кадетов до «академистов» — и подавлению прогрессивных организаций студенчества. У Войнаровского не всегда хватало принципиальности и душевных сил, чтобы противостоять всемогущему министерству.

Несмотря на это, в институте уже в начале 1900-х годов существовала подпольная искровская группа, организованная и руководимая поэтом-студентом Евгением Тарасовым, тесно связанным с известным революционером С. И. Радченко. Тарасова неоднократно арестовывали, бросали в тюрьмы, но он вновь и вновь возвращался в институт. Молодой революционер и за решеткой продолжал работать: находясь в тюрьме «Кресты» на правом берегу Невы, он создал поэтический сборник стихов «На правом берегу»; писал Тарасов и в доме предварительного заключения на Шпалерной улице, расположенной на другой стороне Невы, новый сборник назывался «На левом берегу». Вот один из его «тюремных» сонетов:

¹⁶ ЦГАНХ СССР, ф. 271, оп. 1, д. 6.

¹⁷ Там же.

... Ночью за окнами смутные порохи слышал,
Ночью почудилось звяканье ржавых ключей,
Не было сна, и усталый, холодный, ничей
Утру и солнцу навстречу я медленно вышел.
Ветром, не знающим счастья, ветром ночным
Мертвые желтые листья повсюду разбросаны.
Понял. То ночь отворяла калитку для осени.
Осень со мной, и туманы над садом — как дым.

Здравствуй, печальная, полная грусти и радости,
Полная тихой в словах нерассказанной сладости,
Полная счастьем до боли, до муки земным.

В нежных туманах осеннего тихого полудня
Сердцу, несытому жизнью, светло и не холодно.
Осень, зовущая к новому, буду твоим! ¹⁸

Его романтически приподнятые стихи, зовущие к новому, пользовались в институте большой популярностью.

В искровскую группу Тарасова входили: Евгений Дурново, Спиридон Мавромати, Степан Рутковский, Иван Болтенков. Они активно распространяли листовки, брошюры не только в институте, но и за Невской заставой, в районах текстильных фабрик Паля, Максвелля, Торнтонна, железнодорожных мастерских, Семенниковского завода. В институте члены группы боролись и с унтер-пришибеевским уставом, с системой надзирателей — «педелей», с обязательным ношением формы и ее нелепыми сюртуками и шпагами, которые следовало надевать студентам в особо торжественных случаях, с подавлением студенческих свобод ¹⁹. В 1905 г. эта борьба закончилась частичной победой — были отменены система классовых надзирателей, а также приказ об обязательном ношении формы и разрешены Советы старост, без которых нельзя было выбирать, например, ректора института, была объявлена студенческая автономия и создана библиотека, управляемая Библиотечной комиссией (М. К. Оберучев, С. Л. Хоецкий, Е. М. Тарасов и др.). В библиотеках имелись произведения К. Маркса, Ф. Энгельса, В. И. Ленина, Г. В. Плеханова. Советы старост пользовались большим влиянием среди студентов и преподавателей и играли заметную роль в жизни института. Например, такой Со-

¹⁸ Там же.

¹⁹ Там же.



«Библиотечная комиссия» Электротехнического института, Слева направо: Саратовский, Костенко, Романов, Хоцкий, Тарасов, Оберуцев, Домжиров (1910 г.)

вет содействовал избранию ректором института изобретателя радио А. С. Попова. В 1906 г., после его смерти, происшедшей в результате бурного объяснения с министром внутренних дел, ректором стал П. Д. Войнаровский.

Поступив в институт, М. П. Костенко сразу же включился в работу Библиотечной комиссии, борющейся с «академистами» — членами Академических союзов и Академических клубов. Академисты, прикрываясь лозунгом «институты для науки», занимались фискальством, доносами, постепенно смыкаясь с крайне правыми студентами, входившими в «Союз русского народа». В 1910 г., когда М. П. Костенко учился на третьем курсе, в Петербурге начались массовые студенческие волнения, выражавшиеся в срывах занятий, забастовках и демонстрациях. Не миновали они и Электротехнический институт. Академический союз института резко осудил этот революционный подъем студенчества и сообщил имена «зачинщиков» в Министерство внутренних дел. Узнав об этом, Библиотечная комиссия постановила закрыть академистам абонемент в студенческой библиотеке. Вспыхнувшая в результате острая борьба привела к тому, что многие академисты порвали с Союзом, оставшиеся же

сообщили в охранное отделение фамилии членов Библиотечной комиссии.

Весь 1910 год начиная с весны Электротехнический институт бурлил. Студенты протестовали против действий черносотенца В. Пуришкевича в Государственной думе. Настроения студентов того времени хорошо переданы в письме студента четвертого курса Александра Смурова к своей невесте:

«Ты, вероятно, читала в газетах о последних выходках Пуришкевича в Государственной думе по поводу высших учебных заведений. Он затронул и наш институт. У нас все возмущены его наглостью и бесстыдством. В четверг у нас будет сходка по этому вопросу. У нас в институте Пуришкевич уже успел поднять дрязги и грязь, образовав из каких-то 12 человек Академический союз, причем эти союзники — народ самый мерзкий, которым никто не желает подавать руки из-за их весьма невысоких нравственных качеств. Эти господа, несмотря на то что сидят долго в институте, ровно ничего не делают, держат каждый экзамен по сто раз, пока не выдержат. Они получили от своего патрона 1100 рублей, продали себя и теперь вывозят на своем хребте всяческие сплетни и небылицы из института и сообщают их своему достойному руководителю, а тот оглашает все гадости в Думе. Эти господа пользуются низким приемом клеветы на неугодных им лиц в институте». Спустя несколько дней Смуров писал: «Часов пять провел в институте на бурной сходке по поводу Пуришкевича и наших академистов. Мера воздействия — моральный бойкот этой молодежи — в их адрес тяжкие обвинения. . .»²⁰.

7 ноября 1910 г. умер Л. Н. Толстой. В знак уважения к великому русскому писателю студенты Электротехнического института созвали грандиозный политический митинг, на котором присутствовали представители всех факультетов. Собравшиеся бурными аплодисментами встретили слова открывшего митинг студента Б. С. Баскова: «На весь мир звучал протест Толстого. Он говорил: «Не могу молчать». Он был отлучен от церкви святейшим Синодом. Теперь, когда голос Толстого умолк, все мы, студенты, должны поднять голос протеста против полицейского произвола царского самодержавия, объеди-

²⁰ Давыдова Л. Г. А. А. Смуров, с. 29.

ниться с рабочим классом на борьбу за свержение самодержавия и победу демократической республики»²¹.

Доносчики из академистов назвали полиции фамилии всех выступавших на митинге, в том числе и М. П. Костенко. К этому моменту репутация Михаила в охранном отделении была уже основательно «подмочена» — помимо его собственных дел, в департаменте полиции имелось дело на его брата — Владимира Костенко. В 1909 г. корабельный инженер Владимир Полиевктович Костенко за революционную деятельность был арестован и заключен в Трубечкой бастион Петропавловской крепости, куда помещали особо опасных преступников. Михаил ходил к брату на свидания, каждый раз получая разрешение в департаменте полиции и тем самым оставляя «след» в заведенном на него деле. Свидания и беседы с братом во многом способствовали превращению М. П. Костенко в убежденного противника самодержавия.

10 декабря 1910 г. товарищ министра внутренних дел писал директору института П. Д. Войнаровскому: «Милостивый государь Павел Дмитриевич. Имею честь уведомить Ваше Превосходительство для исполнения, что независимо от лиц, из числа студентов Электротехнического института, которые будут признаны Советом института виновными в устройстве беспорядков и в подстрекательстве к таковым, распоряжением Министра внутренних дел уволены сего числа из Электротехнического института студенты оного: 1) Басков Борис Сократов, 2) Кочаровский Николай Клементьев, 3) Костенко Михаил Полиевктов, 4) Набоков Дмитрий Петров, 5) Хоецкий Степан Львов и 6) Шишков Сергей Николаев. Об исполнении сего Ваше Превосходительство имеет безотлагательно представить Министру внутренних дел. Примите, Милостивый государь, уверение в совершенном почтении и преданности Министерства внутренних дел...»²².

П. Д. Войнаровский, имея слабый характер, не пошел по пути прежнего ректора А. С. Попова, решительно борющегося за права студентов, или профессора М. А. Шателена, покинувшего институт в знак протеста против преследований студентов. В ответ на бесцеремонное требование и вмешательство в институтские дела Войнаровский отправил следующую секретную депешу Санкт-

²¹ ЦГАНХ СССР, ф. 271, оп. 1, д. 6.

²² Цит. по копии, хранящейся в семейном архиве М. П. Костенко.

Петербуржскому градоначальнику: «... На отношение от 8-го декабря сего года за № 17256 имею сообщить Вашему Превосходительству, что студенты вверенного мне института, именованные в списке, приложенном к означенному отношению, арестованные на основании 21 ст. Положения о Государственной охране, согласно распоряжения г. Министра внутренних дел от 11 декабря уволены из числа учащихся института. Директор Войнаровский»²³. 12 декабря 1910 г. М. П. Костенко, арестованный за участие в студенческих беспорядках и митингах, был исключен из числа студентов «Электротехнического института императора Александра III». Михаил был помещен в дом предварительного заключения на Шпалерной, где, по его словам, он не терял времени и читал труды И. И. Боргмана.

Следствие по делу М. П. Костенко было разрешено административным путем — его выслали на три года в «отдаленные места Пермской губернии» — в с. Морчаны. С. Л. Хоецкий был выслан на два года в Грязовец (Вологод. губ.), М. К. Оберучев — на этот же срок — под надзор полиции в Винницу, Б. С. Басков — на два года — в Каргополь, а Д. П. Набоков — на столько же — под надзор полиции в Белгород (Курск. губ.).

М. П. Костенко отправили в ссылку по этапу, т. е. с группой арестантов, под стражей. Два дня он просидел в Вятской тюрьме, шесть — в Пермской, еще два — в Соликамской. Главный инспектор по пересылке арестантов генерал Лукьянов в связи с отправкой очередной партии ссыльных сообщал Пермскому губернатору, что «... с этапом в ночь со 2-го на 3-е января 1911 года по северной железной дороге будут отправлены в места ссылки 27 административно ссыльных в отдельные губернии лиц привилегированных сословий. Принимать арестантов в верхней одежде собственной (полушубки, теплое белье, рукавицы и валенки и 2 смены белья). Разрешить тратить по 30 копеек в сутки.

При следовании пешком требовать подводы, наряжать на каждую по офицеру, а по пешим трактам — унтер-офицеров». В специальном письме Лукьянов писал относительно М. П. Костенко: «... Высланному Костенко разрешение собственных денег для довольствия в пути следования горячей пищей — три рубля. Деньги должны

²³ Цит. по копии, хранящейся в семейном архиве М. П. Костенко.

храниться у начальника конвоя, а на руки выдавать ежедневно по 30 копеек в сутки в дни следования по этапу...»²⁴.

М. П. Костенко часто вспоминал о «путешествии» по этапу. Особенно тяжело было добираться от Соликамска до места ссылки. Путешествие оказалось довольно длительным; на преодоление 20—22 верст тратилось не менее суток. Вечером арестантов запирали в избу-«этапку» до следующего утра. Когда партия выходила из Соликамской тюрьмы, Костенко заметил, что один из арестантов, молодой крестьянин (позднее выяснилось, что он родом из с. Карловка Константиноградского уезда Полтавской губ.), которого выслали вместе с женой, трехлетним сыном и стариком-отцом, имеет больной вид. Костенко обратил на это внимание начальника партии — фельдфебеля, после чего крестьянина лишь посадили в сани. На следующей остановке, в с. Мошево, крестьянин расхворался уже совсем. Было ясно, что везти его дальше невозможно, однако фельдфебель настаивал. К счастью, в селе была земская больница, и Костенко удалось добиться вызова местного врача, который констатировал у больного *tiphus recurrens* — возвратный тиф²⁵. С еще большим трудом Костенко уговорил фельдфебеля оставить крестьянина в больнице. Начальник партии согласился, но потребовал, чтобы жена, сын и отец больного шли дальше по этапу. Впоследствии выздоровевший крестьянин разыскал М. П. Костенко и поблагодарил за спасение жизни.

Путешествие от Петербурга до Чердыни заняло более 20 дней — партия ссыльных прибыла туда в конце января. Здесь арестантов рассредоточили по местам их ссылки, и М. П. Костенко был направлен со стражником в с. Морчаны, расположенное при выходе р. Вишеры из межгорья Уральского хребта. Он пробыл там до апреля. В то время в Морчанах отбывали срок ссылки арестанты из Грузии, среди которых были большевики Климиев и Кабулашвили. Костенко сблизился с ними. Позднее он вспоминал, что Климиев оказал немалое влияние на формирование его взглядов. Когда в апреле 1911 г. истек срок ссылки Климиева и Кабулашвили, М. П. Костенко

²⁴ Цит. по: *Альперович М.* Юность академика. — Пермская правда, 1970, 20 янв.

²⁵ Неоконченная автобиография М. П. Костенко. — Семейный архив М. П. Костенко. Рукопись.



М. П. Костенко в ссылке (1911 г.)

почувствовал, что он не сможет оставаться в Морчанах. В этом же месяце под предлогом отсутствия в Морчанах возможности для работы будущему инженеру-электрику Костенко с большим трудом добился перевода в г. Чердынь, где вскоре познакомился с членами большой колонии ссыльных²⁶. Когда Чердынское земство решило установить в Чердыни телефон, земский инженер Михаил Львович Марлакбах предложил М. П. Костенко занять место монтера земской телефонной сети по постройке и эксплуатации телефонной сети в Чердынском уезде.

Чердынский уезд с населением 100 тыс. человек занимал огромное пространство — около 50 тыс. кв. верст. Бездорожье, суровый климат — все это делало работу монтера в местных условиях нелегкой. 26 февраля 1913 г. М. П. Костенко был выдан следующий документ:

«Предъявитель сего, студент-электромеханик Михаил Полиевктович Костенко с 1 мая 1911 года по 25 февраля 1913 года исполнял обязанности монтера при Чердынской центральной телефонной станции, а также и по устройству телефонных линий как в городе, так и в уезде.

²⁶ Неоконченная автобиография М. П. Костенко.

К обязанностям своим г. Костенко относился безусловно добросовестно, обнаружив настолько полное понимание дела и примерное трудолюбие, что при наличии такого монтера Управа считала вполне обеспеченным правильное и успешное функционирование телефонной сети. Службу Костенко оставил по собственному желанию»²⁷.

Чердынская школа дала Костенко многое, и не только в технических навыках. Путешествуя по уезду, посещая его самые глухие уголки с партиями рабочих, строящих телефонные линии Чердынь—Нароб, Чердынь—Мошево—Соликамск и другие, Костенко близко знакомился с жизнью и бытом простых русских людей. Крестьяне задавали Михаилу немало сложных вопросов, которые заставляли его размышлять не только о телефоне и электричестве, но и о философских, нравственных, социальных проблемах настоящего и будущего — проблемах равенства, свободы и братства людей. Из поездок на северные реки он вынес глубокое уважение к простому труженнику, восхищение величием его души. Костенко поражался остроумным решениям, предложенным его неграмотными спутниками-рабочими при переброске телефонных линий через р. Колву, Вишеру, Каму. Он был покорен природной смекалкой русского человека.

25 февраля 1913 г. М. П. Костенко оставил работу на Чердынской телефонной сети, так как неожиданно для всех слыльные студенты были досрочно (чуть ли не за год) освобождены.

Михаил ни на минуту не оставляет мысли о продолжении образования. Чтобы заработать деньги на учебу, он все лето 1913 г. работал монтером в Симбирском земстве.

Глава вторая

Петербургский политехнический институт. Первые изобретения. Электрический молот. Кружок Толвинского. Магнитофугальное бюро. VIII электротехнический съезд

По возвращении в Петербург М. П. Костенко попытался восстановиться в Электротехническом институте, но получил категорический отказ от Министерства вну-

²⁷ Семейный архив М. П. Костенко.

тренних дел. В конце концов ему удалось поступить в Петербургский политехнический институт, находившийся в ведомстве Министерства торговли и промышленности, правда, сначала в качестве вольнослушателя.

Создание Политехнического института было тесным образом связано с развитием русского капитализма. Бурный рост российской промышленности на рубеже XX в. резко тормозился недостатком специалистов с высшим техническим образованием. По официальным данным, 93% руководителей заводов в России в 1885 г. не имели технического образования¹.

Насущная потребность российской промышленности в механиках, металлургах, электротехниках, экономистах заставила правительство изучить вопрос об открытии ряда новых учебных заведений. Этот вопрос получил деятельную поддержку и развитие со стороны Министерства финансов во главе с С. Ю. Витте, активным и дальновидным политиком, представителем интересов русской промышленной буржуазии. По настоянию министерства в 1898 г. были открыты Киевский и Варшавский политехнический институты, а 19 февраля 1899 г. был утвержден доклад о необходимости организации Политехнического института в Петербурге. Спустя три дня министерство закупило земельный участок в Сосновке, на котором вскоре развернули строительство, завершившееся 2 октября 1902 г. торжественным открытием Политехнического института им. Петра Великого.

В подготовке учебных планов и программ нового учебного заведения участвовали многие прогрессивно мыслящие ученые России, в том числе Д. И. Менделеев, А. С. Попов, Н. Г. Егоров, Н. Е. Кутейкин, А. Н. Крылов, М. О. Доливо-Добровольский, М. А. Шателен, Н. А. Меншуткин, К. П. Боклевский, В. В. Скобельцын и др. Все они единодушно сходились во мнении, что изучение технических наук в новом учебном заведении должно производиться «шире и глубже, чем было бы достаточно для университетской науки». Большую роль основатели Политехнического института и его первый ректор известный русский ученый князь Андрей Григорьевич Гагарин отводили изучению физики, математики и химии, наук технического цикла. Весьма существенное значение в дея-

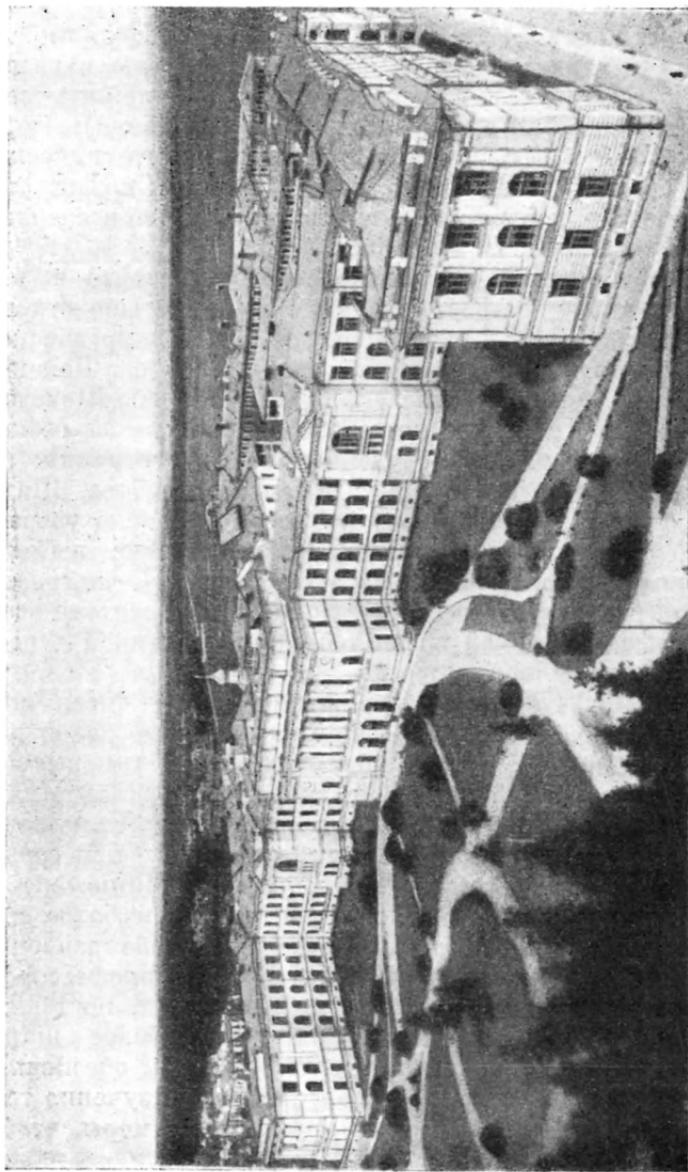
¹ Давыдова Л. Г. Использование электрической энергии в промышленности России. М.: Наука, 1966, с. 28.

тельности института придавалось научной работе, а также лабораторным и практическим занятиям, производственной практике². Все это способствовало высокому уровню общетеоретической подготовки студентов — основной базы изучения технических наук, а также развитию и воспитанию у будущих инженеров «уменья приложить свое знание к делу» (по выражению М. А. Шателена). Такая «двухадресная» особенность изучения в Политехническом институте технических наук, как мы увидим позже, оказала существенное влияние на формирование исследовательского стиля М. П. Костенко.

В Петербургском политехническом институте в первые годы его существования действовали четыре отделения (факультета): экономическое, металлургическое, электромеханическое и кораблестроительное. Деканом электромеханического отделения стал М. А. Шателен, уволенный из Электротехнического института за резкий протест против разгона студенческой демонстрации, состоявшейся 3 марта 1901 г. у Казанского собора. Шателен и в новом институте пытался весьма активно увязать свои прогрессивные общественно-политические взгляды с научно-образовательной деятельностью. В частности, он решил реализовать в Политехническом институте свою давнюю идею о тесной связи теории с практикой в деле подготовки инженерных кадров.

«В 1902 г. Политехнический институт, — писал впоследствии М. А. Шателен, — открывал впервые двери для молодых студентов. Задуманный как новый тип высшей школы, не связанной никакими традициями школ Министерства народного просвещения, находившийся в ведении Министерства финансов, преследовавшего при создании своих школ совсем другие цели, чем Министерство народного просвещения, молодой институт мог более свободно создавать свой профиль, устанавливая направление и порядок преподавания и т. д. Группа профессоров, организовавшая Политехнический институт, поставила своей целью дать будущим инженерам более широкую физико-математическую подготовку и тем обеспечить возможность студентам на этой базе строить изучение технических наук. При этом были приняты все меры, чтобы

² Чеканов А. А., Ржонсницкий Б. Н. Михаил Андреевич Шателен. М.: Наука, 1972, с. 56.



Петрозаводский политехнический институт (1913 г.)

развить в студентах навыки к самостоятельному творчеству и инициативной работе»³.

В 1906 г. М. А. Шателен за отказ «противостоять студенческим политическим волнениям» был снят с поста декана. С 1912 г. деканом факультета стал профессор В. Ф. Миткевич. Человек передовых взглядов, он увидел у молодого Михаила Костенко сочетание многих ценных, по его мнению, качеств будущего ученого: глубокую подготовку в области физики и электротехники, полученную в университете и Электротехническом институте и навык практической работы (в Чердыни); наконец, ему импонировал сам факт исключения М. П. Костенко из Электротехнического института по политическим мотивам. По ходатайству Миткевича Михаил Костенко был зачислен на электромеханическое отделение.

На этом отделении, так же как и на всех других, не существовало разделения студентов по специализациям, окончательный выбор профессии проводился ими в процессе дипломного проектирования. Четыре года обучения занимало изучение теоретических курсов. Начиная с четвертого курса факультативно вводились специальные дисциплины. Для перевода с курса на курс нужно было сдать не менее трех четвертей всех зачетов. Экзаменов не было, однако студентам требовалось сдать 28 курсовых проектов, в том числе по архитектуре, инженерным сооружениям, гражданскому строительству, мостам, по электрическим машинам (три работы), по оборудованию электростанций, турбинам, паровым котлам и т. п. Обще-ственно-политические дисциплины практически не читались, изучение языков не предусматривалось. Дипломные проекты, к которым можно было приступать после окончания четвертого курса, выполнялись на предприятиях. Время выполнения дипломного проекта не лимитировалось⁴. Как видно из краткого описания учебного процесса в Петербургском политехническом институте, его организаторы далеко не до конца продумали схему обучения студентов. Не удивительно, что за 15 лет — с момента основания института и до Великой Октябрьской социалистической революции — здесь было подготовлено всего

³ Цит. по: *Шостын Н. А.* Михаил Андреевич Шателен. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1946, с. 13—14.

⁴ *Чеканов А. А., Ржонсницкий Б. Н.* Михаил Андреевич Шателен, с. 41—64.

семь инженеров по специальности «электрические машины», и в их числе А. А. Горев (диплом № 1); крупнейший теоретик, автор «уравнений Парка—Горева», Б. И. Доманский, впоследствии доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика» Ленинградского политехнического института им. М. И. Калинина (ЛПИ), В. А. Толвинский, заслуженный деятель науки и техники, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электрических машин того же института в период 1918—1930 гг., Л. М. Пиотровский, доктор технических наук, профессор этой кафедры.

Кафедра электрических машин при электромеханическом отделении Петербургского политехнического института функционировала со дня его основания. Эта первая в России кафедра электрических машин должна была готовить специалистов-электромашиностроителей. Как известно, в то время электрические машины находили все более широкое промышленное применение в областях генерирования электроэнергии и электропривода. Заведовать кафедрой пригласили крупнейшего русского электротехника, изобретателя трехфазного асинхронного электродвигателя профессора М. О. Доливо-Добровольского. Но он отказался, так как в это время вел научную работу в Германии. В результате на должность первого заведующего кафедрой электрических машин был приглашен профессор Семен Николаевич Усатый. С. Н. Усатый, получивший высшее электротехническое образование за границей, в 1899 г. защитил в России дипломный проект и тогда же получил звание инженера-электрика I категории. С 1900 по 1902 г. он был профессором кафедры физики и электротехники Горного института⁵.

С момента назначения на новый пост С. Н. Усатый установил широкие связи с промышленными предприятиями. Сам он был консультантом Общества электрического освещения 1886 года, электромеханического завода «Вольт» в Ревеле (Таллин) и ряда других промышленных предприятий. Усатый опубликовал значительное число научных работ и создал один из первых в России учебников по курсу электрических машин постоянного тока.

⁵ *Милявская М. А., Федорова Л. А.* История кафедры электрических машин: Курсовая работа. Л.: ЛПИ, 1969. Рукопись.



С. Н. Усатый



В. Ф. Миткевич

В числе преподавателей, работавших в то время на кафедре, были Г. А. Люст, впоследствии профессор кафедры, заместитель директора ЛПИ по учебной работе, будущий профессор Н. Н. Черносвитов, а также ассистенты Н. А. Иванов, Е. Н. Фридберг и Л. Н. Грузов, в дальнейшем — профессор, главный инженер Харьковского электромеханического завода. Все они составили ядро зарождавшегося российского электромашиностроения и явились той первичной средой, тем «микросоциумом», в котором формировался электромеханик Михаил Костенко. С первых дней существования кафедры на ней развернулась активная научная работа, игравшая важную роль в подготовке специалистов. В частности, следует отметить исследования в области однофазных и трехфазных коллекторных машин, проведенные Л. М. Пиотровским и Н. А. Ивановым в 1910—1914 гг. Эти работы несомненно оказали влияние на ориентацию научных интересов М. Костенко⁶.

⁶ См.: *Миляевская М. А., Федорова Л. А.* История кафедры электрических машин.

Среди курсов, привлечших внимание М. П. Костенко, следует назвать и обзорные «Лекции по электротехнике» М. А. Шателена, в которых «всегда имелся свежий материал, интересные сведения о достижениях науки и техники. Быть актуальным, находиться в курсе последних событий — отличительные черты Шателена-лектора. Он будил в слушателях интерес к электротехнике, открывал перед ними смелые перспективы развития этой области знаний, постоянно дополняя свои лекции в соответствии с техническим прогрессом... Можно только поражаться широтой материала, затронутого в лекциях Шателена...»⁷.

Не мог Костенко не заинтересоваться и «Энциклопедией электротехники» М. А. Шателена. Этот цикл лекций по прикладной электротехнике был тесно связан с лабораторными работами и самостоятельными исследованиями студентов, а также с проводимыми ими «натурными съемками схемы коммутации на институтской электростанции»⁸.

Большое влияние на формирование будущего ученого оказали лекции профессора Миткевича. Будучи учеником И. И. Боргмана, Миткевич воспринял от него глубокое знание трудов Фарадея и Максвелла и их теории электромагнитных явлений. Он питал особую склонность к эксперименту и горячо верил в практические возможности электротехники.

С появлением и развитием в России установок высокого напряжения и современных электрических машин перед электромеханическим отделением Политехнического института встали новые задачи, и в первую очередь — углубление теоретических курсов, являющихся основой этих новых отраслей электротехники. Теоретической базой прикладных электротехнических дисциплин стал созданный Миткевичем новый курс «Теория электрических и магнитных явлений», впоследствии преобразованный в совершенно оригинальный курс «Физические основы электротехники», ярко отражающий «отпочкование» электротехники от физики. Миткевич ввел также спецкурс по передаче электроэнергии и руководил теоретическими и экспериментальными дипломными работами по этой теме.

⁷ Чеканов А. А., Ржонсницкий В. Н. Михаил Андреевич Шателен, с. 13.

⁸ Там же, с. 55.

Характерной особенностью стиля изложения Миткевича было стремление сохранить за математическими и геометрическими символами их достаточно простую физическую интерпретацию, способствующую познанию сути происходящих процессов и явлений. Как указывал впоследствии М. П. Костенко, для В. Ф. Миткевича «физический образ и его математическая интерпретация являются двумя сторонами одного и того же многогранного процесса, дополняющими и оплодотворяющими друг друга. Аудитория Владимира Федоровича всегда была переполнена, многие слушатели его лекций повторно посещали наиболее интересные разделы, причем нужно отметить, что после лекций Владимира Федоровича обычно начинались увлекательные живые беседы, которые закрепляли и запечатлевали в памяти слушателей изложенный и разобранный на лекциях материал»⁹. Миткевич, по мнению Костенко, являлся представителем «физической» школы в электротехнике (и, сразу же заметим, «электротехнической» школы в физике). Костенко всегда подчеркивал, что именно у Миткевича он в полной мере научился видеть за математическими символами физическую сущность явлений. Представления Миткевича о магнитном поле как физической реальности, были весьма своеобразны и вызвали даже известную дискуссию в Академии наук; в данном контексте нам важно указать лишь на подчеркнуто материалистический (до упрощения) подход Миткевича к разъяснению физического смысла фарадеевских силовых линий. Под влиянием Миткевича у М. П. Костенко сформировались яркие физические ассоциации, связанные с восприятием электромагнитных явлений: физическая образность этого восприятия (в частности, использование понятия «магнитной силовой линии», дидактически весьма удобного и наглядного) буквально пронизывает все труды Костенко по электрическим машинам.

С начала империалистической войны условия обучения в институте ухудшились. Приходило в упадок городское хозяйство, в частности, начались перебои с топливом, с электроэнергией. Резко сократились отпускаемые

⁹ Вингер А. В., Кржижановский Г. М., Никитин В. П., Костенко М. П. Академик Владимир Федорович Миткевич: (К 75-летию со дня рождения). — Изв. АН СССР. ОНТ, 1947, № 9, с. 1057—1060.

институту средства — армии требовалось все больше оружия и снаряжения.

Политехнический институт отдал часть зданий под военный лазарет. Преподаватели и студенты, в том числе М. П. Костенко, ухаживали за ранеными в качестве санитаров. Когда же при лазарете стали функционировать мастерские по ремонту военного оборудования под руководством Шателена, принял участие в совершенствовании телефонных аппаратов. По предложению Шателена студенты изготовили оригинальную модель портативного полевого телефона для передовых постов и разведчиков — небольшой ящик с вмонтированным внутрь микрофоном, соединенным с другими аппаратами специальным легким проводом, изготовленным в тех же мастерских¹⁰. В то же время хорошее знание Костенко телефонной техники послужило поводом к приглашению его преподавателем в Рижскую школу телеграфистов Комитета военно-технической помощи, где он проработал с декабря 1916 г. до апреля 1917 г. Результатом этой деятельности стала первая печатная работа студента М. П. Костенко — книга «Краткое описание военно-полевых телефонных аппаратов. Походный справочник для военных телефонистов» [1]¹¹, изданная в 1917 г. Петроградским комитетом военно-технической помощи Объединения научных и технических организаций.

В 1923 г. М. П. Костенко выпустил на эту тему еще одну книгу «Телефон. Устройство телефонных аппаратов центральных коммутаторов и телефонных линий городских, сельских и домашних сетей» [4]. Здесь «слабوتочная» тема в творчестве М. П. Костенко исчерпывается. Он довольно быстро миновал неизбежный и сложный период научного самоопределения, выбрал направление, наиболее соответствующее нуждам отечественной энергетики и электромашиностроения.

Это направление отвечало и особенностям его формирующегося научно-технического мышления. Насколько можно судить, научному мышлению Костенко-студента уже были присущи такие яркие особенности, как стремление к постижению физической сущности процессов, про-

¹⁰ Чеканов А. А., Ржонсницкий Б. Н. Михаил Андреевич Шателен, с. 26.

¹¹ Здесь и далее в квадратных скобках указываются труды М. П. Костенко из списка, приведенного в конце книги.

исходящих в электрических машинах, унаследованное, несомненно, от И. И. Боргмана и В. Ф. Миткевича; жажда удовлетворения насущных научно-технических потребностей общества, корни которой можно увидеть в первую очередь во влиянии М. А. Шателена и С. Н. Усатого, и, наконец, большая склонность к техническим изобретениям.

«Изобретательская тема» в научно-техническом творчестве М. П. Костенко проявилась впервые очень рано, в 1915 г., вероятно, под влиянием его нового товарища Николая Япольского, студента Петроградского технологического института (ПТИ), экспериментировавшего с электрическими машинами в электротехнической лаборатории, руководимой профессором А. А. Вороновым. К этому моменту Михаил Костенко уже окончил четыре курса института. Позади было много пройденных дисциплин, практикумов, лекций, лабораторных работ. Завершились занятия в лабораториях: испытания материалов, инженерной, электрических измерений, электрических машин, фотометрической и других. Много полезного получено и при работе на институтской электростанции. Наступала пора практики и диплома. Практике в институтских программах отводилось особое место. Выступая в 1907 г. на IV Всероссийском электротехническом съезде, М. А. Шателен говорил: «... Школа делает все, что может, чтобы дать студентам практическую подготовку, но достаточно ли это? Достаточно ли работа в самой хорошей институтской мастерской, лаборатории или на институтской станции? Я думаю, что без колебаний надо ответить: нет, недостаточна. Во всех таких лабораториях, мастерских не хватает одного — условий обыденной заводской жизни, и знакомство с этими условиями может дать только практика на заводах, станциях, в мастерских и т. п., вне учебных заведений»¹².

Летом 1915 г. М. П. Костенко был направлен на практику на Французский судостроительный завод, принадлежащий Обществу Николаевских заводов и верфей «Наваль». Там он ознакомился с производством в электрометаллическом цехе, где тогда изготавливалось электрооборудование для броненосца «Мария». Интересно, что в то

¹² Шателен М. А. Об организации летних практических занятий студентов, специализирующихся по электротехнике. — Труды IV Всероссийского электротехнического съезда 1907 г. в Киеве. СПб., 1908, т. 2, с. 165.

время (с 1912 по 1917 г.) начальником технической суд-конторы завода работал Владимир Полиевктович Костенко.

Одновременно с Михаилом на заводе проходили практику около 150 студентов, среди которых были и шесть девушек с электромеханического отделения Женского политехнического института. В их числе была Ольга Васильевна Карасева, с которой у Михаила вскоре установились теплые, дружеские отношения.

Ольга Васильевна происходила из небогатой интеллигентной семьи. Ее отец, Василий Филиппович Карасев, был инспектором народных училищ Петергофского уезда и направлял деятельность 110 школ. Мать, Евгения Бенедиктовна Кржывец, около 30 лет проработала в Петергофском дворцовом госпитале. Окончив в 1883 г. Георгиевские лекарские курсы, она стала лекарской помощницей и восемь лет была земским врачом.

Встречи Ольги Васильевны и Михаила Полиевктовича продолжались и в Петрограде, где, нуждаясь в деньгах для продолжения образования, Костенко преподавал в Комитете военно-технической помощи. В этой должности он встретил Февральскую революцию, а в апреле 1917 г. был назначен заведующим учебной частью, а затем и секретарем одного из отделов Комитета.

Одновременно Костенко продолжил учебу в институте и вскоре приступил к дипломному проектированию, обнаружившему его большую изобретательность: Михаил сконструировал, построил и испытал весьма оригинальный, по отзыву руководителя проекта проф. Н. Н. Черносвитова, ученика знаменитого электротехника А. Блонделя, электромагнитный аппарат, названный им «трансформатор-регулятор» [3].

Вместе с большинством профессорско-преподавательского состава и студентов ЛПИ Костенко с воодушевлением приветствовал Великую Октябрьскую социалистическую революцию. Несмотря на трудности первых лет Советской власти, институт продолжал свою деятельность, хотя порой вместо учебы и научной работы приходилось больше думать о хлебе насущном¹³. Весной 1918 года профессора, преподаватели и студенты дружно возделывали в парке Лесной академии огороды.

¹³ Каменский М. Д. ЛПИ в первые годы Советской власти. — Политехник, 1962, 16 окт.

М. П. Костенко упорно продолжал работать над дипломом. Особые сложности приходилось преодолевать во время экспериментов; в Политехническом институте часто не было электроэнергии. Позднее ученый вспоминал, как в те времена, зажав между коленями горшок с гречневой кашей, а в руке — ложку, он не спускал глаз с лабораторного вольтметра, ожидая желанный ток.

Проект оказался довольно сложным и потребовал тонких расчетов, постройки модели и ее испытания. Оформить и защитить его удалось лишь к концу 1918 г. Дипломов в то время не выдавали, и вместо него Михаил получил следующий документ:

«Временное свидетельство. Дано Михаилу Полиевтовичу Костенко в том, что он окончил курс в Петроградском политехническом институте и 20 ноября 1918 года Советом Института утвержден в звании инженер-электрика с отличием.

Декан электромеханического отделения
А. Вульф»¹⁴

В свою очередь, Н. Н. Черносвитов, по достоинству оценивший талант и старательность дипломанта, направил руководству электромеханического факультета ходатайство:

«Инженер-электрик Михаил Полиевтович Костенко, окончивший с отличием 16-го ноября текущего года электромеханический факультет, проявил за все время прохождения курса, при составлении дипломного проекта и на защите выдающиеся способности и изобретательность в области теоретического конструирования, особенно ярко проявившиеся при составлении им дипломного проекта совершенно оригинального электромагнитного механизма (названного им трансформаторо-регулятором). Это изобретение, вполне жизненное и применимое для всякого рода регулирования высокого и низкого напряжения, в особенности в установках одноякорных преобразователей, было им проверено самостоятельно поставленными им опытами в электромашинной лаборатории факультета, причем Михаил Полиевтович Костенко проявил и в области лабораторной практики способность быстро схватывать все стороны наблюдаемого им явления

¹⁴ Семейный архив М. П. Костенко.

и приходиться к соответствующим выводам, освещенным теоретическим анализом.

Ввиду всего изложенного я позволяю себе войти в факультет с предложением — оставить М. П. Костенко при Институте для подготовки к профессорскому званию без стипендии»¹⁵.

Руководство факультета поддержало представление. Новые правила приема в высшие учебные заведения, сформулированные в декрете Совнаркома от 2 августа 1918 г., гласили, что отныне каждое лицо, достигшее 16 лет, может стать слушателем любого вуза, плата за обучение отменяется и, наоборот, вводятся стипендии. Из-за этого прием на электромеханическое отделение Петроградского политехнического института составил в 1918 г. свыше 500 человек, т. е. почти на порядок больше, чем в 1902 г., когда было принято 58 человек. В этой связи перед факультетом остро стоял вопрос о подготовке новых преподавателей из числа наиболее отличившихся студентов. 3 февраля Вульф подписал документ, удостоверяющий, что «Михаил Полиевктович Костенко, окончивший электромеханический факультет Первого петроградского политехнического института, оставлен для подготовки к профессорской деятельности. . .»¹⁶.

Незадолго до этого изменилось и семейное положение молодого преподавателя. 29 августа 1919 г. Михаил Полиевктович Костенко и Ольга Васильевна Карасева зарегистрировали свой брак, а 10 октября в Петергофе состоялась их свадьба. Молодожены поселились на Александровском проспекте (теперь — проспект Добролюбова), в брошенной квартире, где и прожили всю свою совместную жизнь.

Большую роль в формировании Костенко как ученого сыграл в те годы заведующий кафедрой электрических машин ППИ профессор В. А. Толвинский.

Вацлав Александрович Толвинский после окончания в 1910 г. Петербургского политехнического института некоторое время работал в Германии, где написал важную работу по несимметричным режимам работы синхронных машин. В 1918 г. В. А. Толвинский был приглашен для руководства кафедрой электрических машин и с 1919 г. начал читать курс электрических машин на электромеха-

¹⁵ Семейный архив М. П. Костенко.

¹⁶ Там же.

ническом факультете института. В январе 1921 г. он был избран профессором, в 1922—1923 гг. был деканом электромеханического факультета.

В. А. Толвинский принадлежал к числу крупнейших ученых электриков и инженеров Советского Союза. Его имя тесно связано с разработкой и претворением в жизнь Ленинского плана ГОЭЛРО. Толвинский принимал участие в строительстве первенца советской энергетики Волховской ГЭС, в сооружении Днепровской ГЭС им. В. И. Ленина; в 1932 г. он руководил пуском этой станции. Его имя занесено

на доску почета Днепровской ГЭС. Начиная с 1930 г. Толвинский активно занимался проблемой Куйбышевского гидроузла и целым рядом других гидроэнергетических сооружений нашей страны. Хорошо известна также и его работа в электропромышленности. В течение многих лет он состоял консультантом крупного электромашиностроительного завода «Электросила» им. С. М. Кирова. При его непосредственном участии и руководстве был организован периодический выпуск научно-технического сборника «Электросила».

Перу В. А. Толвинского принадлежит большое количество трудов. Особо должна быть отмечена его работа как главного редактора 6-томного издания справочной книги по электротехнике (СЭТ), являвшейся много лет (и сейчас не потерявшей значения) настольной книгой советских инженеров-электриков. Не меньшую известность получили его учебники по машинам постоянного тока и синхронным машинам, исключительно стройные и четкие.

Надо отметить, что многие члены коллектива кафедры, которую возглавлял В. А. Толвинский, стали впоследст-



М. П. Костенко — выпускник Политехнического института (1919 г.)



Ольга Васильевна Костенко

литехнический институт, здание и окрестная роща которого были облюбованы грачами. Но, возможно, деревянная фигурка этой птицы, непременно ставившаяся на стол во время заседаний, олицетворяла царивший в кружке дух коллективизма.

М. П. Костенко — активный член кружка. Кроме него, на еженедельных встречах у Толвинского непременно присутствовали Л. М. Пиотровский, А. В. Вульф, В. К. Попов, П. Л. Калантаров, А. Б. Лебедев, А. М. Залесский, В. А. Шевалин, Е. Г. Шрамков, А. А. Сабанев, П. М. Тиходеев. Это были увлеченные электротехникой люди, в которых Толвинский умело воспитывал будущих организаторов отечественной науки.

Привлеченные интересными сообщениями на заседания кружка, нередко приходили М. А. Шателен и В. Ф. Миткевич. Впоследствии, находясь в Англии, М. П. Костенко не порывал связей с кружком, он готовил «в стол» сообщения, ежемесячно покупал книги и отсылал их кружковцам.

вии профессорами, докторами наук и ведущими инженерами в области электромашиностроения. Среди них М. П. Костенко, Д. В. Ефремов, Л. М. Пиотровский, Д. А. Завалишин, В. К. Попов, С. М. Гохберг¹⁷.

В 1921 г. Толвинский организовал постоянно действующий кружок молодых преподавателей института. Цель кружка — повышение квалификации и самообразование, а также обсуждение научных трудов. Собирались обычно на квартире Толвинского. Эмблемой кружка был выбран грач, очевидно символизирующий По-

¹⁷ См.: *Миляевская М. А., Федорова Л. А.* История кафедры электрических машин.

М. П. Костенко не пропускал ни одной работы Толвинского. Начиная с 1919 г. они приобрели ярко выраженную практическую направленность — ученый первый «перекинул мост» между Политехническим институтом и заводом «Электросила», принял участие (по приглашению Л. Б. Кюрасина) в заводской разработке новых типов электрических машин. Костенко привлекала широта и универсальность интересов Толвинского. Достаточно сказать, что в созданном Толвинским совместно с Шателеном и Миткевичем монументальном электро-



В. А. Толвинский

техническом справочнике (СЭТ) объемом в 300 печатных листов, 45 листов написаны лично Толвинским. Поэтому не удивительно, что последующие труды самого Костенко затрагивают самые различные области энергетики и электротехники¹⁸. Немаловажное значение имело и то, что Толвинский, будучи талантливым редактором, способствовал тому, что все члены кружка, по выражению Костенко, «выучились писать».

Доклады, с которыми Костенко выступил на заседаниях кружка, свидетельствовали о широком круге его интересов в самый начальный период творчества. В частности, 18 мая 1921 г. он сделал сообщение на тему: «Коллекторный многофазный альтернатор (теория)»; 26 мая 1921 г. — на тему «Коллекторный многофазный альтернатор (применение и испытание)»; 18 мая 1922 г. — «Новая схема для коммутации многофазных коллекторных машин». Как видим, в этот период происходит на-

¹⁸ Полный перечень трудов М. П. Костенко (211 названий) хранится в семейном архиве М. П. Костенко. См. также: Михаил Полиевктович Костенко: (Материалы к библиографии ученых СССР). М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 20—39, и список основных трудов Костенко, приведенный в данной книге.

чальный этап формирования его исследовательской программы.

Отдельно следует сказать об изобретательской деятельности М. П. Костенко. Еще в начале первой мировой войны он вместе со своим знакомым Н. С. Япольским, выпускником Технологического института, заинтересовался идеей «электрического орудия». Схемы их «орудия» не сохранилось. По-видимому, оно представляло собой линейный асинхронный электродвигатель, в котором роль ротора выполнял выбрасываемый снаряд. При этом величина напряжения, подаваемого на обмотку такого асинхронного электродвигателя, должна была изменяться по определенному закону. Для этого требовалось разработать устройство, дающее напряжение меняющейся частоты и величины.

Очевидно, что эта задача смыкается с проблемой регулирования скорости асинхронных электродвигателей. Поэтому Н. С. Япольский, отметив высокий уровень знаний Костенко в области теории электрических машин, предложил ему совместные разработки в лаборатории электрических машин Технологического института, руководимой А. А. Вороновым. Сам Япольский был одержим идеей «электрического молота» — электрической машины, рабочий момент которой зависит от времени и периодически достигает очень больших значений. Япольский, однако, не мог перевести эту идею на язык электромеханических проблем. В «электрическом молоте», которому, по-видимому, предшествовал тот или иной тип «электрического орудия», снаряд был заменен шуансоном, движущимся под действием магнитного поля соленоида. Важно было подобрать или изобрести генератор, способный подавать в соленоид напряжение, изменяющееся во времени по определенному закону.

М. П. Костенко провел тщательный теоретический анализ и определил, что в случае электромагнитного молота (ударного механизма, разгоняемого движущимся магнитным полем) лучше всего изменять подаваемое напряжение (а не, например, частоту): электромагнитный механизм в этом случае будет работать с постоянным коэффициентом устойчивости, практически постоянным $\cos \phi$ и благоприятным КПД [2]. В качестве такого источника Костенко предложил синхронный генератор с переменной частотой вращения, ротор которого приводился во вращение с помощью кривошипно-шатунного



«Кружок профессора Толвинского». Слева направо: в первом ряду — В. Ф. Миткевич, Л. М. Пиотровский, А. В. Вульф, Н. Н. Пономарев, С. И. Зилитинкевич, Г. А. Лют; во втором ряду — С. М. Шрейбер, В. К. Попов, П. Л. Калантаров, В. А. Толвинский, А. В. Лебедев, А. М. Залесский, В. А. Шевалин, Е. Г. Шрамков; в третьем ряду — А. А. Сабанеев, П. М. Тиходеев, М. П. Костенко

механизма. Механическая схема устройства, таким образом, была эквивалентна «вывернутому» паровому двигателю, где возвратно-поступательное движение поршня преобразуется в круговое движение колеса с постоянной окружной скоростью. Расчет такого генератора осложнялся своеобразием его электромагнитного и механического режима. Костенко проанализировал работу машины исходя из весьма общих физических представлений и произвел полный ее электромагнитный расчет [2].

Япольский и Костенко пытались проверить результаты экспериментальным путем в лаборатории. Однако в условиях военного времени им не удалось провести испытания в полном объеме.

Сразу же по окончании института в ноябре 1918 г. М. П. Костенко организует вместе с Н. С. Япольским при лаборатории электротехники ПТИ, возглавляемой А. А. Вороновым, Магнитофугальное бюро научно-технического отдела ВСНХ. Кроме них, в Бюро начинают работать

Б. А. Воронов, Архангельский, Паутов и О. В. Костенко. Этимология названия «магнитофугальное бюро» неясна: по-видимому, оно имеет отношение к «фуганку» и, возможно, «фугасу». Последнее весьма вероятно, если учесть, что создатели бюро в числе прочих проблем в свое время интересовались «электрическим орудием» и вплотную разрабатывали «электрический молот». Среди изобретений, разрабатывавшихся в бюро, следует назвать и трансформатор-регулятор М. П. Костенко, который можно было использовать, например, в цепи управления одноякорного преобразователя для регулирования скорости асинхронных электродвигателей.

Таким образом, с самого начала деятельности Костенко в центре его внимания оказалась задача регулирования частоты вращения асинхронных электродвигателей — коренная задача электропривода. В то время представлялось крайне актуальным эффективно решить задачу использования асинхронных двигателей в регулируемом приводе в металлорежущих станках и на транспорте. Однако классическая, «прямая» схема включения асинхронного двигателя в сеть не допускала широкого регулирования частоты его вращения. Особенно это характерно для короткозамкнутого асинхронного двигателя. И хотя идея использования короткозамкнутого асинхронного двигателя типа Бушера для тяги восходит к 90-м годам XIX в., практически она была осуществлена лишь в 1918 г., когда по предложению Ч. П. Штейнмеца этот двигатель был установлен на дредноуте «Нью-Мексико»: по сложной многомашинной схеме с его помощью приводился во вращение корабельный винт.

Любая идея регулирования частоты вращения асинхронного короткозамкнутого электродвигателя (при постоянном моменте) должна опираться на изменение либо величины подаваемого напряжения, либо частоты питающей сети. Следовательно, для питания простых по конструкции короткозамкнутых асинхронных двигателей необходимо было разработать специальный генератор переменной частоты, иначе говоря, попытаться использовать асинхронный электродвигатель в рамках «каскада» электрических машин.

Первые такие каскады появились в начале XX в. Они представляли собой асинхронный электродвигатель, питаемый от трехфазного коллекторного генератора. Эта идея смогла получить практическое применение лишь

после того, как Шербиус предложил схему компенсирующей обмотки, позволяющей компенсировать как основную, так и высшие гармонические МДС для любого момента времени, и указал на возможность получения от этой машины напряжения переменной частоты для управления частотой вращения асинхронного двигателя.

Хотя большого практического значения идея Шербиуса не получила, в Европе в 1908—1910 гг. наблюдается повышенный интерес к коллекторным машинам переменного тока. Новое промышленное оборудование требовало широкого регулирования частоты вращения, которое не могли обеспечить ни синхронные, ни асинхронные двигатели. Сложная установка «генератор—двигатель», используемая для регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока в сети переменного тока, тоже не решала этой проблемы. Все это побудило ряд фирм Германии, Швеции и Англии начать разработку коллекторных машин переменного тока [21].

Проблема регулирования скорости асинхронных электродвигателей увлекла М. П. Костенко и Н. С. Япольского. В 1916 г., работая над идеей «электрического молота», они пытались создать генератор переменной частоты для питания их установки. От первоначальной идеи Япольского — использовать синхронную машину с распределенными по эвольвенте полюсами — пришлось отказаться. В результате эксперимента и поверочного расчета, проведенного Костенко, оказалось, что машина имеет недопустимо высокую реактивность. Тогда Япольский предложил компенсировать поток реакции якоря с помощью дополнительной обмотки, магнитный поток которой мог быть направлен встречно потоку одной ветви основной обмотки. Костенко поддержал эту идею. В качестве ее практической реализации он рассчитал коллекторный неявнополюсный компенсированный двигатель трехфазного тока, работающий в генераторном режиме с независимым возбуждением на статоре. При этом предусматривалась и возможность возбуждения с ротора. Как видим, молодой ученый разработал оригинальную трансформаторную связь во вращающейся электрической машине [2, 6]. Для подтверждения своих теоретических построений Костенко провел в лаборатории электрических машин Политехнического института экспериментальные исследования на модернизированном коллекторном двигателе (7 л. с., 220 В, 1500 об./мин), переключенном по схеме коллекторного

альтернатора. Результаты опытов подтвердили правильность расчетов.

Однажды, работая в лаборатории, Костенко и его коллеги случайно обнаружили, что при движении пуансона внутри соленоида электромагнитного молота ротор генератора поворачивается на некоторый угол. Это открытие навело на мысль о возможности постройки «синхронного силового привода» или «синхронного поворота», когда перемещение ротора относительно маломощной машины вызывает соответствующий поворот одного или нескольких роторов мощных машин. «Синхронный силовой привод» мог быть использован, например, для одновременного поворота орудийных башен на крупных кораблях. В 1923 г. М. П. Костенко, Н. С. Япольский, Б. А. Воронов и К. А. Сабанеев запатентовали свое открытие в Англии [7].

В декабре 1920 г. VIII Всероссийский Съезд Советов принял подготовленный Государственной комиссией по электрификации России под руководством Г. М. Кржижановского план ГОЭЛРО. Этот план был разработан при участии большой группы петроградских ученых во главе с М. А. Шателеном. М. П. Костенко, судя по отчетам Петроградской группы, в подготовке плана не участвовал: в это время он был занят своими изобретениями в Магнитофугальном бюро¹⁹.

Тем не менее Костенко, его жена и Н. С. Япольский вместе с работниками Петроградской группы ГОЭЛРО приняли участие в работе VIII Всероссийского электротехнического съезда, созванного по решению Совета Народных Комиссаров. Одной из основных задач Съезда была консолидация электротехнической общественности вокруг плана ГОЭЛРО, его техническая апробация специалистами-электротехниками. Известие о созыве Съезда было встречено инженерами-электриками России с большим воодушевлением. «Все-таки здорово, — радовались мы, — вспоминает Б. С. Басков, — что вопрос ставится не о том, как заштопать ту или иную дыру в разрушенном хозяйстве страны, а о широких реальных перспективах будущей жизни. Вот и наметился, обозначился в хозяйственной, а значит, и в нашей, инженерной, деятельности поворотный пункт!»²⁰.

¹⁹ ЦГАНХ СССР, ф. 5208, оп. 1, д. 1—3.

²⁰ ЦГАНХ СССР, ф. 271, оп. 1, д. 6, л. 2—10.

Съезд открылся 1 октября 1921 г. Присутствовало около 900 делегатов и 500 гостей. Почетным председателем съезда был единогласно избран Председатель Совета Народных Комиссаров В. И. Ленин. На съезде демонстрировалась и горячо обсуждалась знаменитая карта ГОЭЛРО.

План ГОЭЛРО был разработан в нужный момент. Профессор А. И. Угримов, выражая взгляды многих инженеров тех лет, писал: «... Казалось: вот-вот замрет слабеющее биение хозяйственной жизни страны и наступит тогда жуткая грозная минута тишины. Но эта минута не наступила. Ее опередил ленинский призыв. Ему в ответ блеснула творческая работа ГОЭЛРО»²¹.

Г. М. Кржижановский зачитал съезду приветствие В. И. Ленина. Вождь российского пролетариата с оптимизмом констатировал, что, несмотря на значительные трудности первых лет Советской власти, электрификация страны не стоит на месте. «При помощи вашего съезда, — подчеркивал В. И. Ленин, — при помощи всех электротехников России, и ряда лучших, передовых ученых сил всего мира, при героических усилиях авангарда рабочих и трудящихся крестьян мы эту задачу осилим, мы электрификацию нашей страны создадим»²². Послание В. И. Ленина съезду было встречено горячими аплодисментами.

VIII Всероссийский электротехнический съезд знаменовал собой важнейшую веху в истории российской электротехники — поворот большинства электротехнической общественности к активному сотрудничеству в деле осуществления плана ГОЭЛРО, начало их вдохновенной работы по выполнению проектов электрификации. Съезд принял ряд конкретных решений, сыгравших важную роль в будущей электрификации страны. В частности, делегаты утвердили в качестве основной системы электрического тока в Советской России трехфазную систему переменного тока частотой 50 Гц, одобрили идею «кустования» станций для возможности осуществления их параллельной работы, приняли ряд стандартов в области электротехники.

Активно участвовали в деятельности съезда и инженеры Магнитофугального бюро²³. В частности, М. П. Кос-

²¹ Сделаем Россию электрической. М.: Госэнергоиздат, 1960, с. 83.

²² Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 33, с. 28.

²³ ЦГАНХ СССР, ф. 5208, оп. 1, д. 67, 68.

тейко выступил с докладом о получении переменных частот от коллекторного альтернатора постоянного числа оборотов.

Большой интерес участников съезда, в том числе и Костенко, вызвал доклад профессора В. К. Лебединского. Намечая в нем перспективы развития электротехники, Лебединский подчеркнул, что все известное в то время многообразие электрических машин (больших и малых, «нормальных» и специальных) основано на одном исходном принципе — законе электромагнитной индукции Фарадея. Но, по мысли докладчика, прежде чем эта идея Фарадея воплотилась в конкретные конструктивные формы, прошло много лет. Поэтому следует уже сейчас обратить внимание на поиски новых плодотворных идей, поскольку они, по примеру закона электромагнитной индукции, воплотятся в жизнь не сразу, а спустя много лет.

Эти мысли были близки М. П. Костенко, но он трактовал их в несколько ином смысле. Он считал, что уже в современной ему электротехнике имеются идеи, которые, развиваясь подобно зерну, могут перерасти в новые перспективные направления. «Создание нового типа электрической машины, — писал впоследствии М. П. Костенко, — и разработка областей ее применения представлял обширную и сложную задачу. В основу должна быть положена определенная идея, которая должна сыграть роль зерна, дающего возможность вырастить плод, далеко превосходящий зерно по размерам и свойствам. В количестве труда, необходимом для доведения машины до ее практического использования и внедрения — идея составляет, по существу, небольшой процент, но без нее не будет и машины, как без зерна не будет растения»²⁴. Поисками этих «зерен» Костенко занялся, и небезуспешно, уже во время работы съезда.

4 октября 1921 г. М. П. Костенко и Н. С. Япольский отнесли в Комитет по изобретениям РСФСР, находившийся в Москве, две совместные заявки на изобретение «коллекторного альтернатора многофазного тока с переменным числом периодов при постоянном числе оборотов» и «устройства для приведения в действие с переменным числом оборотов многофазного асинхронного

²⁴ Костенко М. П. Из неопубликованной рукописи. — Семейный архив М. П. Костенко.

двигателя от многофазного коллекторного альтернатора, вращающегося с постоянной скоростью».

Изобретениями Костенко и Япольского заинтересовался крупный инженер-электротехник нарком внешней торговли РСФСР Л. Б. Красин. В то время наша страна остро нуждалась в валюте, в частности, нужно было оплачивать заграничные заказы, необходимые для выполнения плана ГОЭЛРО, — генераторы, трансформаторы, турбины, провода, распреустройства. Красин предложил запатентовать за границей ряд изобретений, купленных Наркомвнешторгом у изобретателей, и тем самым несколько смягчить валютный голод страны. В число авторов таких изобретений нарком включил М. П. Костенко и Н. С. Япольского. Красин предложил им отправиться в составе Российской торговой миссии в Англию и работать там над усовершенствованием и патентованием своих изобретений.

Глава третья.

**Командировка в Англию. Работа над изобретениями.
Посещение заводов. Съезд Британской ассоциации
в Ливерпуле. Знакомство с П. Л. Капицей.
Разработка ударного генератора.
Развитие работ по ударным генераторам**

22 августа 1922 г. М. П. Костенко отбыл в Англию, а спустя несколько месяцев туда приехала и Ольга Васильевна. Выйдя замуж, Ольга Васильевна решила посвятить свою жизнь мужу и его научным интересам, и хотя первое время сильно переживала, что пришлось бросить инженерную деятельность, она всю жизнь была верным и понимающим другом Михаила Полиевктовича и не раз своим теплым участием вдохновляла его на большие дела. Не пропало даром и инженерное образование Ольги Васильевны: неплохо разбираясь в существе электромеханических проблем, она стала незаменимым помощником Костенко, редактором его трудов.

Супруги Костенко поселились в Лондоне на Сант-Мэрис-род, 23. На ул. Мургейт, 49 размещался «Аркос» (сокр. от All Russian Cooperative Society, L—d) — русское торговое представительство, к которому они были прикомандированы. Костенко и Япольский стали работать

в небольшом бюро, в которое помимо них входили машинистка-переводчица Мэри (Мэй) Кинг и чертежник Балкашин. Сразу же нахлынули дела. И в первую очередь нужно было точно рассчитать те машины, которые были предметом их изобретений или входили в качестве элементов в «синхронный силовой поворот», «электромагнитный молот», «коллекторный альтернатор переменной частоты» и др., сделать их рабочие или, по крайней мере, эскизные чертежи, договориться с электромашиностроительными заводами об изготовлении макетных образцов и провести первые испытания. Кроме того, Костенко в качестве эксперта по приемке различных типов электротехнического оборудования, закупленного нашей страной для нужд электрификации, неоднократно посещал английские электромашиностроительные заводы, знакомясь с их передовым для того времени производством.

В октябре 1922 г. Костенко и Япольский отправили в Швейцарию первую заявку на патент «коллекторная машина» [5], в декабре на патент «электромагнитный молот» [6]. Заявки были зарегистрированы в Швейцарском федеральном бюро «интеллектуальной собственности» под «№ 101700 класс 110а от 19 декабря 1922 г.» и «№ 100250 класс 87в¹ от 18 декабря 1918 г.»; авторы — «Никола Япольски и Мишель Костенко, Лондон (Великобритания)». Среди других изобретений тех лет следует отметить «систему, управляющую перемещением на определенное расстояние» — под таким названием М. Костенко, Н. Япольский, Б. Воронов и К. Сабанеев запатентовали систему синхронного поворота. В 1928 г. этот патент был приобретен английской компанией «Метрополитен-Виккерс» [7]. Несколько патентов были получены в Англии и Германии.

Английские фирмы «Инглиш Электрик», «Сити Электрик» и ряд других приступили к изготовлению машин, запатентованных советскими специалистами. Уже перед отъездом М. П. Костенко присутствовал при первом испытании коллекторного генератора на заводе фирмы «Инглиш Электрик» в Бирмингеме. Испытание подтвердило правильность расчета, однако получить вполне удовлетворительную коммутацию по схеме Япольского не удалось. В этой схеме увеличение пути тока короткого замыкания коммутируемой секции позволило допустить повышенное напряжение между соседними коллекторными пластинами, благодаря чему значительно снижались раз-

меры коллектора. Машина должна была иметь два коллектора с равным числом рабочих и мертвых пластин, сдвинутых таким образом, чтобы рабочая пластина одного коллектора находилась против мертвой пластины другого. Щетки, равные по ширине коллекторной пластине, ни при каких условиях не перекрывали двух соседних рабочих пластин. Однако заводские специалисты не смогли обеспечить достаточной точности изготовления коллектора; в результате он сильно искрил. Представители фирмы решились его переделать.

Незадолго до отъезда Костенко из Англии прошла испытания и система возбуждения магнитофугального молота, построенная заводом «Дайнамо Электрик Компани» в Лондоне. В производство были запущены и остальные запатентованные машины.

Костенко побывал на большинстве крупных английских электромашиностроительных заводов и познакомился с последними достижениями английских инженеров в области электромашиностроения. Среди бумаг ученого сохранились записи о наиболее интересных, по его мнению, предприятиях. В этих записях нашли отражение многие направления будущей научной деятельности Костенко.

«1. Завод «Метрополитен-Виккерс» в Манчестере представляет собой наиболее крупный электромашиностроительный завод в Англии. Он состоит из 5 корпусов. Наиболее интересен сдвоенный зал больших машин и турбин — его ширина 2×30 м и длина 270 м. В боковых его частях и верхних балконах размещаются подсобные цеха и мелкие производства. Видел здесь ротор турбогенератора для машины в 22 000 кВА диаметром 34 дюйма и длиной 110 дюймов, большие турбины в 35 000 кВт, на 1500 об./мин с последовательно-параллельным течением пара.

2. Завод «Инглиш Электрик Компани» в Престоне, занимающийся постройкой турбогенераторов и электровозов. Здесь я познакомился с одним из изобретателей трансвертера¹, который показал мне находящийся в производстве трансвертер мощностью в 2000 кВА на напряжение 100 000 В, который был затем представлен на выставке в Уэмбли, в Лондоне. В производстве находились также

¹ Трансвертер — электрическая машина, преобразующая переменный ток в постоянный ток высокого напряжения. — *Примеч. авт.*

5 гидравлических генераторов мощностью 8000 кВА каждый на 500 об./мин для французских железных дорог и электровозы для Японии.

3. Завод «Инглиш Электрик Компани» в Страффорде. Здесь наибольший интерес представляет одноякорный преобразователь мощностью 1000 кВт, 1500 В, 750 об./мин. 50 Гц с радиальным коллектором системы Шраге мощностью 80 л. с. . . .»²

Костенко считал, что в Англии ему повезло. Вместе с Ольгой Васильевной, он присутствовал на съезде Британской ассоциации содействия развитию науки, состоявшемся в Ливерпуле в октябре 1923 г. Председательствовал Э. Резерфорд, среди выступавших были Н. Бор, А. Эйнштейн и другие видные ученые. В частности, участники съезда активно обсуждали работу Бора о влиянии электрических и магнитных полей на спектральные линии, в которой намечался путь их «классификации» и распределения электронов по группам. Присутствующие понимали, что эти группы будут существенно различаться между собой, хотя взаимосвязи электронов в атоме были еще неясны. Казалось, атмосфера съезда была пропитана ожиданием необычного решения этой проблемы, хотя мало кто мог догадываться тогда, насколько оно будет необычным!

С большим удовольствием прослушал Костенко все доклады. Его не смутило то, что многое в них было далеким от его непосредственных научно-технических интересов. Он узнал, чем живет современная физика и какую роль должна сыграть в ее дальнейшем развитии техника. В то время физика, используя достижения техники, начала постепенно отходить от классических экспериментальных «сургучно-веревочных» традиций. Нарождалась новая техника физического эксперимента. Она была непривычна; машины, использовавшиеся позже П. Л. Капицей в Кавендишской лаборатории Кембриджского университета, поражали восприятие физиков необычными масштабами, характеристиками, техническим совершенством, а главное — громадными, невиданными ранее перспективами. П. Л. Капица, по-видимому, был вторым (после Гейке Каммерлинг-Оннеса, оживившего гелий в Лейденской лаборатории благодаря постройке выдающихся инженерных сооружений) физиком-инженером, хорошо

² Семейный архив М. П. Костенко.

представлявшим возможности и проблемы «техники физического эксперимента». Он считал, что «обогащая физику, она обогащает и себя самое»³. Это, несомненно, в какой-то мере предопределило столь большие успехи Капицы в Кембридже. Зарождающаяся новая экспериментальная техника, в свою очередь, уже скоро должна была дать для развивающейся науки гигантские ускорители, радиотелескопы, установки для исследования термоядерной управляемой реакции. П. Л. Капице и М. П. Костенко предстояло сыграть в этом процессе важные роли.

С Петром Леонидовичем Капицей супруги Костенко познакомились в «Аркосе» еще в январе 1923 г. Затем они встретились на дне рождения сына Япольского. Вскоре молодые люди подружились. Петр Леонидович предложил своим новым друзьям вместе съездить в отпуск во Францию. Он помог супругам Костенко получить французские визы, и они вместе отпраздновали в Париже День взятия Бастилии.

В одну из встреч в Лондоне в 1924 г. Капица рассказал Костенко о возникших у него проблемах с источником тока для получения сверхсильных магнитных полей, необходимых ему для проведения физических исследований. В то время П. Л. Капица работал в Кавендишской лаборатории Кембриджского университета, изучая треки α -частиц, Зеeman-эффект и другие явления в сильных магнитных полях. В первой серии опытов он в качестве источника питания соленоида использовал свинцовые аккумуляторы, модифицированные с целью снижения внутреннего сопротивления. Это было необходимо для увеличения импульсного тока, получаемого с помощью аккумуляторов в специально рассчитанных небольших соленоидах. Каждый элемент состоял из 71 пластины размером 35×35 см, толщиной 15 мм при расстоянии между пластинами 1,7 мм. Батарея содержала четыре элемента, при зарядке (ток 2—3 А) соединенных параллельно. При разряде батарея соединялась по два элемента последовательно-параллельно, что позволяло при внешнем сопротивлении 0,2 Ом получать в импульсе мощность 1000 МВА (при токе 7000 А). При коротком замыкании можно было получить ток 1300—1400 А. На этом возможности аккумуля-

³ Капица П. Л. Эксперимент. Теория. Практика. М.: Наука, 1977, с. 26.

ляторной батареи исчерпывались, и Капица вынужден был искать более мощный источник тока.

Для опытов Капицы нужны были большие токи на весьма короткие моменты времени. Костенко, уже работавший с синхронными генераторами, действующими в условиях коротких замыканий (электромагнитный молот), решил использовать для этой цели большие всплески тока, возникающие при внезапном коротком замыкании синхронных генераторов. В качестве нового источника большой мгновенной мощности он избрал быстроходный синхронный генератор, который в «режиме внезапного несимметричного короткого замыкания может быть применен на период времени первой положительной полуволны тока с замыканием и размыканием цепи специальным выключателем при прохождении тока через нулевое значение». Это давало возможность, быстро выключив сильно перегружаемый генератор, не «сжечь» его и использовать в течение короткого промежутка времени запасенную ранее в процессе разгона электромагнитную и кинетическую энергию ротора. Легко заметить, что по сути «ударный генератор» Костенко близок его «электромагнитному молоту».

Идея Костенко очень понравилась Капице. Он попросил Михаила Полиевктовича выполнить предварительные расчеты. К следующей их встрече в Кембридже М. П. Костенко подготовил все исходные данные. Костенко мастерски подобрал параметры синхронного генератора, получив максимально возможные для машины заданных габаритов всплески тока и соответствующие магнитные поля. Ударная мощность генератора при всплеске тока достигала в соответствии с расчетом 1000—1500 МВА; рабочий период составлял 0,01 с.

Капица ознакомил с проектом руководителя Кавендишской лаборатории профессора Резерфорда. Известный физик высоко отозвался об идее эксперимента и даже предположил возможность создания с помощью «ударного генератора» магнитных полей с магнитной индукцией порядка 7 млн. Гс и тем самым, воздействуя на внутреннее поле электрона и заставив все электроны вращаться в одной плоскости, «сплющить атом»⁴. Поддерживая идею Костенко, Резерфорд захотел, однако, чтобы расчеты просмотрел какой-нибудь видный английский электротехник,

⁴ Семейный архив М. П. Костенко.

знающий возможности английских заводов, который мог бы дать официальное заключение о перспективности разработки для целей Кавендишской лаборатории. Резерфорд считал, что ударные генераторы из-за специфики работы должны по своему исполнению существенно отличаться от серийных синхронных генераторов.

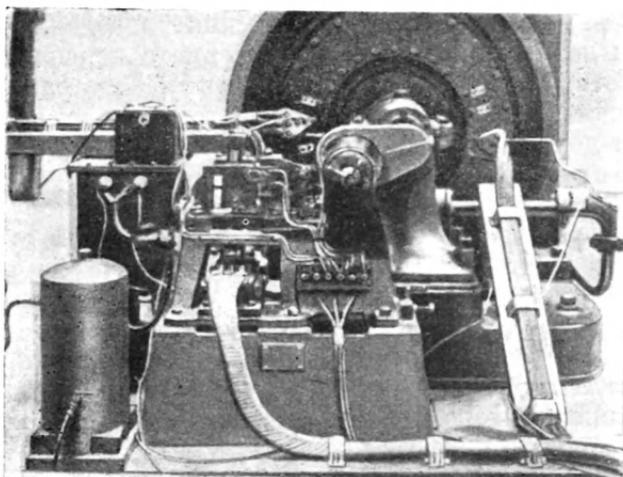
Костенко предложил кандидатуру Майлса Уокера, профессора электротехники на технологическом отделении Манчестерского университета, консультанта по расчетам электрических машин английской фирмы «Электрик энд Мэньюфекчуринг компани». В 1920 г. этот ученый издал обширный труд по расчету электрических машин, в котором рассматривался случай отсутствия апериодической составляющей тока при коротком замыкании синхронного генератора.

Резерфорд написал Майлсу Уокеру письмо, в котором просил дать отзыв и апробировать проект. Получив предварительное согласие рецензента, Костенко и Капица приехали к нему в Манчестер. Существенных изменений в проект Уокер не внес и в целом его одобрил. Вскоре фирма «Метрополитен-Виккерс» приняла заказ на изготовление ударного генератора, а М. П. Костенко и П. Л. Капица стали соавторами предложенного ими устройства, получив 30 июня 1926 г. английский патент за № 254, 349 [11].

Когда М. П. Костенко уже вернулся в СССР, импульсный генератор был изготовлен и с большим успехом испытан. Были получены импульсные магнитные поля с индукцией до 320 тыс. Гс. При этом генератор раскручивался до половины разгонной скорости, т. е. до 1500 об./мин., причем использовалась лишь треть его мощности⁵.

Остановимся на некоторых особенностях работы и конструкции ударного синхронного генератора. Короткое замыкание для него — рабочий режим. В момент короткого замыкания при прохождении периодической составляющей тока через нуль цепь статора замыкается с помощью специального механического выключателя. Размыкается она в тот момент, когда ток в конце положительной полуволны снова принимает нулевое значение. Это

⁵ Further Developments of the Method of Obtaining Strong Magnetic Fields. Collected Papers of P. L. Kapitza, — Pergamon Press, 1964, vol. 1, p. 136—151.



«Ударный генератор» М. П. Костенко и П. Л. Капицы в Кавендишской лаборатории Кембриджского университета

резко облегчает коммутацию столь значительных токов, какими могут быть токи, возникшие в результате короткого замыкания быстрого синхронного генератора с массивным ротором. Рабочий период генератора составляет, таким образом, всего 0,01 с. Для получения возможно более сильных всплесков тока требуется обеспечить минимальные значения индуктивного рассеяния статора и ротора при сверхпереходной индуктивности всего около 2—3%. Для этого пазы статора ударного генератора выполняются с малым отношением высоты к ширине паза ($h_n/b_n = 2$ по сравнению с $h_n/b_n \leq 10$ для обычных генераторов). Кроме того, статорная обмотка такого генератора имеет специальные экраны из хорошо проводящего материала (медь, бронза), демпфирующие поля рассеяния, служащие одновременно и для закрепления лобовых частей. Ротор также выполняется с весьма мощной демпферной системой.

Размеры машины соответствовали размерам синхронного генератора для стационарной работы мощностью около 2000 кВт. Во время испытаний в режиме короткого замыкания генератор давал импульсную мощность порядка 220 000 кВт. В катушке без стального сердечника с полным сопротивлением, примерно равным внутреннему сопротивлению генератора, выделялось тепло, соответ-

ствующее мощности около 50 000 кВт в течение полупериода. Соответствующими, т. е. крайне значительными, оказались и электродинамические условия, действовавшие и в катушке, и в генераторе.

Ротор генератора имел диаметр 52,1 см. В его стальной массив с целью снижения реактивностей были введены еще и демпферные стержни, образующие «беличью клетку». Ротор был рассчитан на частоты вращения до 3500 об./мин, что соответствует окружной скорости 95,7 м/с; его масса составляла 2,5 т, момент инерции 59,6 кг/м². Инерция ротора была, таким образом, вполне достаточна и не требовала установки дополнительного маховика. Общая масса машины равнялась приблизительно 13 т. Разгонный двигатель постоянного тока имел мощность порядка 80 л. с.⁶

В семейном архиве М. П. Костенко хранится письмо П. Л. Капицы, посланное им из Геттингена 7 июля 1925 г. Оно лишний раз свидетельствует о большом значении, которое придавал Капица испытаниям и дальнейшему развитию ударного синхронного генератора:

«Дорогой Миша!

Давно собирался тебе написать, да уж очень занят был, так что только улучил момент во время этих каникул, когда я приехал в Геттинген, чтобы прочесть тут доклад. Дела с машиной довольно благополучны, она закончена и испытана, дала при полном коротком замыкании при 3500 об./мин при полном перевозбуждении 168 000 кВА мгновенных в момент *max*. Если бы она была замкнута в должный момент, то могла бы дать 220 000 кВА. Для опытов мы можем взять $\frac{1}{4}$ этой мощности, т. е. 55000 кВА, что немного больше того, что мы рассчитывали. Это, конечно, очень хорошо и даже лучше, чем все ожидали. Машина привезена в Кембридж и уже поставлена. Все это взяло много работы и энергии. Но как видишь, через 1 год и 4 месяца после того, как мы, работая на St. Mary Road, впервые задумали эту машину, она уже построена и установлена. Это, правда, не так плохо. Я тебе посылаю пару фотографий. Одна с видом машины, когда ее везут в Кавендишский университет.

⁶ Further Developments of the Method of Obtaining Strong Magnetic Fields., p. 138.

Теперь самое трудное — это вопрос автоматического замыкателя и размыкателя. Эта часть оказалась очень трудной, я сплошь проработал 3 месяца над ней. Она делается аэроплановой фабрикой, так как по конструкции очень похожа на клапанный распределительный механизм быстроходного аэропланного двигателя. Приходится применять стали, которые выдерживают 7,0—9,0 т/см. Эту часть еще не планировали. Кажется, у Япольского тоже успех... Мои личные дела ничего. Только очень устал. Не приедешь ли посмотреть на машину? Если все [пойдет] благополучно, она будет функционировать около конца октября или в середине ноября. Как живешь и что делаешь. Крепко жму руку. Низжайший привет Ольге Васильевне и всем коллегам. Еще раз всего хорошего. Пиши!!

Твой П. Капица»⁷

Впоследствии, с возвращением П. Л. Капицы в СССР, оборудование его лаборатории, и в том числе импульсный генератор, было перевезено в Москву и установлено в Магнитном зале Института физических проблем.

В 1934 г. М. П. Костенко вернулся к проблеме ударного генератора. По заказу проф. Я. Г. Дорфмана, который проводил физические исследования в Уральском физико-техническом институте (Свердловск), был создан импульсный генератор большой мощности. Костенко выполнил электрический расчет машины, дававшей в импульсе 120 000 А, механический расчет произвел Б. Н. Красовский, конструкцию генератора разработали Е. Г. Комар и В. В. Титов. Л. П. Гнедин и И. В. Сафоновский — аспиранты Костенко — сконструировали сложный выключатель еще более мощного типа, чем использованный в экспериментах П. Л. Капицы.

Спустя четыре года Костенко участвовал в проектировании и изготовлении на базе нормального турбогенератора мощностью 15 000 кВт трех ударных однофазных генераторов на импульсные токи до 400 000 А. В конце 30-х годов для испытания высоковольтных выключателей на заводе «Электроаппарат» при участии М. П. Костенко был создан трехфазный ударный генератор, соответствующий габаритной мощности 75 МВт при 3000 об./мин.

⁷ Семейный архив М. П. Костенко.

При коротком замыкании он развивал импульсную мощность 1 200 000 кВА⁸.

В Лондоне М. П. Костенко в совершенстве овладел английским языком и, зная теперь уже все основные европейские языки, мог ознакомиться с громадным количеством технической литературы, хранящейся в Лондонских библиотеках. Из прочитанного он вынес многое. Наряду с важными научно-техническими выводами он уже тогда подошел к интересным обобщениям в области так называемого научного мировоззрения. Об этом М. П. Костенко в 50-х годах рассказал в беседе с представителем ленинградского радио:

«Знакомясь в лондонских библиотеках с большой технической литературой, я подметил в развитии технической мысли одно очень интересное явление. Время от времени на страницах технических журналов, научных сборников, в отдельных монографиях вдруг всплывают некоторые «модные» вопросы науки и техники, которые чрезвычайно широко дискутируются, к которым привлечено внимание научной и технической общественности. Эти вопросы некоторое время живут на страницах печати, затем интерес к ним постепенно пропадает и через некоторое время о них совершенно забывают. Вместе с тем некоторые вопросы науки и техники не привлекают к себе большого внимания, кажутся второстепенными, малозначащими. Однако проходит время и о них начинают говорить все чаще, они все более широко разрабатываются и, наконец, уверенно входят в жизнь, твердо занимая в ней подобающее место. Анализируя причины этого интересного явления, я понял, что оно может определять и судьбу ученого. Можно некоторое время блистать, привлекать к себе внимание, быть «модным», а затем через некоторое время о тебе забудут и никто в дальнейшем не вспомнит.

Что же за вопросы, которые могут быть некоторое время модными, а затем — полностью забытыми? Такими вопросами в науке и технике могут быть лишь вопросы, рожденные в отвлеченном мышлении, не связанные с практикой жизни. Они могут быть оригинальны, привлечь к себе на некоторое время внимание, но, как и о всем не нужном для жизни, о них быстро забудут.

⁸ *Пиотровский Л. М.* Электрические машины. М.: Госэнергоиздат, 1948.

И, наоборот, то, что рождено из практики, из потребностей жизни, будет развиваться и уверенно войдет в нее.

Думая о пути ученого, надо постоянно об этом помнить. Если не хочешь быть пустоцветом, если хочешь служить народу, если хочешь заслужить признание, надо браться за те вопросы, которые, возможно, на первый взгляд кажутся второстепенными, но которые выдвигаются жизнью, практикой.

Где и как находить эти нужные и важные вопросы? Вывод ясен. Нужно идти на завод, на производство, туда, где создаются материальные ценности, где каждодневно возникают новые и новые научные и технические вопросы, которые подскажут, помогут правильно обобщить и наметить важнейшие технические проблемы, требующие научной разработки. Здесь трудно будет ошибиться и взяться за решение таких вопросов, которые не нужны для жизни, для практики...»⁹.

Эти высказывания М. П. Костенко представляются нам крайне важными при изучении вопроса о формировании стиля его научного мышления.

Глава четвертая

План ГОЭЛРО и «Электросила». ОБИС. Зарождение научно-технической школы электромашиностроения. Работа на ХЭМЗ

В 1924 г. Михаил Полиевктович и Ольга Васильевна Костенко возвратились на Родину. Задание было выполнено: запатентован ряд важных изобретений, построено несколько уникальных машин, получены новые знания, которые пригодятся возрождающейся промышленности России, ее науке и образованию. Полный новых творческих планов прибыл М. П. Костенко на кафедру электрических машин Ленинградского политехнического института, которой заведовал Вацлав Александрович Толвинский, и занял прежнее место ассистента. За время его отсутствия кружок Толвинского не распался, и Костенко сделал на его заседаниях ряд важных и интересных для преподавателей кафедры сообщений.

⁹ Запись беседы хранится в семейном архиве М. П. Костенко.

Характерно, что даже будучи за границей, Костенко не ощущал отрыва от кружка, считал себя его членом и, как уже говорилось, готовил для него доклады. Так, 12 апреля 1923 г., находясь в Лондоне, он набросал тезисы доклада на тему «Обращенная коллекторная машина», а 26 октября — «Многофазная коллекторная машина постоянного числа оборотов».

По возвращении домой Костенко 24 июня 1924 г. выступил на кружке с сообщением «О заграничной командировке», 26 июня он рассказал о работах П. Л. Капицы. Столь малый перерыв между докладами был вызван, очевидно, наступавшими каникулами.

Осенью занятия кружка возобновились. 20 ноября 1924 г. Костенко сделал в кружке сообщение «О новой системе Хейланда для коммутации трехфазных коллекторных двигателей», 19 марта 1925 г. прочел доклад на тему «Турбогенераторы завода «Электросила», 25 октября 1925 г. сообщил о трехфазном коллекторном двигателе системы Шраге, а 3 декабря — о компенсированном асинхронном двигателе¹.

Если проанализировать эти темы и сопоставить их с позднейшими направлениями исследовательской деятельности М. П. Костенко, то можно только поразиться тому, насколько ярко уже в начале его творческой деятельности проявился главный стержень его исследовательской программы. Такое положение, по-видимому, типично для крупных ученых². В этом смысле особенно показателен доклад Костенко по турбогенераторам.

М. П. Костенко сознательно искал сближения с заводской практикой, необходимость которого он ощутил еще в Англии. Прекрасным примером творческого союза науки и производства была для него деятельность В. А. Толвинского. В 1921 г. Толвинского избрали заведующим кафедрой электрических машин и он оставил работу на заводе «Электросила», где по заданию Л. Б. Красина помогал разрабатывать новые типы тяговых электродвигателей для мощных тепловозов. Однако связей с заводом Толвинский не порвал и, напротив, стремился к тому, чтобы

¹ Семейный архив М. П. Костенко.

² См.: Карцев В. П. Эдинбургский период творчества Максвелла. — *Вопр. истории естествознания и техники*, 1978, № 58, с. 29; *Он же*. О неопубликованной рукописи Г. М. Кржижановского. — Там же, 1979, № 63, с. 60.



*М. П. Костенко — инженер
«Электросила»*

между членами его кафедры и конструкторами, между учеными и заводскими специалистами наладилось плодотворное творческое содружество. Он принимал участие в составлении заводских формуляров расчетов электрических машин и нормалей предприятия, длительное время редактировал сборник «Электросила», в котором синтезировались и решались научно-производственные проблемы отрасли.

Толвинский принял активное участие в работах по составлению и осуществлению плана электрификации России. Именно

выполнение этого плана на новой технической и научной основе стало началом и главным содержанием долгого и плодотворного сотрудничества кафедры электрических машин ЛПИ с заводом «Электросила».

Одним из первых специалистов-преподавателей кафедры, пришедших на завод, был М. П. Костенко, получивший приглашение, не бросая преподавательской деятельности, работать на «Электросиле» инженером по расчету и исследованиям специальных электрических машин. Приглашение исходило от технического руководителя завода А. С. Шварца и было не случайным: кафедра электрических машин Петроградского политехнического института с первых лет революции стала основным источником кадров для создаваемого практически заново завода. К 1924 г. Костенко был уже хорошо известен как творчески одаренный инженер, автор и соавтор нескольких важных изобретений (электромагнитный молот, система синхронного поворота, трехфазный коллекторный генератор переменной частоты при постоянной частоте вращения). Обладая большими теоретическими знаниями, он был знаком с передовым опытом электромашиностроения в одной из наиболее технически развитых стран. Все

это позволило дирекции завода отнести М. П. Костенко к разряду особо ценных специалистов.

Завод «Электросила» (до революции завод Русского акционерного общества «Сименс—Шуккерт») всю первую мировую войну выполнял военные заказы³. Несмотря на то, что головное предприятие общества «Сименс—Шуккерт» в Берлине в то время полностью прервало связи с русским филиалом, лишив его источников поступления новой технической документации и материалов, в результате чего производство стало морально устаревать, завод продолжал расширяться; новые корпуса появились на Васильевском острове, Выборгской стороне, за Московской и Нарвской заставами. Несмотря на состояние войны с Германией, подавляющая часть документации, по которой производились электрические машины, была немецкой. В то же время почти все немецкие инженеры покинули завод, и у администрации РАО «Сименс—Шуккерт» возникли трудности с подбором кадров — был момент, когда на заводе осталось всего около 300 чел.⁴ Директор-распорядитель администрации Л. Б. Красин стал приглашать на работу выпускников отечественных высших учебных заведений. Молодым русским инженерам пришлось столкнуться с ожесточенным сопротивлением некоторых не успевших покинуть завод иностранных специалистов, срывающих любые мероприятия, ведущие к освобождению от немецкой технической зависимости.

После войны и в первые годы Советской власти завод смог выпускать лишь наиболее простое электрооборудование — асинхронные двигатели для торфяных и нефтяных установок, трансформаторы, реостаты. О самостоятельной технической политике, разработке новых современных машин и создании сложных электрических машин в таких условиях не могло быть и речи. Не было расчетных формуляров, не хватало и людей, способных их создать. Положение изменилось с приходом на завод нового технического руководителя — виднейшего электро-техника Адольфа Селестиновича Шварца. Он привез с собой технический архив завода «Вольта» в Ревеле (ныне Таллин), где А. С. Шварц ранее работал, и несколько

³ Доманский Б. И. Леонид Борисович Красин и завод «Электросила». — Электросила, 1968, № 27, с. 53—57.

⁴ Горелейченко В. К. Первые шаги. — Электросила, 1968, № 27, с. 55.

необработанных поковок для роторов турбогенераторов большой для тех времен мощности — 3000 кВт.

Знавшие А. С. Шварца отмечали его высокую общую культуру, огромный производственно-технический кругозор, непререкаемый авторитет, которым он пользовался в коллективе, его талант руководителя. Диапазон обязанностей Шварца в период восстановления «Электросилы» был необычайно широк — он руководил техническими службами, приглашал на работу новых сотрудников, организовывал новые и расширял старые лаборатории (например, по исследованию электрических машин, металлов, изоляции, химии). В выборе новых сотрудников сказалось громадное «чутье» Шварца, сумевшего создать на заводе «высокопродуктивный коллектив» ученых, инженеров, конструкторов и рабочих. Тем самым он в значительной степени способствовал созданию базы для зарождения советской научной школы электромашиностроения.

Горячо боролся Шварц с людьми, не верившими в силы молодого коллектива, в его способность выполнить сложнейшие заказы на мощные машины для электростанций — первенцев плана ГОЭЛРО. Благодаря своей настойчивости Шварц и его сотрудники одержали крупную победу — «Электросиле» было поручено изготовление четырех гидрогенераторов для Волховской ГЭС⁵. Остальные четыре были заказаны у шведской фирмы ASEA. С тех пор коллектив «Электросилы» с честью выполнял все ответственные задания советской энергетики.

В начале 20-х годов на завод стали возвращаться квалифицированные рабочие и инженеры. Именно тогда Шварц пригласил на «Электросилу» инженеров-электриков Р. А. Лютера — для ведения электрических расчетов, А. Е. Алексева — в качестве главного конструктора по новым машинам, М. П. Костенко и Д. В. Ефремова — для исследования электрических машин. Этим молодым инженерам и конструкторам выпала честь стать основоположниками советской научно-технической школы электромашиностроения, руководителем которой стал М. П. Костенко.

К концу 20-х годов на Волховской ГЭС были уже установлены советские и шведские генераторы. Испыта-

⁵ См.: Лютер Р. А., Мосевич С. В. Широкая и многогранная деятельность. — Электросила, 1968, № 27, с. 35—37.

ния генераторов, рассчитанных Р. А. Лютером и А. Е. Алексеевым и построенных под наблюдением А. С. Шварца, стали первыми исследованиями М. П. Костенко и Д. В. Ефремова, проведенными непосредственно на крупной электрической станции. В семейном архиве М. П. Костенко имеется «Акт», подписанный бывшим главным инженером Волховского строительства членом правления «Электроток» Г. О. Графтио 17 мая 1928 г., который свидетельствует о том, что «15 мая 1928 года комиссия, назначенная правлением «Электроток» (Ленинградского объединения электрических станций. — В. К.) под председательством профессора В. А. Толвинского и в составе членов комиссии: от «Электротокá» — заведующего производственным отделом профессора Б. Е. Воробьева, инженеров Л. С. Бобровского, В. В. Гольда и А. Г. Стрельмана и от «Электросила» — инженеров М. П. Костенко и Д. В. Ефремова, произвела испытания волховских генераторов».

«Комиссии, — как указывается далее в «Акте», — были предъявлены для испытания четыре главных генератора Волховской Гидроэлектрической станции (ныне — VI Государственная электрическая станция), изготовленные Ленинградским заводом «Электросила» согласно договору между «Электросилой» и «Эльмаштрестом» 9 февраля 1924 года...

Полученные результаты показывают, что практически все четыре генератора, изготовленные Ленинградским заводом «Электросила», являются тождественными и удовлетворяют всем гарантиям технических условий на их поставку...»⁶.

Это была крупная победа завода «Электросила», его первый весомый вклад в современное крупное электромашиностроение [14]. Испытания явились завершением важного этапа и в жизни М. П. Костенко — этапа его научно-технических работ 1924—1930 гг. В течение этого периода он проводит на «Электросиле» ряд работ по исследованию многофазного бесколлекторного асинхронного электродвигателя при переменной частоте питания, в результате которых выводит обобщенную формулу работы асинхронного двигателя в указанных условиях. Работа Костенко 1925 года в области асинхронных машин [8] послужила началом ряда глубоких исследований. Круп-

⁶ Семейный архив М. П. Костенко.

нейшей работой, позволившей обобщить вопросы теорий асинхронных машин, является его разработка теории всеобщего трансформатора. На основе этой теории Костенко дал стройное научное изложение основ работы асинхронных машин как бесколлекторных, так и коллекторных. Результаты этой работы позволили также обобщить и привести в стройную систему разнообразные каскадные установки [13, 16].

Метод «всеобщего трансформатора», разработанный Костенко, сыграл важную роль в развитии теории электрических машин. Поскольку этот метод приводил все многообразие конструкций и типов электрических машин к единому типу электромагнитного взаимодействия, а именно к его простейшему виду, имеющему место при преобразовании электромагнитной энергии в трансформаторе, то тем самым стало возможным существенно упростить расчетные методики, применить сравнительно простые закономерности. Для анализа электромагнитных процессов стала использоваться единая эквивалентная схема замещения трансформаторного типа, причем во многих случаях (например, для асинхронного электродвигателя) электрические параметры, т. е. величины активных и индуктивных сопротивлений, характеризующих эквивалентную схему замещения, становились зависимыми от частоты, что отражало зависимость ЭДС, наводимой в роторе, от величины его скольжения. Построение эквивалентных схем практически для всех видов и типов машин переменного тока открывало возможность использования векторных диаграмм, соответствующих этим эквивалентным схемам, что в ряде случаев позволяло с большой простотой и наглядностью решать вопросы, которые ранее казались весьма сложными. К вопросам такого типа можно отнести, например, определение пусковых и рабочих характеристик асинхронных короткозамкнутых электродвигателей с роторными пазами сложной формы — от трапецевидного до бутылочного и многоклеточного. Векторная диаграмма, предложенная Костенко, отличалась большой простотой и наглядностью. Она оказалась пригодна как для разъяснения материала в аудиториях Политехнического (позже — Индустриального) института, так и для расчета асинхронных электродвигателей на электромашиностроительных заводах.

Как известно, простейшим геометрическим местом токов асинхронных электродвигателей является круг, по-

строённый на диаметре, параллельном оси абсцисс. При использовании такой диаграммы для анализа двигателей малой мощности с изменяющимися (например, за счет явления вытеснения тока во время пуска) параметрами диаграмма давала существенную погрешность, делавшую ее практически непригодной. Костенко ввел существенное уточнение в построение круговой диаграммы, повернув диаметр круга токов против направления вращения векторов на некоторый угол, поддающийся расчету. «Уточненная» круговая диаграмма Костенко получила весьма широкое распространение в научных учреждениях, вузах и на заводах, изготавливающих асинхронные электродвигатели.

Метод «всеобщего трансформатора», приводя все многообразие машин к «трансформаторной схеме», позволял рассматривать любую электрическую машину как своего рода трансформатор [16]. В этом смысле ярким примером является асинхронный электродвигатель с заторможенным фазным ротором, поскольку он представляет собой в этом режиме классический трехфазный трансформатор.

Весьма характерно письмо доцента Н. Е. Голубкова, полученное М. П. Костенко в 1975 г. Н. Е. Голубков занимался исследованием однофазного асинхронного электродвигателя с экранирующим короткозамкнутым витком на полюсе. Убедившись в том, что аналитический расчет такой машины приводит к чрезвычайно сложным формулам, он писал, что использовал практически все известные методы, применяемые при анализе двухфазных асинхронных машин, оси обмоток которых сдвинуты в пространстве на 90° .

«Полученные подобным путем результаты, — констатировал Голубков, — хотя и правильно отражают общие для всех асинхронных машин закономерности, однако не вскрывают специфики протекания процессов именно в двигателях с экранированными полюсами, так с целью упрощения во всех случаях в качестве исследуемого двигателя фактически используется не рассматриваемый двигатель, а двухфазная машина, отличающаяся от обычной только тем, что ее обмотки сдвинуты не на 90° в пространстве.

Из-за громоздкости получаемых формул даже при подобном упрощении теряется всякое подобие двигателя с трансформатором, вследствие чего сейчас каждый иссле-

дователь вынужден разрабатывать свои собственные приемы анализа, неизбежно выделяя тем самым двигатели с экранированными полюсами в число двигателей со сложной теорией.

В результате подобного положения до сих пор не решены многие вопросы теории рассматриваемых двигателей, даже такие, например, как вопрос о схеме замещения, о векторной и энергетической диаграммах и др. До сих пор еще фактически нет методики расчета, учитывающей особенности этих машин, хотя их производство ежегодно возрастает и сейчас уже измеряется десятками миллионов штук в год.

Применение же Вашего метода автоматически устраняет все недостатки.

Нам удалось показать, что при представлении двигателей с экранированными полюсами частным случаем обобщенного трансформатора, теория этих двигателей, учитывающая все их особенности (наличие явно выраженных полюсов с асимметрично расположенными на них короткозамкнутыми витками, наличие сосредоточенных обмоток, наличие магнитных шунтов, сдвиг потоков на углы, отличные от 90° , непостоянство магнитной проводимости в различных направлениях расточки и др.), при определенных условиях сохраняет простоту и наглядность теории обычных асинхронных машин⁷.

В 1927 г. Костенко разработал методику расчета коллекторных двигателей переменного тока с питанием через ротор, произвел расчеты таких двигателей [12]. С 1928 г. эти двигатели начали выпускаться заводом «Электросила». Одновременно М. П. Костенко организовал исследование новых для завода машин. Характерно, что в основу расчета этих двигателей была положена теория «всеобщего трансформатора». Расчеты геометрических мест токов, полученных в соответствии с этой теорией, дали хорошее совпадение с экспериментальными данными, полученными М. П. Костенко и Д. А. Завалишиным в 1930 г. [18].

Теоретические результаты исследований М. П. Костенко этой области были подтверждены им же в ряде оригинально поставленных и мастерски проведенных экспериментов. Итоги выполненных исследований Костенко обобщил в книге «Коллекторные машины пере-

⁷ Семейный архив М. П. Костенко.

менного тока», изданной в 1933 г. [21]. Эта книга, заполнив большой пробел, существовавший в отечественной технической литературе, и до настоящего времени является наиболее полным пособием в этой сложной области электрических машин.

К 1924—1930 гг. относится и его разработка методики расчета и организации производства коллекторных двигателей переменного тока с широкой регулировкой частоты вращения на заводе «Электросила». Работа эта возникла в связи с необходимостью создания двигателя переменного тока со значительным диапазоном регулирования скорости вращения для текстильной промышленности. Использование для этой цели коллекторных двигателей было в то время наилучшим решением.

В этот период Костенко продолжает и свою изобретательскую деятельность. Им запатентовано в общей сложности более 25 изобретений. Деятельность Костенко в области разработки новых машин и устройств, начавшаяся еще до революции, не прекращалась до конца жизни. Значительная часть его изобретений связана с созданием систем регулирования частоты вращения асинхронных электродвигателей.

Изучая материалы патентных заявок М. П. Костенко в Центральном государственном архиве научно-технической документации СССР в г. Куйбышеве, автор мог убедиться в том, настолько четко выдерживалась «изобретательская программа» ученого в течение всей его жизни. Характерна в этом смысле судьба авторской заявки Костенко совместно с Н. Ф. Перевозским на их предполагаемое изобретение «Устройство для двухзонного регулирования асинхронного электродвигателя выше и ниже его синхронной скорости при каскадном соединении с одноякорным преобразователем», поданной в Комитет по делам изобретений 9 ноября 1928 г.⁸

Экспертом по этой заявке выступал Л. М. Пиотровский, профессор кафедры электрических машин, где преподавал и Костенко. Л. М. Пиотровский, давая в целом весьма положительную оценку изобретению, посоветовал изменить название заявки. По его заключению III секция Комитета по делам изобретений ВСНХ Союза ССР 26 октября 1929 г. постановила:

⁸ Центральный государственный архив научно-технической документации СССР (ЦГАНТД СССР), ф. 205, оп. 31, д. 26378, 1928 г.

«...Принимая во внимание, что 1) применение преобразователя частоты для регулирования числа оборотов асинхронных двигателей вверх и вниз от синхронной скорости общеизвестно (см., напр., герм. пат. кл. 21/4В № 348613, выданный А. Е. Г. 13/II-22 г.) и 2) включение преобразователя частоты на сеть, от которой работает регулируемый двигатель, через трансформатор с регулируемым напряжением, не имеет патентоспособных признаков, постановила: выдать патент на «агрегат для регулирования скорости асинхронного двигателя» в следующей редакции предмета патента: агрегат для регулирования скорости асинхронного двигателя в обе стороны от синхронной скорости, отличающийся тем, что предназначенный для регулирования скорости дополнительный источник мощности совмещен с асинхронным двигателем и выполнен в виде добавочного устройства, состоящего из компенсирующей обмотки и коллектора...».

Костенко и Перевозский обжаловали это заключение. Жалоба была рассмотрена, и авторы в 1932 г. получили патент со следующей формулировкой: «Агрегат для регулирования скорости асинхронного двигателя в обе стороны от синхронной скорости при помощи преобразования частоты с применением двигателя постоянного тока, механически связанного с валом главного двигателя и питаемого от последнего через одноякорный преобразователь, отличающийся тем, что предназначенный для регулирования скорости близ синхронизма дополнительный источник мощности совмещен с асинхронным двигателем и выполнен в виде добавочного устройства, состоящего из компенсирующей обмотки и коллектора».

Такая борьба авторов за название фактически признанного патента представляется весьма показательной. По-видимому, в своей первой заявке они «подсознательно» формулировали изобретение в несколько более общем виде, чем оно являлось в действительности, как бы облачая тем самым ту «изобретательскую программу», в соответствии с которой это изобретение выполнялось. Первая редакция Комитета обедняла изобретение, сводя его к частному случаю каскадов Кремера и Шербиуса, известных в то время. Протест авторов привел к более полной и общей формулировке, привязанной не к известным каскадам, а к широкой проблеме регулирования частоты вращения асинхронных электродвигателей, служившей стержнем изобретательской программы, тесно свя-

занной с научно-технической исследовательской деятельностью М. П. Костенко.

Эта программа оказалась, как упоминалось, весьма жизнеспособной. В 1956 г., т. е. спустя 40 лет после начала работ в области регулирования частоты вращения асинхронных двигателей, М. П. Костенко совместно с В. В. Рудаковым и Ю. М. Александровым получили свидетельство на «регулируемый электропривод переменного тока» [48], восходящий по своей идее к ранее разработанным Костенко схемам.

В 1927 г. Костенко был утвержден в должности доцента кафедры электрических машин Ленинградского политехнического института имени М. И. Калинина. К этому времени он уже вел специальный курс «Коллекторные машины переменного тока», до того времени не читавшийся ни в одном высшем учебном заведении Советского Союза.

В период разработки первой отечественной серии турбогенераторов на заводе «Электросила» (1927—1930 гг.) М. П. Костенко участвовал в решении ряда серьезных вопросов методики расчета, выбора конструкции и разработки технологии производственных процессов. Занимался он и исследовательскими испытаниями электрических машин, выпускаемых «Электросилой».

С постройкой Волховских гидротурбогенераторов и первых крупных турбогенераторов стало ясно, что дальнейший прогресс отечественного электромашиностроения невозможен без привлечения новых теоретических и экспериментальных результатов. Как известно, постановка научных вопросов в этой области имела в России давние традиции. Например, еще М. О. Доливо-Добровольский при разработке и создании электрических машин и трансформаторов трехфазного тока одновременно теоретически обосновал и основные принципы работы трехфазных систем. Теоретические и экспериментальные работы в области электрических машин велись главным образом на физико-математических факультетах университетов в технологическом и электротехническом институтах и т. п. В этой связи нужно прежде всего отметить большую работу по организации научных школ и по созданию учебных пособий в области теоретической электротехники, электрических измерений, теории, расчета и экспериментального исследования электрических машин, которую проделали старейшие русские электротехники профессора А. А. Во-

ронов, М. - А. Шателен, В. Ф. Миткевич, П. П. Копняев, С. Н. Усатый, Г. А. Люст, К. А. Круг, К. И. Шенфер, Ф. И. Холуянов и др. Ряд научных трудов этих ученых явился весьма большим вкладом в разработку теории электрических машин и трансформаторов.

Однако «фонд» этих исследований в области теоретического электромашиностроения расходовался на «Электросиле» довольно активно, и вскоре научный «задел» завода начал таять. Научно-техническая база завода уже не позволяла решать новые задачи, поставленные развитием энергетики СССР. В этот период М. П. Костенко все чаще задумывается над стратегическими проблемами организации дальнейших исследований, пытается выбрать из них наиболее актуальные, разрабатывать методы их изучения. Постепенно ему становится ясной необходимость «массированного» решения ряда важнейших перспективных вопросов электромашиностроения.

Костенко понимал, что намечаемые им проблемы носят комплексный характер и в этой связи требуют исследовательских усилий со стороны специалистов разных направлений и стилей мышления: от ученых-«фундаменталистов» до технологов и инженеров-практиков. Для их взаимодействия и плодотворной совместной работы нужно было иметь в рамках завода «Электросила» специализированную научно-исследовательскую организацию. Такой организацией и стало созданное по инициативе М. П. Костенко Общезаводское бюро исследований завода «Электросила» (ОБИС). Позднее, анализируя факт создания ОБИСа и характеризуя положенные в его основу методологические принципы, видный советский ученый-электромашиностроитель И. Д. Урусов писал:

«Для современных технических наук характерно то, что их формирование происходит на основе не одной, а многих фундаментальных физических дисциплин. Этот процесс интеграции отдельных частных дисциплин в одну общую и роль последней в прогрессирующем развитии техники предсказал еще Энгельс в своем знаменитом труде „Анти-Дюринг“.

История полностью подтвердила это пророческое предвидение. Вместе с тем в каждом из таких генеральных направлений развитие техники во многом зависело от появления лица или группы лиц, способных предвосхитить реальные пути прогресса, предвидеть общее направление развития данной отрасли техники и сочетающих в себе глубокие знания и практический опыт во всех тех частных дисциплинах, которым суждено лечь в основу теоретического фундамента новой отрасли знания.

Электромашиностроению — одной из ведущих отраслей народного хозяйства с этой точки зрения повезло. Именно Михаилу Полиевктовичу Костенко современное теоретическое электромашиностроение — как комплексная область знания — обязано своим возникновением и развитием. Еще в предвоенные годы он, будучи ведущим инженером завода „Электросила“ и одновременно преподавателем Ленинградского политехнического института, сумел слить воедино интересы вуза и завода. Он создал Общезаводское бюро исследований — зародыш современного научно-исследовательского института, в котором ставились огромные по тому времени научно-исследовательские задачи. На их решении формировался теоретический костяк завода, столь необходимый ему в ту пору разработки и создания новых типов электрических машин.

На решении этих задач не в меньшей мере рос и формировался преподавательский состав ленинградских Политехнического и Электротехнического институтов.

Уже тогда в свете проводимых работ становилось ясно, что на позициях чистой электротехники невозможен дальнейший прогресс электромашиностроения. Электрическая машина становилась сложным агрегатом, в котором все большую роль начинали играть тонкие явления физики (электромагнитные процессы), механики (прочность и колебания), гидродинамики и термодинамики (охлаждение), материаловедения, а также вопросы электромагнитной, как теперь говорят, „совместимости“, собственно электрической машины с энергосистемой и с приводимым рабочим механизмом. Все это нужно было предвидеть и все это необходимо было реализовать при разработке планов, постановке и проведении работ. И это сумел сделать Михаил Полиевктович. . . ⁹

«Электросила» в те годы располагала сетью лабораторий, размещенных в различных частях завода и выполнявших в основном контрольные функции, там оценивали, например, качество материалов, поступающих на завод и, отчасти, качество выпускаемой продукции. Лаборатории были в ведении разных отделов завода, но в первую очередь так называемого Контрольного отдела. Первым шагом в организации серьезной научно-исследовательской работы на заводе, в процессе которой можно было бы решать поставленные крупные задачи, стало объединение всех лабораторий под общим квалифицированным руководством и составление для них единого плана научно-исследовательских работ.

По сути дела речь шла о создании на «Электросиле» собственной исследовательской базы, призванной по существу определять судьбы отечественного электромашино-

⁹ Научно-исследовательские интервью с представителями советской научной школы электромашиностроения.

строения. Естественно, ее руководитель должен был удовлетворять весьма высоким требованиям — быть человеком солидной научной эрудиции, находиться в курсе всех крупнейших мировых достижений в этой и смежных областях науки и техники, четко представлять себе задачи, поставленные перед советской наукой и промышленностью планом ГОЭЛРО, обладать даром перспективного научно-технического предвидения и способностью четко формулировать научные задачи. Этим требованиям в полной мере удовлетворял М. П. Костенко, работавший в то время ведущим расчетчиком электрических машин. Он и был утвержден главой первой научно-исследовательской организации завода.

Сразу же после организационного оформления ОБИСа был намечен план первоочередных научно-исследовательских работ. В его разработке приняли участие заводские специалисты: Р. А. Лютер, А. Е. Алексеев, Д. В. Ефремов, И. А. Одинг, а также руководители всех лабораторий. В процессе составления плана выявились главные направления дальнейшего развития научно-исследовательской деятельности на заводе: расчетно-исследовательская работа в области теоретических и физических основ электромашиностроения; выработка принципов построения новых серий электрических машин; исследование характеристик турбо- и гидрогенераторов, а также машин постоянного тока; изучение свойств металлов, необходимых для создания новых конструкций; изготовление новых типов изоляции для мощных машин, в том числе высоковольтной изоляции для турбо- и гидрогенераторов; создание новых методов исследований и контроля; разработка новых технологических процессов. Это лишь наиболее краткое изложение научной программы ОБИСа. Все отмеченные вопросы требовали незамедлительного решения: темпы создания новых электрических машин, увеличение их единичной мощности должны были в соответствии с программой развития народного хозяйства страны превосходить темпы развития электромашиностроения и темпы роста единичных мощностей энергооборудования в передовых капиталистических странах. С этой задачей советское электромашиностроение, и в частности коллектив завода «Электросила», с честью справилось.

Большие трудности в организации планомерной научно-исследовательской работы ОБИСа вызывала разбросанность лабораторий по территории завода. Учитывая это,

дирекция «Электросилы» отвела под ОБИС первый этаж пристройки технического здания с примыкающим большим залом для испытаний электрических машин и высоковольтных исследований. С мая 1930 г. сотрудники бюро начали работу уже в новых помещениях.

В структуру ОБИСа входили два основных отдела — электротехнический и отдел исследования металлов, а также ряд лабораторий. В постоянном контакте с ОБИСом находилось Бюро новых конструкторских разработок, которое возглавлял А. Е. Алексеев.

В ОБИСе работала специальная расчетно-теоретическая группа. Подчиненная непосредственно М. П. Костенко, она выполняла расчеты всех типов электрических машин, выпускаемых или намечаемых к выпуску заводом: рассчитывала различные типы машин с повышенными технико-экономическими показателями, разрабатывала новые методы расчета и уточняла существовавшие ранее. Костенко принимал непосредственно активное участие в делах группы, которую составляли В. И. Зимин, А. Р. Дембо, А. Н. Щекотов, В. К. Жаков и ряд молодых инженеров. В работе группы участвовал и Е. Я. Казовский.

Электротехническим отделом заведовал молодой инженер Д. В. Ефремов. Непосредственно в этот отдел входили: группа серий электрических машин (руководитель Б. И. Кузнецов); группа исследований турбо- и гидрогенераторов (руководитель М. В. Латманисов); группа машин постоянного тока; группа высоковольтных исследований (руководитель Г. Г. Швец); лаборатория изоляционных материалов (руководитель С. Л. Хоецкий); группа метрологии и магнитных измерений (руководитель Г. М. Домелунгсен).

Отдел металлов ОБИСа возглавлял крупный специалист в области исследования прочности, впоследствии действительный член АН СССР И. А. Одинг. Его отдел включал лаборатории прочности металлов и металлографическую, группы сварки, сплавов и припоев.

В составе ОБИСа имелась и химическая лаборатория, которой заведовала Е. Б. Геронимус.

Деятельность Общезаводского бюро исследований оставила существенный след в развитии советского электромашиностроения и дала большой материал для составления и уточнения методов расчета, проектирования и исследования электрических машин как серийного изготов-

ления, так и мощных машин единичного исполнения. В этой связи особый интерес представляют работы двух групп: серий электрических машин и исследования турбо- и гидрогенераторов, к которым М. П. Костенко, как руководитель ОБИСа проявлял особый интерес.

Группа серий электрических машин разрабатывала новые серии электрических двигателей — асинхронных и синхронных — промышленного назначения. Усилиями специалистов группы на заводе в сравнительно короткий срок спроектированы и пущены в производство и всесторонне исследованы первые советские серии асинхронных и синхронных двигателей малой и средней мощности с высокими (на уровне мировых) технико-экономическими показателями. Принципы построения этих серий не только легли в основу конструирования машин промышленного назначения, но и до сих пор используются как база для их проектирования. Много труда и знаний в создание проектов первых серий вложил и М. П. Костенко. Следует отметить в этой связи и его роль в определении направления работы лаборатории ОБИСа, которой в дальнейшем руководил Г. К. Жерве.

Перед группой исследований турбо- и гидрогенераторов стояла задача организации и проведения исследований параметров и характеристик мощных турбогенераторов (более 10 000 кВт) на местах их установки, поскольку на испытательных стендах проделать это было невозможно. В процессе испытаний впервые определялась вся гамма параметров турбогенераторов на основе теории двух реакций. Первые испытания такого типа были проведены в конце 1930 г. на 2-й ГЭС в Ленинграде, где впервые были установлены машины мощностью 24000 кВт.

Под руководством М. П. Костенко специалисты группы разработали методику исследования мощных синхронных машин на местах установки и провели значительное число испытаний с использованием принципа наложения превышений температур, определением потерь калориметрическим методом и организацией вентиляционных исследований. Испытания дали новый интересный материал по мощным турбогенераторам и позволили уточнить методику расчета параметров машин этого типа. К 1931 г. подобным образом был испытан и турбогенератор мощностью 50 000 кВт для Каширской ГЭС. В последующие три года группа провела более десятка испытаний мощных турбогенераторов на местах их установки. Благодаря

полученному экспериментальному материалу удалось не только проверить методику расчета и проектирования такого рода машин, но и положить начало созданию новой более совершенной серии турбогенераторов. В дальнейшем, после перехода М. П. Костенко на основную работу в ЛПИ исследования мощных турбо- и гидрогенераторов были продолжены на возглавляемой им кафедре электрических машин.

В конце 1930 г. в группе исследований турбо- и гидрогенераторов ОБИСа была организована технологическая подгруппа, которая занималась вопросами усовершенствования технологии их производства и методов контроля. Специалисты подгруппы, например разработали методику проверки качества сборки активной стали статоров турбо- и гидрогенераторов, исключая возможность перегрева сердечника статора из-за плохой сборки. Новый метод позволял определить замыкание листов стали между собой по величине потерь и по местным нагревам. До настоящего времени все мощные турбогенераторы подвергаются испытаниям подобного рода.

Сам Костенко, по воспоминаниям М. В. Латманисова, работал в составе расчетно-теоретической группы ОБИСа. В процессе своей деятельности эта группа разработала важнейшие вопросы теории электрических машин, в частности исследовала магнитодвижущие силы обмоток машин переменного тока. В результате работы удалось глубоко проникнуть в «механизм электромагнитных связей, имеющих место в машинах переменного тока в установившихся и переходных режимах работы» [23].

Основываясь на данных этого исследования и используя новейшую в то время теорию работы синхронной машины (уравнения Парка—Горева), Костенко воссоздал физическую картину, возникающую при переходных процессах в синхронных машинах, разработал методику расчета их электромагнитных параметров; полученные им результаты способствовали широкому внедрению в заводскую практику усовершенствованных методов расчета сложных переходных процессов.

Одновременно были развернуты широкие исследования и в области асинхронных машин. Продолжая изучение геометрических мест токов асинхронной машины, Костенко предложил новый метод построения уточненной и точной круговой диаграмм. Наряду с этим он и его сотрудники разработали методы графоаналитических расче-

тов короткозамкнутых асинхронных двигателей с двухклеточным и глубокопазым роторами. Были созданы методики расчетов и для двигателей других типов. Продолжалась, в частности, исследования коллекторных машин переменного тока.

Костенко постоянно заботился о повышении уровня экспериментальных исследований. Основное внимание он уделял при этом разработке новых методов испытаний. Среди них следует отметить новый метод косвенных тепловых испытаний асинхронных машин, позволяющий, исследуя режимы холостого хода и короткого замыкания, определять превышения температур активных частей машины под нагрузкой. Эксперименты и исследования, поставленные с целью обоснования и проверки этого метода, полностью подтвердили практическую применимость впервые сформулированного Костенко «метода наложения превышений температур» при тепловых испытаниях. В дальнейшем этот метод был с успехом распространен на все типы электрических машин.

Использование «метода наложения превышений температур» открыло широкие возможности исследования машин, включая машины весьма значительных мощностей, на заводской испытательной станции. Известно, что тепловые испытания электрических машин при реальной нагрузке сопряжены со значительными затратами энергии, а при их большой мощности — просто невозможны из-за ограниченных возможностей заводской электросети. «Метод наложения», при котором тепловые испытания проводятся в «косвенных» режимах, требует существенно меньшего расхода мощности, идущей лишь на покрытие потерь в испытываемой машине. Этим и объясняется широкое признание метода наложения и его повсеместное применение в практике электромашиностроительных заводов и научно-исследовательских организаций [24, 25].

Сотрудники ОБИСа изучили и разработали ряд новых технологических процессов. К их числу можно отнести исследования нового метода укладки компаундированной обмотки в пазы статора turbo- и гидрогенераторов с предварительным прогревом обмотки электрическим током, разработку новых методов запечки роторов turboгенераторов и пр. Этот круг работ, как, впрочем, и вся деятельность ОБИСа, руководимого М. П. Костенко, способствовали всестороннему развитию культуры производства

На одном из крупнейших электромашиностроительных заводов мира.

Создание высококвалифицированного коллектива расчетчиков, конструкторов и собственной заводской исследовательской базы, разработка долгосрочной стратегии завода на глубокой научной основе резко повысили его технический уровень и позволили не только полностью отказаться от помощи ведущих зарубежных фирм — «Дженерал Электрик» и «Вестингауз», но впоследствии и превзойти их во многих отношениях. «Выполненные в 20-х и 30-х годах на „Электросиле“ научно-исследовательские и экспериментальные работы, — как позже отмечали руководители завода, — положили начало теоретическим разработкам в области советского электромашиностроения... и позволили разработать методы проектирования крупных электрических машин, в основу которых были положены как собственные инженерные решения, так и достижения зарубежной техники, в частности, опыт фирмы «Дженерал Электрик», оказавшей по договору техническую помощь заводу «Электросила»¹⁰.

В работе ОБИСа принимали участие многие инженеры и ученые. В их числе был и молодой одаренный инженер Н. П. Иванов, впоследствии Главный конструктор завода, лауреат Ленинской премии, полученной им за создание гидрогенераторов для Братской ГЭС. В те годы он занимался конструированием турбогенераторов. Его заместителем был выпускник Московского энергетического института талантливый инженер-исследователь Е. Г. Комар, жизнерадостный, веселый, очень подвижный молодой человек, способный литератор. В дальнейшем он был главным инженером «Электросилы», а затем, до конца жизни работал директором Всесоюзного научно-исследовательского института электрофизической аппаратуры (НИЭФА) им. Д. В. Ефремова.

В ОБИСе начинал инженерную деятельность и доктор технических наук, профессор Б. И. Кузнецов, посвятивший многие годы созданию серий электрических машин. В основу своих изысканий Кузнецов положил идею Костенко о законах развития «геометрического ряда» однотипных электрических машин, обеспечивавшую при их создании минимальный расход металла, высокие характе-

¹⁰ Куликов Н. В., Романов В. В. Наука и производство. — Электросила, 1967, № 27, с. 24.

рйстики и возможность использования наименьшего набора штампов. Эта идея актуальна и в наши дни, поскольку составляет основу современной науки о проектировании электрических машин. Без такой основы многие проблемы этой отрасли знаний были бы неразрешимы. В свое время об этом хорошо сказал известный специалист в области проектирования машин М. Видмар: «Когда он (конструктор) думает о том, как самым жалким образом рушатся все попытки аналитически определить наиболее благоприятные размеры машины при помощи запутанных формул, когда он видит перед собой ужасающие формулы, которые иногда приводятся для того, чтобы сделать проектирование доступным даже для лиц, не имеющих никакого опыта, тогда он, возмущенный, перестает верить в возможность самого существования науки о проектировании»¹¹. Тем не менее такая наука была создана, и этому сильно способствовали идеи Костенко о закономерностях «геометрического ряда», его понятие «машинной постоянной».

Привлекая талантливую молодежь, Костенко щедро делился с ней своим опытом, знаниями, методами постановки и решения научно-технических задач. Многие сотрудники ОБИСа стали впоследствии видными учеными, составившими костяк крупнейшей советской научно-технической школы электромашиностроения. Интересно, что некоторые из них не прошли «школы Костенко» в образовательном смысле этого слова, не являвшись никогда ни студентами, ни аспирантами, ни докторантами М. П. Костенко. В числе таких специалистов следует в первую очередь назвать доктора технических наук, профессора Е. Я. Казовского, лауреата премии Яблочкова Академии наук СССР. В середине 1931 г. Казовский после окончания Московского энергетического института (который незадолго до этого был образован из электротехнического факультета Московского высшего технического училища им. Баумана) вместе с группой выпускников был направлен на «Электросилу». Он начал работать в лаборатории электрических машин ОБИСа — в группе турбо- и гидрогенераторов.

Воспоминания Е. Я. Казовского позволяют нам выявить «механизм обучения» в научной школе Костенко

¹¹ Видмар М. Экономические законы проектирования электрических машин. М.: Гостехиздат, 1924, с. 7.

при отсутствии собственного «школьного» образовательного элемента. Е. Я. Казовский вспоминал, что в ОБИСе регулярно обсуждались научные работы сотрудников, доклады о новых проблемах. Особенно поощрялась самостоятельная работа молодых специалистов: их стремление к расширению знаний, к ознакомлению со специальной литературой. Перед молодым исследователем сразу ставились ответственные задачи и, если он с ними справлялся, ему без промедления поручались все более и более сложные задания. Костенко проявлял особое «товарищеское внимание» к поступавшим в ОБИС новым сотрудникам. Он всегда держался и разговаривал с молодыми специалистами, как с равными, без менторских поучений, охотно делился своими научными планами, соображениями, вступал с ними в научные споры. Заботясь о молодых, об их творческом росте, он помогал им в выборе тем для самостоятельных научных работ, рекомендовал соответствующую литературу, давал ценные практические советы по выбору методов и средств исследования. Вскоре после поступления на работу в лабораторию Е. Я. Казовскому, О. Г. Вегнеру и другим молодым инженерам лаборатории поручили обеспечить круглосуточное наблюдение за первой «запечкой» электрической изоляции обмотки ротора турбогенератора мощностью 24 000 кВт: завод переходил на новую технологию изготовления электрической изоляции обмотки ротора с заменой дорогостоящего импортного шеллачного лака на дешевый теплостойкий глифталевый лак. Костенко ежедневно приходил в турбоцех, следил за процессом запечки, просматривал записи в журнале, обсуждал с инженерами ход технологического процесса. Даже в такой горячей рабочей обстановке он стремился рассказать молодым специалистам как можно больше нового, при этом Костенко не просто информировал о новых работах в этой области, но и втягивал молодежь в обсуждение многих, на его взгляд, важных спорных вопросов.

Такой подход к обучению в свою очередь заставлял молодых специалистов постоянно «быть в курсе», тщательно следить за новыми работами по своей специальности. Никому из них не хотелось «ударить лицом в грязь» перед столь эрудированными руководителями как М. П. Костенко, Д. В. Ефремов, Р. А. Лютер и др., тем более что ни один из них никогда не подчеркивал своего превосходства в образовании, с исключительным

тактом обходя вопрос о пробелах в знаниях сотрудников. Молодым инженерам-исследователям приходилось «подтягивать» свою математическую подготовку, знание иностранных языков. Костенко, Ефремов, Лютер и Алексеев, например, свободно владели несколькими иностранными языками. Казовский же в те годы мог читать научную литературу по своей специальности только по-немецки, был немного знаком с основами французского языка, но совсем не имел понятия об английском. Пришлось в возможно короткий срок научиться читать научные материалы и по-английски.

Условия для учебы были нелегкие. Общежития при заводе «Электросила» не было. Однако, может быть, именно отсутствие постоянного жилья и послужило одной из тех «счастливых» причин, по которой руководители ОБИСа стали посылать молодых специалистов почти сразу после поступления на работу в весьма ответственные командировки. Так, уже в 1931 г. Казовский был направлен на Волховскую ГЭС, где принял участие в подробных электромагнитных, тепловых и вентиляционных испытаниях волховских гидрогенераторов. В 1932 г. его послали в двухмесячную командировку в Москву в ЦАГИ для изучения вопросов вентиляции и охлаждения, в том же году он побывал в Кузнецке, где помогал налаживать коммутацию крупных прокатных машин постоянного тока, а также участвовал в монтаже, электромагнитных, тепловых и вентиляционных испытаниях турбогенераторов (мощностью 24 000 кВт) на электростанции Кузнецкстроя.

Еще до отъезда Казовского в Кузнецк Костенко предложил ему поработать над возможностью применения теории вероятности для решения ряда проблем в электромашиностроении. Поводом к этому предложению послужила интересная работа известного немецкого специалиста Р. Рюденберга, посвященная этому вопросу. Казовский охотно согласился, и вскоре в сборнике ЛЭМИ (1931, № 1) была опубликована его работа, посвященная вопросам применения теории вероятности в электромашиностроении.

Костенко, являясь редактором этого сборника, существенно помог молодому автору в редактировании и публикации его первого научного труда.

В этой связи следует сказать и о стремлении Костенко помочь молодым специалистам выработать правиль-

ный стиль своей научной работы. С этой целью Костенко и его помощники разработали систему подготовки научно-технических отчетов, по которой все, что представляло научно-технический интерес, не оставалось в столах исследователей, а становилось достоянием всего коллектива. От исполнителя требовалось быстрое, качественное оформление выполненной работы, даже если исследование имело отрицательный результат. Все отчеты регистрировались, причем один или несколько экземпляров обязательно направлялись в научно-техническую библиотеку завода. М. П. Костенко и Р. А. Лютер тщательно подбирали для этой библиотеки иностранную и отечественную литературу по новым направлениям развития теории электрических машин, вопросам механики, технологии производства, вопросам расчета и проектирования.

На важную деталь «механизма образования научно-технической школы М. П. Костенко» указывает в научно-ведческом интервью с ним другой ученик и последователь М. П. Костенко, видный специалист в области электрических машин, доктор технических наук, профессор И. Д. Урусов. По его убеждению,

«... было бы упущением, если бы мы не отметили редкой черты ума и характера Михаила Полиевктовича, без которой все было бы гораздо сложнее. Это его дар общения, огромное личное обаяние, могучий организаторский талант, умение безошибочно разбираться в людях и быстро находить для каждого нового работника интересующее его и полезное дело. Именно это привело „под его знамена“ большой коллектив ученых, инженеров и рабочих, в числе которых была плеяда маститых опытных специалистов, с одной стороны, и группа молодых одаренных инженеров, физиков, математиков, горевших желанием поскорее включиться в этот бурно развивающийся созидательный процесс, — с другой. Умелое сочетание опыта старших с талантом и энтузиазмом молодых было важнейшим залогом будущих успехов.

Михаила Полиевктовича все любили. Впрочем, любили — это не то слово. Обожали. Но я должен сказать, что к этому побуждала не та обычная профессорская гладкость в обращении с людьми, которая столь свойственна ученым высокого ранга. Нет, порой Михаил Полиевктович бывал „колючим“ и даже очень. Где и в чем она проявлялась, эта „колючесть“? Он не терпел равнодушия и беспечности в работе, не терпел формального отношения к делу, вникал и заставлял других вникать в самые подробные детали работы. Порой он даже отвергал принцип служебной иерархии и работал непосредственно с исполнителями самого младшего ранга — с рабочими, с лаборантами. Это снижало ему авторитет и уважение. Особо нетерпимым был Михаил Полиевктович ко всякой лжи и несправедливости, не выносил грубости во взаимоотношениях между сотрудниками. ... Это все

создавало в школе М. П. Костенко особый нравственный климат, который привлекал в нее новых членов и консолидировал школу»¹².

Равноправными членами дружного коллектива наряду с учеными и инженерами были и передовые рабочие «Электросилы»: замечательный мастер-обмотчик электрических машин цеха крупных машин С. К. Черток, с которым у Костенко установились истинные дружеские отношения; умельцы-самородки Н. Ф. Языков и А. Н. Герасимов, без которых даже не мыслилось проведение многих сложных экспериментов, монтер Г. В. Карпов, возглавивший впоследствии лабораторию Института электромеханики. Насколько велика была привязанность рабочих к своему руководителю, видно из следующего факта. А. Н. Герасимов, бывший мастер «Электросилы», а позднее почетный пенсионер, проживая на Васильевском острове, специально прикрепился к одному из избирательных участков Петроградского района, чтобы голосовать за М. П. Костенко, выдвинутого в 1958 г. кандидатом в депутаты Верховного Совета СССР.

Деятельность ОБИСа заложила основу для выпуска заводом «Электросила» высококачественных электрических машин — от серийных промышленного назначения до мощных турбо- и гидрогенераторов, предназначенных для крупных гидроэлектростанций. Поставив методику проектирования и исследование электрических машин на строгую научную базу, специалисты ОБИСа положили начало глубокому обоснованию теоретических принципов советского электромашиностроения. В этом главная заслуга этой организации, руководимой М. П. Костенко.

М. П. Костенко сумел воспитать в молодых исследователях те черты, которые, по его мнению, были необходимы для решения наиболее важных задач, стоящих перед электромашиностроением. В личном общении, на собственном примере, он прививал ученикам серьезное отношение к проблемам связи теории и практики, внушал им мысль о ведущей роли теории в решении главных задач электромашиностроения.

Борьба за увеличение мощности в единице электрооборудования, начатая М. П. Костенко вместе с П. Л. Капицей в Кембридже, стала доминантой его исследова-

¹² Научно-исследовательские интервью с представителями советской научной школы электромашиностроения.

тёльской программы. В процессе изготовления электрических машин по плану ГОЭЛРО она приняла форму поиска путей повышения единичной мощности генераторов более полного учета их неиспользованных электромагнитных, тепловых, механических резервов. Костенко призывал своих учеников к тонкому теоретическому осмыслению режимов работы электрических машин и стремлению улучшить их параметры и характеристики. Исследовательская программа Костенко, столь созвучная насущным требованиям энергетики, стала и программой работы представителей его школы. Можно смело утверждать, что без исследований электромагнитных явлений в машинах, проведенных в ОБИСе в 30-х годах, не была бы создана предвоенная серия турбогенераторов Т2 (серия второй пятилетки), поразившая мировую электротехническую общественность своими уникальными характеристиками. В 1937 г. на «Электросиле» был построен турбогенератор типа Т2—100—2 — крупнейшая в то время в мире электрическая машина с частотой вращения 3000 об./мин. Появление этой машины явилось полной неожиданностью для большинства зарубежных электротехников. Пожалуй, аналогичный эффект вызвал у человека лишь произведенный спустя 20 лет запуск первого в мире искусственного спутника Земли.

По времени организация ОБИСа совпала с появлением аналогичных исследовательских подразделений и на других заводах Ленинграда — «Электроприборе», Металлическом. Создание на заводах исследовательских баз, связанных в своей деятельности с научными институтами и вузами, позволило ленинградским машиностроительным предприятиям существенно упрочить свои научно-технические позиции. Выступая в 1934 г. на XVII съезде ВКП(б), В. В. Куйбышев подчеркнул: «... Ленинградская область во втором пятилетии будет производить 20,8% союзной продукции машиностроения. Ленинград продолжает оставаться в области машиностроения все-союзной конструкторской лабораторией и технической школой кадров. Осваивается производство мощных турбогенераторов, гидрогенераторов...»¹³

Именно в эти годы начинает свое существование советская научно-техническая школа электромашинострое-

¹³ XVII съезд ВКП(б): Стенографический отчет. М.: Партиздат, 1934, с. 380.

ния, сыгравшая столь значительную роль в электрификации нашей страны, в оснащении отечественных электростанций самыми современными агрегатами. Через полвека, в 1980 г. на Костромской ГРЭС введен в действие уникальный энергоблок с турбогенератором 1200 МВт. В создание этой и многих других машин решающий вклад внесли и представители советской научно-технической школы электромашиностроения.

Хотя ОБИС просуществовал сравнительно недолго — в 1935 г. он был ликвидирован в связи с реорганизацией технических служб завода — его опыт и традиции продолжали развиваться. Не прервались и научные связи М. П. Костенко со своими учениками. Е. Я. Казовский впоследствии вспоминал: «Установившиеся в ОБИСе научно-технические и личные связи специалистов с М. П. Костенко были настолько сильны, что они практически редко прерывались в последующие годы. Несмотря на то, что годы перед войной, во время войны 1941—1945 гг. и первые годы после войны эти связи были затруднены тем, что многие ученики М. П. Костенко жили в разных городах, эти связи при первой же возможности возобновлялись и становились самыми тесными. Так было и после возвращения М. П. Костенко в Ленинград после окончания войны, когда он возглавлял кафедру электрических машин в Политехническом институте, одновременно был консультантом на заводе «Электросила», где в это время главным инженером был его ближайший соратник и в свое время заместитель по ОБИСу Д. В. Ефремов»¹⁴.

Многие идеи М. П. Костенко нашли дальнейшее развитие в деятельности его бывших сотрудников. Е. Я. Казовский, например, продолжал исследования возможностей применения математических методов для анализа электрических машин, на которые его «натолкнул» Костенко. В конце войны получили углубленное развитие новые методы анализа сложных режимов работы машин переменного тока. Был широко использован аппарат специальных математических функций, ранее в теории электрических машин не применявшийся, в частности аппарат функций интеграла Френеля для рассмотрения процессов, имеющих место при изменении частоты вращения в ма-

¹⁴ Научковедческие интервью с представителями советской научной школы электромашиностроения.

шинах переменного тока, функции Бесселя — для изучения больших качаний синхронных машин, эллиптические функции — для анализа параллельной работы синхронных генераторов в энергосистеме, преобразования Фурье и преобразования Лапласа — для поисков связи переходных процессов машин переменного тока с их частотными характеристиками — токовыми («круговыми») диаграммами при разных скольжениях ротора. Последнее стало возможным после создания «обобщенной теории машин переменного тока», охватывающей процессы как в синхронных, так и в асинхронных машинах и использующей преимущества представления основных рассматриваемых величин (напряжений, потокосцеплений, токов) в виде комплексных величин, что позволяет использовать богатые возможности комплексной алгебры и решать с ее помощью сложные задачи, не имевшие до недавнего времени адекватного аналитического решения¹⁵. Применение уравнений Парка—Горева в комплексной форме привело к довольно простым графоаналитическим представлениям процессов, происходящих в машине переменного тока, и тем самым существенно упростило решение ряда важных практических задач.

Новые математические методы открыли перед исследователями возможности создания эффективных способов экспериментального определения электромагнитных параметров машин переменного тока, в частности с помощью измерений на неподвижной машине. Так, предложение М. П. Костенко о целесообразности разработки математических методов анализа электрических машин привело к важным практическим выходам. Можно привести и много других примеров плодотворной разработки идей Костенко его учениками.

Итак, в начале 30-х годов на заводе «Электросила» в ОБИСе зародилась советская научно-техническая школа электромашиностроения. Обычно возникновение научных школ связывается либо с научно-исследовательскими организациями или сообществами, либо с учебными заведе-

¹⁵ См.: *Казовский Е. Я.* Обобщенное рассмотрение переходных режимов в асинхронных и синхронных машинах. — *Электросила*, 1945, № 2/3, с. 10—56; *Он же.* Теоретические вопросы современного электромашиностроения. — *Электричество*, 1945, № 7, с. 5—12; *Казовский Е. Я., Костенко М. П., Люгер Р. А.* Вопросы развития современной теории синхронной машины. — *Вестн. электропром-сти*, 1952, № 2, с. 31—42.

ниями и их преподавателями, либо, наконец, с личностью исследователя — лидера школы и разработанной им исследовательской программой, сформировавшейся под влиянием общения, восприятия логики развития научной идеи¹⁶. Очевидно, при формировании научно-технических школ факторы «социального запроса» и возможностей его воплощения выступают перед исследователями в более непосредственной, обнаженной форме. Существенной предпосылкой возникновения и существования научной школы в области технических наук становится материальная база — завод, стройка или другие промышленные предприятия, где реализуются идеи этой школы. Научно-технические школы должны иметь, таким образом, свои производственные базы, на почве которых чаще всего и происходит их формирование и сплочение. Об этом, в частности, свидетельствует приводимый ниже отрывок из науковедческих интервью с членами Ленинградской школы электромашиностроения:

«Вопрос. С чем Вы связываете возникновение научно-технической школы электромашиностроения М. П. Костенко и вообще научно-технических школ?

Ответ. Возникновение научно-технических школ следует связывать прежде всего с интересами страны, ее народного хозяйства, но, в свою очередь, задания промышленности, задания промышленных организаций всегда учитывают то оборудование, те тенденции, которые имеются на предприятии. Всегда было известно, например, что завод «Электросила» является мощнейшим аккумулятором теории электрических машин. Ни на одном из отечественных электромашиностроительных заводов нет столь развитых исследовательских традиций, как на заводе «Электросила». Это все — благодаря ОБИСу, созданному под руководством Костенко, при заводе «Электросила». Школа электромашиностроения безусловно включает в себя и элементы теории, которые преподаются в институте, и вопросы исследования теории в отраслевых НИИ, и, наконец, вопросы создания машин — вопросы их исследования, стендовых испытаний, вопросы исследования надежности, эксплуатационных характеристик, т. е. все заводские вопросы. Недаром при «Электросиле», как и при других крупных заводах, созданы свои научно-исследовательские институты, хотя существует головной научно-исследовательский институт ВНИИэлектромаш... Я думаю, что истоки школы электромашиностроения нужно искать не в людях, которые были близки к теории электрических машин или, быть может, ярко

¹⁶ См., например, подробный обзор понятия «научная школа» в статье: Гасилов В. Б. Научная школа — феномен и исследовательская программа науковедения. — В кн.: Школы в науке/ Под ред. С. Р. Микулинского, М. Г. Ярошевского, Г. Кребера, Г. Штайнера. М.: Наука, 1977, с. 119—152.

Проявляли какие-то тенденции в написании учебных пособий, а надо, видимо, искать школу электромашиностроения там, где создается машина. Мне кажется, что для образования научно-технической школы необходимыми условиями являются следующие: основанная на глубоких теоретических исследованиях дальновидная научно-техническая политика; наличие материальной базы достаточно высокого уровня, где практически воплощалась бы в конкретных изделиях «идейная продукция» школы; наличие образовательного центра, который бы готовил научно-технические кадры для школы. Итак: теоретическая программа, база, кадры. Это условия необходимые, но не достаточные. Нужен еще человек, который бы мог все это объединить. Михаил Полиевктович сумел объединить усилия научных работников завода и преподавателей кафедры. Он все время «перемещивал» их, добивался того, что работники кафедры не только работали над заводскими научными проблемами, но и приучали студентов работать над такими проблемами. А заводских работников он приглашал преподавать на кафедре, воспитывал у них «вкус» к научной работе. Недаром многие руководители завода «Электросила» — доктора и кандидаты наук, крупные ученые в области электромашиностроения»¹⁷.

Вот почему так высоко оценивали роль ОБИСа в развитии завода руководящие работники ЛПЭО «Электросила» генеральный директор Б. И. Фомин и секретарь парткома В. И. Науменко:

«Сегодня каждый из нас, электросиловцев, отдает дань глубокого уважения тем, кто с первых дней истории советского электромашиностроения высоко нес знамя борьбы за превосходство советских энергетических машин. В наши дни пионеры отечественного электромашиностроения стали видными руководителями, учеными, организаторами производства. Велика их роль в современном электромашиностроении, но в те годы они занимали скромные посты: расчетный инженер Р. А. Лютер, технический директор А. С. Шварц, заведующий бюро новых разработок А. Е. Алексеев, заведующий общезаводским бюро исследований М. П. Костенко, начальник лаборатории Д. В. Ефремов... Традиции, заложенные ими в первые годы формирования коллектива завода живут и поныне, они послужили той технической, творческой и нравственной основой, на которой коллектив «Электросилы» сегодня добивается трудовых успехов»¹⁸.

В феврале 1935 г. М. П. Костенко по заданию народного комиссара тяжелой промышленности С. Орджоникидзе был откомандирован на Харьковский электромеханический завод (ХЭМЗ), перед которым стояла задача ор-

¹⁷ Научно-исследовательские интервью с представителями советской научной школы электромашиностроения.

¹⁸ Фомин Б. И., Науменко В. И. Сделано на «Электросиле» — сделано отлично. Л.: Лениздат, 1977, с. 36.

организовать производство крупных электрических машин постоянного и переменного токов. Но, к сожалению, в то время заводские работники не обладали должным опытом по расчету, проектированию и испытанию таких машин. Необходимо было разработать и внедрить на заводе передовые методы расчетов, производства и испытаний. Костенко предложили занять должность шеф-электрика завода. Одновременно он возглавлял отдел расчетов технической конторы и руководил научно-экспериментальными работами, которые велись на заводе.

Костенко в Харькове сразу же широко развернул исследовательскую и научно-теоретическую работу. Используя свой богатый опыт в области проектирования машин, он проводит на заводе ряд организационных мероприятий по обеспечению производства серий машин постоянного тока и серий асинхронных электродвигателей с различными системами вентиляции. В этом ему активно помогают молодые инженеры: Н. И. Борисенко — впоследствии заместитель председателя Научно-технического совета Министерства электротехнической промышленности, А. В. Мозалевский — будущий генеральный директор ЛЭО «Электросила», А. Т. Циркуленко — в дальнейшем директор завода «Уралэлектротяжмаш», Я. Н. Заробян — позднее заместитель министра электротехнической промышленности СССР, О. Б. Брон — в будущем профессор, доктор технических наук, М. Т. Фесенко — позже директор Рижского электромашиностроительного завода, А. И. Бертинов — впоследствии профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой Московского авиационного института и др.¹⁹

Опираясь на поддержку заводских инженеров, Костенко объединяет лаборатории ХЭМЗа и создает на их базе общезаводское бюро исследований. Основная цель бюро — разработка научно обоснованной технической политики завода. При этом Костенко уделял большое внимание организации исследования асинхронных двигателей различного исполнения. Особое значение придавал он, однако, работам по устранению недостатков в коммутации машин постоянного тока, предназначенных для привода прокатных станов в черной металлургии, а также

¹⁹ *Борушко В. С., Булгаков В. А.* Ордена Ленина Харьковский электромеханический завод имени Октябрьской Революции. — *Электротехника*, 1970, № 6, с. 1—3.

в химической промышленности и специальных исследовательских установках авиационной промышленности (аэродинамические трубы) и т. п.

В то время ХЭМЗ выпускал пятимашинные двигатель-генераторы для Запорожского алюминиевого завода, представляющие собой каскад из синхронного электродвигателя 10500 кВА и четырех генераторов постоянного тока КП16—80, 350 В, 6500 А, двигатель-генераторы для электрифицированных железных дорог с двумя последовательно соединенными машинами постоянного тока мощностью 1000 кВт на 1500 В, комплексные электроприводы для кораблей, а также массовую серию машин постоянного тока ПН с диапазоном мощности 0,3—200 кВт²⁰. До приезда Костенко завод не имел столь прочных научно-технологических традиций, какими уже тогда славилась «Электросила», коммутация как уникальных, так и массовых машин постоянного тока, выпускаемых ХЭМЗом, была недостаточно удовлетворительна. «У нас с приемщиками, — грустно шутил назначенный шеф-электриком завода М. П. Костенко, — только одно разногласие. Они требуют от нас темной коммутации и светлых коллекторов, а мы можем предложить лишь светлую коммутацию и темные коллекторы»²¹. В результате всестороннего исследования коммутации мощных машин постоянного тока серийного и массового производства Костенко и его сотрудники выявили причины плохой коммутации и устранили их путем использования специальных обмоток с развитой системой уравнительных соединений. Удалось добиться безукоризненной работы машин, обслуживавших ответственные отрасли промышленности. Результаты работ по коммутации Костенко опубликовал в виде статей в сборнике «За единые серии электрических машин», а также в журнале «Электропривод» ХЭМЗа и в «Трудах Ленинградского индустриального института» [26, 27]. Материалы исследования обмоток машин постоянного тока позволили Костенко в дальнейшем создать методiku изложения одного из важных и наиболее сложных разделов курса электрических машин — «Обмотки и уравнительные соединения машин постоянного тока». Четко систематизировав в ней все многообразие якорных обмоток, Костенко

²⁰ Там же.

²¹ Научно-ведческие интервью с представителями советской научной школы электромашиностроения.

тём самым значительно облегчил изложение и усвоение этого учебного курса.

В Харькове Костенко смог наблюдать за постройкой изобретенной им системы синхронного силового поворота, с помощью которой можно было управлять движением различных устройств.

Весной 1936 г. Костенко возвратился в родной Ленинград. Однако вплоть до 1939 г. он оставался консультантом ХЭМЗа и выезжал туда сначала ежемесячно, а затем раз в два—три месяца.

За время пребывания в Харькове Костенко разработал методики расчета, проектирования, исследования и наладки машин серийного и массового производства, составил ряд указаний по выпуску агрегатов больших мощностей и подготовил кадры расчетчиков, проектировщиков и исследователей в области электромашиностроения. Организационная и научная работа Костенко на ХЭМЗе в значительной мере определила дальнейшее развитие и судьбу одного из крупнейших электромашиностроительных заводов Советского Союза.

Глава пятая

Работа на кафедре в Ленинградском политехническом институте. Декан электромеханического факультета. Идеи связи обучения с производством и их практическое воплощение

Став в 1930 г. во главе кафедры электрических машин Ленинградского политехнического института им. М. И. Калинина, М. П. Костенко активно включился в перестройку учебного процесса в соответствии с требованиями народного хозяйства страны, остро нуждающегося в инженерных кадрах. В 1932 г. на электромеханическом факультете ЛПИ была введена специализация. Резко увеличился прием студентов, открылось вечернее отделение. Каждый курс заканчивался обязательной производственной практикой. Распределение выпускников института стало плановым и соответствовало потребностям народного хозяйства. На факультете активизировалась работа кружка электриков, лучшие студенческие научные работы награждались серебряными и золотыми медалями. Изменился и состав студентов, в основном это были рабфа-

ковцы, демобилизованные из армии или присланные по путевкам предприятий. Студентов, пришедших со школьной скамьи, было не более трети.

Костенко понимал, что осуществить электрификацию страны могут лишь высококвалифицированные специалисты-машиностроители, способные развивать теорию, совершенствовать методы расчета и проектирования, а также технологию производства электрических машин. Подготовку такого рода специалистов на кафедре в свое время начал В. А. Толвинский. Костенко не только развил его подход к обучению кадров электромашиностроителей, но и придал ему форму строгой научной системы. Благодаря активной деятельности Костенко¹ научная работа студентов кафедры органически слилась с практикой электромашиностроения на заводе «Электросила». Позднее, в 50-х годах, Костенко так сформулировал свое понимание вопроса о взаимодействии высшей школы и производства: «Преподавателям высшей школы нужно уяснить важность и необходимость перестройки системы обучения в направлении значительно большего сближения с задачами и практикой производства, включая из непосредственную работу на промышленных предприятиях и в проектных учреждениях. Одновременно необходимо значительно более широко привлекать к преподаванию в вузах крупных конструкторов и производственников. Нужно сломить упорное сопротивление многих вузов и



М. П. Костенко — заведующий кафедрой электрических машин Ленинградского индустриального института, в лаборатории кафедры

¹ К этому времени М. П. Костенко был утвержден профессором Ленинградского электромеханического института, выделенного из состава ЛПИ.

промышленных предприятий к привлечению полезных совместителей для одновременной работы на предприятиях и в вузах» [54]. За этими словами стоял поистине гигантский опыт преподавательской деятельности М. П. Костенко в высшей технической школе — деятельности, главной чертой которой было творческое сочетание научно-педагогической работы с производственной практикой. Именно такое постоянное сочетание чрезвычайно благоприятно сказывалось на качестве подготовки молодых специалистов.

Партия и правительство нашей страны неоднократно подчеркивали важность научно-исследовательских работ в подготовке молодых специалистов. В Постановлении Совнаркома СССР и ЦК ВКП(б) «О работе высших учебных заведений и о руководстве высшей школой», принятом в июне 1936 г., прямо указывалось: «... без научно-исследовательской работы не может осуществляться высшими учебными заведениями подготовка научно-исследовательских кадров и повышение их квалификации»².

Начиная с 1930 г. М. П. Костенко неуклонно проводит в деятельности кафедры принцип обогащения учебного процесса тесной связью с производством, научно-исследовательской работой преподавателей и студентов». Его начинания поддерживает коллектив кафедры, в том числе: проф. А. Я. Бергер, доц. Л. А. Ломоносова (известна своими работами по определению параметров синхронных машин), М. В. Латманов (один из организаторов первых испытаний крупных турбо- и гидрогенераторов на электростанциях), Е. А. Паль (известен по разработке опытного определения параметров синхронных машин, отв. редактор «Трудов ЛПИ»), Г. Р. Лулов, Г. П. Александров (создатель лаборатории электроаппаратуры), И. В. Сафоновский, И. И. Буданцев, И. Т. Юрухин, М. О. Оранский, Г. Б. Меркин (известен по работам в области конденсаторных асинхронных двигателей, электрических машин с постоянными магнитами, с дуговым статором, асинхронных турбогенераторов и пр.) и многие другие. В 30—40-х годах вместе с М. П. Костенко на кафедре работали выдающиеся ученые и преподаватели-методисты Д. В. Ефремов, Л. М. Пиотровский, Д. А. Завалишин, И. М. Постников, А. Е. Алексеев, А. В. Трамбицкий, Л. Н. Грузов и др.

² Народное образование СССР. М.: Учпедгиз, 1956, с. 20.

В феврале 1936 г. М. П. Костенко становится деканом электромеханического факультета ЛПИ. Находясь на этом посту до 1938 г., он уделял большое внимание организации учебного процесса на факультете и подготовке специалистов различных электромеханических специальностей. При этом Костенко стремился уже с первых семестров прививать студентам навыки к научной работе, наблюдал за их работой, выделяя наиболее способных.

В 1937 г. Высшая аттестационная комиссия Всесоюзного комитета высшей школы присвоила М. П. Костенко ученую степень доктора технических наук. Он был утвержден в этом звании без защиты диссертации по совокупности научных трудов. Спустя год Костенко был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР по Отделению технических наук. Его организовал в конце 30-х годов академик Г. М. Кржижановский, страстный борец за практическую направленность деятельности Академии. Глеб Максимилианович послал Костенко телеграмму, в которой тепло поздравил его с этим событием.

С конца 30-х годов ни одна серьезная задача, поставленная перед отечественным электромашиностроением, не решалась без участия Костенко или в качестве консультанта проекта, или как руководителя исследований. Примером этого может служить деятельность Костенко в комиссии ОТН по выбору системы тока для электрификации железных дорог СССР. Ученый провел анализ типов коллекторных однофазных двигателей на 50 Гц нормального типа и системы доктора Бенедикта и инженера Л. М. Шильдинера. При этом он разработал теорию расчета индуктивностей при весьма сложных электромагнитных связях трансформаторно сцепленных контуров двигателя Бенедикта и произвел развернутое экспериментальное исследование этого двигателя на модели электромашиной лаборатории ЛПИ. Основные характеристики двигателя Бенедикта Костенко опубликовал в журнале «Вестник электропромышленности» [28].

В период с 1936 по 1941 г. на кафедре электрических машин ЛПИ велись научно-исследовательские работы. Считая, что научный поиск является одним из основных и обязательных элементов образования и подготовки молодых специалистов, Костенко добился того, что все диссертационные работы сотрудников кафедры и ее аспирантов содержали экспериментальную или теоретическую разработку практически важных тем. Изменился и харак-

тер студенческих дипломных работ: наряду с расчетно-проектировочными все чаще стали защищаться расчетно-экспериментальные, уточняющие теорию электрических машин и методику их расчета. Привлечение студентов к научно-исследовательской деятельности как во время обучения, так и в процессе дипломного проектирования в большой мере способствовало формированию уже в стенах ЛПИ эрудированных специалистов, сразу же по окончании института способных к самостоятельной творческой деятельности.

Научно-исследовательские работы, выполненные коллективом кафедры электрических машин под руководством Костенко, были направлены на решение важнейших задач, стоящих перед советской электропромышленностью. В основном это были прямые задания заводов «Электросила», ХЭМЗ, «Электроприбор», «Динамо», Физико-технического института и др. Важной работой этого периода стало исследование мощных турбогенераторов, установленных на электрических станциях системы «Ленэнерго» и крупнейших электрических станциях СССР — Каширской, Шатурской и ряда других. Эта работа являлась логическим продолжением аналогичных исследований, проводившихся под руководством Костенко в Общезаводском бюро исследований «Электросилы». Работники кафедры подробно исследовали более десятка мощных турбогенераторов и получили электрические, тепловые и вентиляционные их характеристики. В результате не только были сделаны выводы о степени использования этих машин, но и определены резервы мощности в Ленинградской энергосистеме. Результаты исследований помогли наладить на заводе контроль за качеством выпускаемых машин, дав ценный материал для уточнения методик их расчета и проектирования. Данные, полученные в ходе исследований и оформленные в научно-технических отчетах кафедры, послужили материалом для фундаментального труда М. П. Костенко «Турбогенераторы» (1939 г.), написанного им в соавторстве с проф. А. Е. Алексеевым [29].

Уделяя серьезное внимание развитию новейшей теории синхронных машин, Костенко всемерно содействовал постановке на кафедре научных исследований и этого направления. В этой связи особое значение имел большой цикл работ по развитию теории параметров синхронных машин и уточнению методик экспериментального опреде-

ления параметров в установившихся и переходных режимах. Были рассмотрены вопросы влияния высших гармоник магнитного поля синхронной машины на величину индуктивного сопротивления рассеяния обмотки статора, влияния высших гармоник синхронного и обратно-синхронного полей, насыщения, используемых электроизмерительных приборов на точность определения параметров и т. п. В результате были установлены наиболее рациональные методы экспериментального определения параметров синхронной машины. Кроме того, исследователи предложили ряд новых (прямых и косвенных) методов определения индуктивного сопротивления обратной последовательности для несимметричных режимов синхронных машин различных типов. Эти работы нашли широкое отражение в периодической электротехнической литературе, а в дальнейшем — в труде М. П. Костенко «Электрические машины (специальная часть)» [39].

Мы видим во всех этих исследованиях одно общее качество, имеющее непосредственную связь с вопросом о соотношении прикладных и теоретических работ в области технических наук. Как правило, темы теоретических исследований М. П. Костенко и его учеников продиктованы практикой. И в то же время члены формирующейся школы электромашиностроения, во главе которой встал М. П. Костенко, не ограничиваются решением конкретной теоретической задачи. Наряду с теоретической интерпретацией и решением практической задачи каждый раз выявляется и совершенствование самой теории, становящейся «теоретическим заделом» для решения практических задач, которые могли бы появиться (и, как правило, появляющихся) в будущем. Зачастую само движение теоретической мысли приводит к постановке новых практических задач и к появлению новых возможностей производства. Таким образом, в историческом развитии технических наук имеют место периоды, когда теория ведет за собой производство, раскрывая перед ним новые возможности. Этот процесс повторяет в соответствующем масштабе процесс, описывающий взаимодействие фундаментальных наук и технологических потребностей общества.

Работая экспертом по новым сериям электрических машин различных типов, разрабатываемым на электромашиностроительных заводах, Костенко поставил на кафедре серию исследований основных типов электрических

машин, в том числе машин постоянного тока, асинхронных электродвигателей, синхронных явнополюсных машин и турбогенераторов. Полученные результаты он доложил на конференциях в Москве, Ленинграде, Харькове, а также опубликовал в ряде статей [26].

Все эти годы Костенко продолжал работать и в области теории коллекторных машин переменного тока. Период 1936—1941 гг. характеризуется дальнейшей ее разработкой и углубленным изучением геометрических мест токов коллекторных машин различных типов и каскадных соединений с коллекторными машинами. Большое внимание уделял Костенко и вопросам колебаний коллекторных машин, а также разработке методик расчета коллекторных машин переменного тока различных типов. В результате серии этих исследований была подготовлена и в 1939 г. сдана в печать книга «Коллекторные машины переменного тока. Часть 2» (совместно с Л. П. Гнединым), содержащая дальнейшее развитие теории машин этого типа и методики их расчета. Последнее убедительно свидетельствует о важнейшей черте исследовательского стиля М. П. Костенко — о его стремлении доводить все свои теоретические работы до практического инженерного выхода. Эти и другие работы, проводившиеся М. П. Костенко и коллективом кафедры, а также непрестанное совершенствование учебного процесса и методики преподавания создали прочный фундамент крупнейшей советской научной школы электромашиностроения.

Наш рассказ о Костенко — руководителе электромеханического факультета и кафедры электрических машин ЛПИ хорошо дополняют воспоминания о времени учебы и работы на кафедре члена-корреспондента АН УССР, доктора технических наук, профессора И. М. Постникова. Первый аспирант М. П. Костенко рассказывает:

«Кафедра электрических машин ЛПИ была очень сильной. Почти все сотрудники кафедры работали одновременно на заводе «Электросила», заводе «Электрик» и др., а также в научно-исследовательских институтах. Электромеханический факультет в научном отношении был тесно связан с крупнейшими учеными ЛПИ. В преподавательской и исследовательской работе большое влияние оказывали проф. П. Л. Калантаров, проф. Л. Р. Нейман и др. На кафедре часто организовывались научные сообщения и дискуссии, обсуждались вопросы научно-методической работы. Отстающие студенты в ту пору не требовали большого внимания. Их было немного. Студенты в массе работали и организовывали учебный процесс самостоятельно. В деканате всю работу вел один секретарь. Основное внимание преподавате-

лей уделялось научной работе и привлечению активных студентов к совместным исследованиям. Я помню, что мы иногда работали в лаборатории электрических машин с утра до 12 ч. ночи. Нужно отметить, что эти работы обычно делались сверх заданной программы. Преподаватели не вмешивались в нашу работу, зато после окончания ее проводилось весьма подробное обсуждение результатов. Преподаватели имели время для чтения иностранной технической литературы и журналов. Участие в работах завода вносило в преподавание практические и научные проблемы промышленности. Например, в качестве дипломного проекта наша группа разрабатывала реальные заводские проекты гидрогенераторов Днепротэс, ГЭС Ангары и Узбекистана. Руководили проектами проф. А. Е. Алексеев и инженер А. С. Еремеев — впоследствии главный конструктор завода «Электросила» по гидрогенераторам.

Когда М. П. Костенко был руководителем Общезаводского бюро исследований завода «Электросила», он привлекал нас — молодых преподавателей и аспирантов к решению крупных задач производства и проектирования электрических машин. В частности, уже тогда мне лично пришлось заниматься вопросами расчета и проектирования электрических машин, что впоследствии облегчило мне написание известных курсов по проектированию электрических машин.

Преподавание курсов электрических машин было значительно более основательным, чем теперь. Например, М. П. Костенко читал три основных курса: «Машины постоянного тока», «Синхронные машины», «Коллекторные машины» и два специальных курса: «Турбогенераторы» и «Дополнительные главы теории электрических машин». Л. М. Пиотровский читал два основных курса: «Трансформаторы» и «Асинхронные машины». А. Е. Алексеев читал курсы «Гидрогенераторы», «Конструкция электрических машин», «Тепловые, вентиляционные и механические расчеты электрических машин»³.

Большой интерес представляет и рассказ И. М. Постникова о «методах» подбора Костенко наиболее одаренных студентов, составивших в дальнейшем костяк его научной школы.

«Я помню день 1929 года, — пишет И. М. Постников, — когда в большой аудитории Ленинградского электротехнического института им. Ульянова-Ленина происходило общее собрание студентов 2-го курса, на котором ученые делали доклады о своих направлениях в науке с той целью, чтобы студенты могли выбрать себе специальность. Об электрических машинах докладывал проф. Ф. И. Холуянов. На меня выступление Ф. И. Холуянова не произвело большого впечатления, и я затруднялся в выборе факультета, на который мне надо было записаться. В случае выбора специальности «Электрические машины» нас должны были перевести в ЛПИ. Один из рядом со мной сидящих студентов, впоследствии мой друг и известный специалист

³ Постников И. М. Воспоминания. — Архив автора. Рукопись.

В области электрических машин, Я. А. Андрианов сказал мне, что, по его мнению, надо записываться на «Электрические машины», так как в ЛПИ идет слава о молодом профессоре М. П. Костенко, а также профессоре Л. М. Пиотровском. Мы записались на электромеханический факультет и были переведены в ЛПИ. Я стремился послушать лекции М. П. Костенко и никогда не забуду этого первого впечатления. Михаил Полиевکتovich сразу начал рассказывать об электрических машинах и при этом так, как будто мы были уже специалистами и нам должно быть интересно устройство и свойства машины. Эта особенность лекций М. П. Костенко, состоящая не во внешнем блеске, а в какой-то скрытой внутренней заинтересованности лектора, непосредственно передающейся слушателям, овладела мной с тех пор навсегда. Впоследствии, и особенно теперь, я понял, что успех лекций можно обеспечить по-разному: например, мы были весьма довольны лекциями Л. М. Пиотровского. Он читал блестяще, и его трудно было не понять. Студентам это очень нравилось. Лекции М. П. Костенко не отличались внешним блеском, и их не всегда можно было сразу понять, но они как-то побуждали к дальнейшей работе и к доскональному пониманию идей, излагаемых в лекции.

Но особенно помнятся его экзамены. Стоило экзаменуемому уметь и «во время» задать М. П. Костенко какой-нибудь вопрос, как он начинал подробно это пояснять, страшно увлекаясь и в конце ставил высокую оценку (собственно себе). М. П. Костенко быстро замечал прилежных студентов и задавал им дополнительные задания. Уже на 3-м курсе, заметив мой тщательно составленный конспект по теме «Добавочные потери в турбогенераторах», он посоветовал мне включить в работу по подготовке известного справочника «СЭТ», издаваемого под руководством проф. В. А. Толвинского. Это было первой моей печатной работой. Затем, заметив, что я читаю книгу Рихтера «Ankerwicklungen für Gleich- und Wechselstrommaschinen», он посоветовал мне попробовать перевести несколько глав, что я и сделал. Прочитав перевод, Михаил Полиевکتovich был весьма доволен и согласился быть редактором этого перевода.

Все это послужило ему основанием для оставления меня в аспирантуре, впервые тогда открытой по электрическим машинам⁴, и я с гордостью вспоминаю, что я был первым аспирантом М. П. Костенко и, кажется, не обманул его ожиданий.

В чем «секрет» его влияния на молодежь и успехов в организации науки? Думаю, что секрет этот прост. Мы видели его личный энтузиазм, он заражал нас и побуждал к работе. Помню, мы разрабатывали в лаборатории ЛПИ тему «Двигатель двойного питания». Тогда не были ясны причины самораскачивания этой машины. Михаил Полиевکتovich поставил перед нами задачу провести ряд экспериментов при разных конструкциях обмоток. Результаты наших опытов мы, однако, не смогли объяснить, и он взял это на себя. Утром Михаил Полиевکتovich приходит в лабораторию электрических машин с довольным видом и показывает нам теоретические выводы, которые ему удалось сделать

⁴ Аспирантура в советских высших учебных заведениях была учреждена в 1925 г. — *Примеч. авт.*

ночью. Эти выводы как будто подтверждали наши опыты. Каково же было наше смущение, когда мы обнаружили, что схема была включена неправильно. Мы побоялись признаться в этом Михаилу Полиевктовичу. После того, как он все-таки узнал об этом, нам сильно досталось. Мы переделали опыт, и его новые результаты Михаил Полиевктович принужден был обосновывать новой теорией.

Михаил Полиевктович сочетал в себе свойства блестящего и неутомимого экспериментатора и теоретика. При этом его теория всегда заканчивалась инженерной методикой. Он был вместе с тем и талантливым инженером. Помню, как он заразил нас исследованием турбогенераторов Ленэнерго. Говорили, что Михаил Полиевктович превратил Ленэнерго во вторую лабораторию электрических машин. Эти исследования весьма существенно повысили кругозор молодых преподавателей и аспирантов и принесли большую пользу промышленности. На основе этих работ была разработана методика теплового и вентиляционного расчета крупных электрических машин и внесены значительные усовершенствования в конструкцию этих машин. В этих испытаниях принимал участие и Л. Р. Нейман, который впоследствии до конца своей жизни был связан с М. П. Костенко и с проблематикой электрических машин и передачей электроэнергии...»⁵.

И. М. Постников вместе с М. П. Костенко участвовал в испытаниях гидрогенераторов Дзорагэс в Армении. Там он прошел у своего учителя большую школу электромашинного эксперимента. Но не только на особенности машин указывал ему Костенко — он учил его быть философом, ценить и любить жизнь, преклоняться перед красотой и силой природы.

Испытания генераторов Дзорагэс, изготовленных Харьковским электромеханическим заводом, имели для М. П. Костенко и его бригады особое значение. Испытывая три этих сравнительно небольших (каждый мощностью 5000 кВт) генератора по расширенной программе, Костенко смог достаточно точно определить параметры этих машин как в установившихся, так и в переходных режимах. Это помогло еще глубже проникнуть в сущность электромагнитных процессов, происходящих в синхронных машинах, в частности переходных процессов [25].

Будучи деканом электромеханического факультета ЛПИ, Костенко внимательно присматривается к студентам не только своей кафедры — кафедры электрических машин, — но и других специализаций с целью привлечения их к последующей научной работе. В этом — весь Ко-

⁵ Постников И. М. Воспоминания. — Архив автора. Рукопись.

стенко с его широким пониманием насущных и грядущих проблем электроэнергетики, стремлением найти средства обеспечения научных потребностей ее завтрашнего дня.

Костенко один из первых увидел возможности, которые открывает перед электромашиностроением и энергетикой автоматика и телемеханика. В 30-е годы связи автоматике и электромеханике проступали еще весьма неясно и увидеть их, а впоследствии широко использовать мог лишь исследователь, обладающий даром научного предвидения. В этой связи директор Института автоматике Дальневосточного научного центра АН СССР академик А. А. Воронов (в 30-е годы — студент электромеханического факультета ЛПИ) вспоминает:

«Когда М. П. Костенко был деканом электромеханического факультета, специальность «Автоматика и телемеханика» только что организовалась и на первый взгляд казалась довольно далекой от интересов Михаила Полиевктовича. Однако это было не так. Чувство нового всегда ему сопутствовало. Он очень живо интересовался успехами и бытом тех студентов нашей группы, которых считал перспективными для будущей работы.

В 1938 г., когда я окончил институт, новые правила приема в аспирантуру только еще вводились. Несмотря на то, что Государственная экзаменационная комиссия рекомендовала меня для поступления в аспирантуру, комиссия по распределению выпускников не приняла этой рекомендации во внимание и направила меня инженером на Горьковскую районную электростанцию (ГОГРЭС) в г. Балахну. Меня это, правда, мало огорчило: в прошлом я был электромонтером, работу любил; ГОГРЭС была своеобразным «музеем». Там можно было видеть в работе оборудование многих передовых фирм — АЭГ, Сименс, Электросила, Джeneral Электрик, АСЕА, Магрини, Эрликон, Броун-Бовери и других. Прогрессивные взгляды начальника лаборатории — Серафима Евгеньевича Писарева, разнообразие схемных решений — все это делало работу весьма интересной и быстрее обогащало молодого специалиста опытом. Я быстро увлекся работой.

Но, оказалось, Михаил Полиевктович помнил обо мне. Неожиданно в феврале 1939 г. я получил от него письмо с приглашением на собеседование, поехал в Ленинград и вернулся в Балахну уже для прощания — аспирантом. Михаил Полиевктович убедил меня, что руководить моими поступками должна не только увлеченность работой, но и трезвый прогноз, основанный на использовании жизненного опыта.

Он начертил два графика, характеризующих рост научных знаний в области технических наук. Для каждого научного работника совершенно необходим производственный опыт работы. На рисунке был показан рост его знаний и опыта на производстве: быстрый подъем в первые годы и «насыщение», наступающее через 3—5 лет. На том же рисунке показан рост знаний и опыта в аспирантуре: сначала медленный подъем, а затем — быстрый рост в результате широкой творческой деятельности.

Нужно вовремя выбрать точку перехода с первого графика на второй. Подсчитав время моей работы на заводе электромонтером, инженером во время учебы на старшем курсе и на ГОГРЭС, Михаил Полиевктович убедил меня, что время перехода для меня наступило, и я последовал его совету.

Обучение в аспирантуре было недолгим: через полгода началась война с белофиннами, и я был мобилизован в действующую

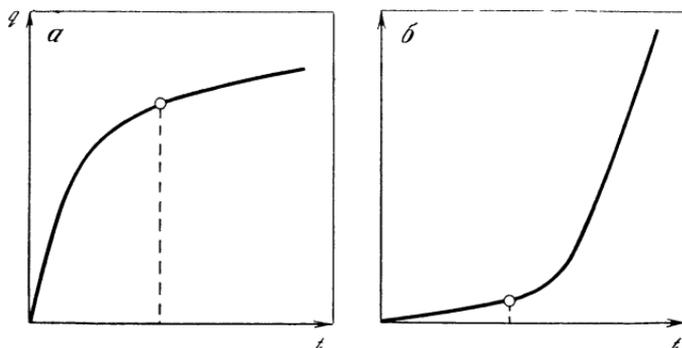


График накопления знаний по М. П. Костенко

а — инженер; б — аспирант

щую армию. Вернулся в институт я лишь через год, так как после окончания военных действий некоторое время работал в другой области. Когда я вернулся, заведующий новой только что организованной лабораторией электромашинной аппаратуры при кафедре Михаила Полиевктовича доцент Григорий Петрович Александров предложил мне не восстанавливаться в аспирантуре, а идти работать в лабораторию. Одной из ее задач было восстановление чертежей схем автоматики на станции Роухиалла, . . . , а также исследование, наладка и пуск станционных регуляторов. У меня уже был сдан один предмет кандидатского минимума, и Михаил Полиевктович посоветовал мне принять предложение, считая, что эта работа будет полезнее и интереснее, чем продолжение «школярства» — слушания лекций и сдачи экзаменов. Как он был прав! Мне удалось поработать в лаборатории только полгода — началась Великая Отечественная война, но за эти полгода у меня сформировалась идея кандидатской диссертации и был накоплен для нее экспериментальный материал. Перед уходом на фронт я ускоренным темпом по совету Михаила Полиевктовича сдал оставшиеся кандидатские экзамены и простился с институтом»⁶.

Ученики М. П. Костенко разъезжались по стране и повсюду распространяли его творческие замыслы и методы. «Традиции, заложенные в нас М. П. Костенко, —

⁶ Воронов А. А. Воспоминания. — Архив автора. Рукопись.

вспоминал впоследствии И. М. Постников, — широко развиваются многочисленной армией его учеников и сотрудников. Могу сказать, что при решении того или иного научного или практического вопроса я всегда спрашиваю себя: как поступил бы здесь Михаил Полиевктович? И тогда — неизменно, как мне кажется, — прихожу к правильному решению. Во время празднования его 70-летия, помню, я говорил, что на Украине получила большое развитие кафедра электрических машин Киевского политехнического института и отдел электрических машин в Институте электродинамики АН УССР. Там работают многие ученики М. П. Костенко и ученики его учеников. Если мы можем считать себя «детьми» Михаила Полиевктовича, то они могут считаться его «внуками». Могу сказать, что мои личные успехи в науке возникли в сильной степени благодаря влиянию М. П. Костенко, его помощи, советам и личному примеру. Его творческие поиски и методы живут в идеях и делах его учеников»⁷.

Глава шестая

Годы войны. Эвакуация в Ташкент. Работа в Узбекском филиале АН СССР. Увеличение мощности энергосистемы Узбекэнерго. Начало работ по электродинамическому моделированию энергосистем

К началу сентября 1941 г. гитлеровские войска блокировали Ленинград. Но в осажденном городе продолжалась трудовая жизнь. М. П. Костенко по-прежнему руководил кафедрой, консультировал на «Электросиле». 22 сентября его вызвали в Смольный, где сообщили о решении Государственного Комитета Оборона срочно эвакуировать из Ленинграда видных деятелей науки и культуры и их семьи. Взяв лишь необходимый минимум вещей, а также рукопись еще незавершенной книги «Электрические машины», Костенко с семьей прибыли на автобусе (вместе с ними ехала семья А. Е. Алексеева) на аэродром, откуда ночью самолетом долетели до Тихвина и через Рыбинское водохранилище, по каналу, добрались до Москвы.

В столице они пробыли недолго, так как правительство предложило ученым эвакуироваться в Казань или

⁷ Постников И. М. Воспоминания. — Архив автора. Рукопись.

в Ташкент. Костенко избрал Среднюю Азию: в Ташкенте, в Среднеазиатском индустриальном институте (САИИ) имелись кафедра электрических машин и электромашинная лаборатория; ученый надеялся сразу же включиться в нужные стране исследования. Прибыв в город 30 октября 1941 г., семья М. П. Костенко поселилась в старом русском районе, на ул. Гоголя, 68, недалеко от здания Центрального Комитета ЦК КП(б) Узбекистана.

В Ташкент были также эвакуированы ленинградские профессора М. А. Шателен, Л. Р. Нейман, Н. П. Ермолин. Шателен сразу развил активную деятельность по организации Узбекского филиала Академии наук СССР (УзФАН). Его узбекские друзья шутили, утверждая, что идея создания филиала очень удачна, поскольку аббревиатура «УзФАН» на узбекском языке обозначает именно словосочетание «Наука Узбекистана».

В начале ноября заведующий кафедрой электрических машин САИИ профессор Г. Ф. Грушкин пригласил Костенко ознакомиться с электромашинной лабораторией. Доцент Киевского политехнического института Г. Н. Блаудзевич, работавший в то время ассистентом Грушкина, вспоминает:

«Михаил Полиевктович осмотрел оба машинных зала, очень подробно ознакомился с парком машин, расспросил, какие питающие агрегаты установлены в лаборатории и какими измерительными приборами она располагает, какие имеются возможности для проведения научно-исследовательских работ, связанных с запросами промышленности и энергосистем. Парком машин М. П. Костенко был весьма удовлетворен, поскольку в лаборатории оказались весьма редкие однофазные и трехфазные коллекторные машины, которые могли пригодиться для предстоящих исследований. Это оборудование было любовно собрано и бережно эксплуатировалось старшим лаборантом лаборатории электрических машин САИИ Дмитрием Васильевичем Волковым.

Через несколько дней Михаил Полиевктович пришел в лабораторию и сказал, что он был в ЦК КП(б) Узбекистана, где ему предложили оказать научно-техническую помощь Чирчикскому электрохимкомбинату.

Со свойственной Михаилу Полиевктовичу энергией он решил безотлагательно приступить к этой работе и предложил преподавателям кафедры принять в ней участие. Он рекомендовал также привлечь студентов кафедры для проведения экспериментальных и расчетных работ. На вопрос новоиспеченных сотрудников, когда же будет начата эта работа, Михаил Полиевктович с некоторым удивлением ответил, что сегодня же следует продумать, какие измерительные приборы потребуются для испытания ртутного выпрямителя, но ехать сегодня на комбинат уже поздно. А вот завтра поезд с рабочими отправляется на комбинат

в 7 час. 30 мин. утра, и поэтому уже утром можно будет уточнить на месте все вопросы, связанные с будущими экспериментами»¹.

На следующий день группа выехала на комбинат. В поезде Костенко рассказал, что в руководящих партийных органах указали на большую нужду оборонной промышленности республики в электроэнергии, в том числе — постоянного тока.

На комбинате члены группы смогли конкретно определить поставленную перед ними задачу. Осмотрев аппаратуру и электрические машины, они в тот же день вернулись в Ташкент. Уже на обратном пути Костенко предложил для решения задачи провести опыт на модели в лаборатории электрических машин САИИ: эксперименты на машинах комбината, а тем более их временное отключение, по его мнению, были недопустимы. На другой день он вместе с Л. Р. Нейманом и сотрудниками кафедры наметил план работ и выбрал электрическую схему для проведения эксперимента на металлическом ртутном выпрямителе. Для проведения исследований необходимо было также установить и отремонтировать шестишлейфный осциллограф производства ХЭТИ, который также был доставлен из Киева и в процессе транспортировки получил некоторые повреждения. Не прошло и недели, модельная установка была оборудована, началась ее наладка.

«Первые эксперименты, — вспоминает Г. Н. Бладзевич, — мы начали проводить днем, но вечером осциллограмм еще не было. Мы успели только увидеть на экране осциллографа кривые токов и напряжений установившихся режимов.

Мы решили продолжать эксперимент и снять осциллограммы этих режимов, чтобы к утру можно было иметь материал для анализа этих процессов. Мы знали, что Михаил Полиевктович утром придет для этого в лабораторию. Эксперимент на только что созданной установке затянулся, возникли неполадки и когда поздно вечером Михаил Полиевктович позвонил нам по телефону, мы с сожалением ответили, что осциллограмм еще нет.

Каково же было наше удивление, когда примерно в три часа ночи к нам в лабораторию пришел на помощь сам Михаил Полиевктович. Он, проанализировав результаты наблюдений, дал нам совет, как можно получить необходимые осциллограммы заданных режимов.

К утру осциллограммы были получены. После анализа их Михаил Полиевктович и Л. Р. Нейман поехали на Электрохим-

¹ Бладзевич Г. Н. Воспоминания. — Архив автора. Рукопись.

комбинат, имея уже некоторые предварительные рекомендации. Остальным Михаил Полиевктович предложил выпасться, чтобы вечером продолжить работу»².

Все полученные данные Костенко тщательно просматривал, причем самые важные из них всегда обрабатывал лично: наносил сетку, измерял и выписывал в таблицу наиболее характерные величины, а затем выводил кривые на осциллограммах цветной тушью для большей наглядности, нередко сам готовил плакаты для докладов на совещаниях по работе выпрямительных устройств, отбирая для них наиболее характерные данные, полученные при эксперименте и расчетах.

Построение кривых аналитическим путем иногда требовало графического решения составленных уравнений (в те годы ЦВМ не существовало). Для получения большей точности расчеты велись на арифмометрах.

Костенко весьма одобрял стремление его дочери Лены помочь ему в подготовке графического материала. Он тем самым воспитывал и в дочерях высокое чувство ответственности. В этой связи характерен следующий эпизод. В один из осенних дней 1942 г. Г. Н. Блаудзевич зашел к Костенко домой, чтобы прояснить возникшие по ходу эксперимента вопросы. Он застал дочерей ученого в сборах для поездки в колхоз: школьники старших классов отправлялись помогать убирать хлопок. Блаудзевич знал, что Лена простудилась, и был удивлен, что она в таком состоянии (что мог бы подтвердить врач) уезжает из дома. На его удивленный вопрос Костенко ответил коротко и ясно: «Сейчас война, все едут на уборку. Остаться из-за простуды просто нельзя».

В 1942—1944 гг. М. П. Костенко с целью повышения мощности гидрогенераторов, установленных на гидростанциях системы Узбекэнерго, провел их развернутые испытания. Испытания начались еще во время исследования режимов синхронного двигателя мощного поршневого компрессора на Электрохимкомбинате. Работа компрессора вызывала значительные качания двигателя, что приводило к колебаниям напряжения не только на электроподстанции комбината, но и в линии передачи и на шинах близлежащей гидроэлектростанции. После ряда экспериментов Костенко пришел к выводу, что возможности генераторов используются далеко не полностью. Но

² Блаудзевич Г. Н. Воспоминания.

для выявления резервов гидрогенераторов и определения их предельной нагрузки нужны были новые более широкие испытания.

«Этот вопрос был поднят в беседе с главным инженером Узбекэнерго. Костенко предложил провести такие испытания. Главный инженер выразил сожаление, что через каких-нибудь несколько недель, с наступлением зимы, расход воды в реках значительно снизится и проводить испытания не представится возможным.

— Вы же, — сказал он, — не сможете быстро приступить к работе. Пока составите договор, пока согласуете все пункты, пока подпишете — время пройдет.

Михаил Полиевкович на это ответил, что следует договориться по основному вопросу — сформулировать цель испытаний, т. е. выяснить возможность увеличения мощности установленного оборудования и дать рекомендации, как этого достигнуть.

— Если начать испытания буквально сегодня же, — сказал он, — то времени до зимнего снижения расхода воды в реках будет достаточно. Уточненную программу можно будет оформить в первые же дни испытаний. Что касается заключения, то конкретные рекомендации в самом кратком виде будут даны через 2—3 дня после окончания. Подробный отчет с таблицами, графиками и детальными расчетами можно будет представить позже.

Михаил Полиевкович предложил вечером в тот же день подобрать необходимые приборы и уже завтра с раннего утра начать подготовку испытаний.

По окончании подготовки исследовательская бригада утренним поездом выехала на ГЭС, с тем чтобы уже днем закончить установку и подключение измерительных приборов, а утром следующего дня — начать испытания.

По приезде на ГЭС Михаил Полиевкович после осмотра работающих агрегатов прошел в кабинет главного инженера, там он попросил чертеж общего вида генератора, затем, основываясь на данных измерений, выполненных на запасной секции обмотки статора, и на размерах машины, взятых из чертежа, вынув из кармана пиджака логарифмическую линейку, тут же произвел поверочный расчет электромагнитных и тепловых нагрузок генератора. Это дало возможность конкретизировать режимы, при которых следует проводить испытания и значительно быстрее определить по данным эксперимента предельные значения мощности генератора, ограничиваемые нагревом».

Здесь следует отметить, что гидрогенераторы на заводе-изготовителе испытаний обычно не проходили — их можно было проверить только на месте установки, т. е. непосредственно на ГЭС. В этой связи один из участников этих работ в своих воспоминаниях указывал на еще одну, весьма специфическую черту исследовательского стиля М. Н. Костенко — склонность к оправданному техническому риску:

«Мощность электрической машины определяется ее нагревом. Чем больше нагрев, тем больше мощность машин. Мы, работники завода «Электросила», знали, что машины всегда выпускаются с некоторым запасом по температуре: но никто не мог сказать, каким, потому что расчет очень сложен. И вот дают нам в Коканде на два часа машину — турбогенератор, который питает весь город. Костенко на основании каких-то своих соображений командует: «Повышайте мощность!».

Представители областных организаций волнуются: «Товарищи, что вы делаете?»

А у нас времени нет, нужно быстро снять хотя бы маленькие кусочки экспоненты нагрева. Костенко замахнулся повысить мощность процентов на 20—30. Я попытался было остановить его: «Михаил Полиевктович, теоретически это совсем не обесновано...». А он мне отвечает: «Что ты сейчас о теории заботишься, сейчас промышленности мощность надо дать».

У Костенко была теория риска — он считал, что никогда нельзя добиться стопроцентной уверенности и завершенности: «Если у Вас есть уверенность на 90%, то не стоит добиваться покорения оставшихся 10%, надо рисковать, надо идти на неизвестность. Добыча оставшихся 10% может потребовать 90% времени»³.

Испытывали все гидрогенераторы электростанций системы Узбекэнерго. Чаще всего на это уходило несколько дней. Группа испытателей ночевала в комнате для командированных. Г. Н. Блавдзевич вспоминает, что после трудового дня, вечером они собирались в этой комнате на отдых. Костенко обычно вынимал из портфеля белую салфетку, в которую Ольга Васильевна заворачивала ему в дорогу еду, и всех угощал. А потом начиналась беседа.

Обстановка тех тяжелых, но полных романтической самоотверженности лет заставляла задумываться над смыслом жизни и деятельности. П. К. Карцев, работавший вместе с М. П. Костенко в Ташкенте, рассказывал, как однажды, после тяжелого трудового дня, полностью занятого испытаниями машин в небольшом узбекском городке, группа исследователей проводила вечер во дворе клуба, отведенного ей в качестве «резиденции»:

«Уже наступила теплая ночь, на небе засветились необычно яркие для нас, северян, звезды, которые, казалось, были совсем рядом, — но бесконечно далеко. Многим в такие минуты приходили мысли о бренности существования, и все молча смотрели в небо. Михаил Полиевктович вдруг нарушил тишину, сказав:

³ Научно-исследовательские интервью с представителями советской научной школы электромашиностроения: Магнитофонные записи и стенограммы. — Архив ИИЕиТ АН СССР.

- Хорошо все-таки, что после нас что-то останется...
— Что вы имеете в виду — детей?
— И их тоже... Но главное — труды, книги...»⁴.

В простоте этих слов, сказанных в особой доверительной обстановке, заключалась удивительная цельность и искренность ученого, мощная движущая пружина его энергичной привлекательной личности.

На некоторых ГЭС группа Костенко проводила испытания, включающие исследование вентиляции. В результате появлялись рекомендации о внесении тех или иных изменений в вентиляционную схему, позволяющих улучшить охлаждение и повысить мощность генератора. Тепловые испытания генераторов в ряде случаев продолжались 36 часов и более. Каждые 10—15 мин. производились отсчеты по приборам, а в промежутках исследователи строили графики по данным наблюдений. В течение всего испытания Костенко периодически просматривал результаты, построенные кривые и корректировал, если это было необходимо, режимы работы генераторов. Он для каждого находил доброе слово, умел остроумным замечанием, сравнением, веселой репликой поддержать у людей настроение, которое после бессонных ночей, естественно, начинало понижаться. Его личный пример и неиссякаемый запас энергии всегда воодушевляли, прибавляли силы, вызвали трудовой энтузиазм.

В работах по выявлению резервов крупного оборудования электростанций Узбекэнерго участвовала большая группа исследователей УзФАН, преподавателей и студентов САИИ и ЛПИ. Так, тепловые испытания гидрогенераторов Бурджарской ГЭС проводила специальная бригада (под руководством М. П. Костенко) в следующем составе: ответственные исполнители — преподаватели САИИ Г. Н. Блаудзевич и П. К. Карцев, исполнители — студенты САИИ и ЛПИ К. П. Батырев, А. И. Важнов, С. И. Лапидус, Р. А. Ризова, И. В. Шевелева. В состав бригады по тепловым испытаниям гидрогенераторов ГЭС № 7 и ГЭС № 8 Тавакской и Комсомольской ГЭС наряду с руководителем М. П. Костенко входили: профессор Г. Ф. Грушкин, преподаватели Г. Н. Блаудзевич, П. К. Карцев, З. М. Фрейдович. Бригаду по тепловым и вентиляционным испытаниям гидрогенераторов ГЭС № 8,

⁴ Научковедческие интервью с представителями советской научной школы электромашиностроения.

которую возглавлял П. К. Карцев, составляли: преподаватели Г. Ф. Грушкин, Л. Р. Нейман, И. М. Постников, Г. Н. Блаудзевич, З. М. Фрейдович, студенты В. В. Прусс-Жуковский и Р. С. Колоянцева⁵. Научно-технические отчеты оформлял Д. В. Волков. Многие исполнители этих работ стали впоследствии видными членами Ленинградской научно-технической школы электромашиностроения.

Весьма симптоматично, что даже в тяжелые годы войны, в обстановке, требующей полной отдачи сил на оборону страны, исследователи, руководимые М. П. Костенко, проводят полноценные и весьма важные теоретические и экспериментальные научные работы. Об этом свидетельствует, в частности, простой перечень тем докладов, сделанных сотрудниками и коллегами М. П. Костенко на научно-технической конференции САИИ в марте 1943 г., посвященной 25-летию Красной Армии: *М. А. Шателен* — «Научно-исследовательские проблемы, связанные с электростроительством Узбекистана»; *М. П. Костенко* — «Увеличение промышленных мощностей существующих электростанций и использование крупного электрооборудования Узбекистана»; *П. К. Карцев* — «Определение предельных мощностей и составление эксплуатационных характеристик гидрогенераторов путем их исследовательских испытаний»; *И. М. Постников* — «Основы теплового расчета крупных электрических машин»; *Г. Р. Рахимов* — «Передача энергии в индуктивно связанных цепях (развитие теории всеобщего трансформатора)»; *Х. Ф. Фазылов* — «Общая методика поточкораспределения в сложных системах»; *Г. Н. Блаудзевич* — «Исследование на модели нормальных и предельных режимов работы ртутно-выпрямительной установки»; *А. И. Важнов* — «Резонансные колебания синхронного двигателя при наличии пульсирующей нагрузки»⁶. М. П. Костенко руководил также научной и методической работой преподавателей ЛПИ, эвакуированных в Ташкент: профессора Л. М. Пиотровского, доцентов Е. А. Паля, И. М. Постникова, Г. Р. Меркина, ассистента Г. Р. Лулова. Е. А. Паль и И. М. Постников защитили в Ташкенте диссертации.

Ташкентский период творчества М. П. Костенко был необыкновенно плодотворным. Помимо работы на кафедре

⁵ Научно-технические отчеты по испытаниям генераторов системы Узбекэнерго. — Архив автора.

⁶ Программа научно-технической конференции САИИ, посвященной 25-летию Красной Армии. Ташкент, 1943 г. — Архив автора.



В лаборатории Среднеазиатского индустриального института. Сидят слева направо: Л. М. Пиотровский, М. П. Костенко, П. К. Карцев (1943 г.)

электрических машин САИИ, он непосредственно участвовал в деятельности УзФАН СССР. Например, он вместе с М. А. Шателеном занимался организацией Института водохозяйственных проблем АН СССР и Энергетического института УзФАН, где сначала работал руководителем энергетического сектора, а с 1945 г. — заместителем директора.

Только за два года (1942—1943) под непосредственным руководством М. П. Костенко был проведен ряд комплексных научно-исследовательских работ в лаборатории электрических машин САИИ и в ЭНИН УзФАНа, в первую очередь — это наладка и исследование сложного оборудования мощной ртутно-выпрямительной установки Чирчикского электрохимкомбината и работы по повышению использования генераторного оборудования электростанций системы Узбекэнерго, питавших большое число промышленных предприятий.

На основании подробных исследований генераторов, произведенных по новым, разработанным Костенко методам, на ряде электростанций системы Узбекэнерго была установлена возможность заметного увеличения их реактивной мощности, в которой энергосистема ощущала не

менее острый дефицит, чем в активной мощности. В результате удалось разработать систему эксплуатационных характеристик генераторов, дающих значения тока и мощности для различных в условиях эксплуатации величин напряжений и температур охлаждающего воздуха при одних и тех же предельных допустимых температурах активных частей машины. Работа по выявлению даже самых небольших внутренних резервов машины и определению пределов ее возможностей стала важной вехой развития исследовательской программы школы М. П. Костенко, занявшейся впоследствии проблемами создания машин предельных мощностей.

Результаты исследований, проведенных под руководством Костенко, позволили повысить номинальную мощность генераторов некоторых электростанций на 20—30% и тем самым существенно облегчить условия работы энергосистемы [32]. Больше того, М. П. Костенко и работавший с ним проф. Л. Р. Нейман предложили конструктивно изменить вентиляционную систему машин. Благодаря этому удалось понизить температуру охлаждающего воздуха, еще больше повысить мощность.

Стараниями Костенко и членов его бригад к середине 1944 г. были обследованы не только практически все генераторы, но и значительная часть трансформаторов системы Узбекэнерго (в этой работе активно участвовал проф. Л. М. Пиотровский). Диспетчерская служба узбекских энергетиков наряду с точными данными о действующем оборудовании получила сведения и о возможностях дальнейшего повышения интенсивности его использования. Результаты исследований были зафиксированы в ряде отчетов по научно-исследовательским работам УзФАНа, САИИ и ЛПИ, переданных Узбекэнерго, электростанциям, Наркомату электростанций и заводу «Электросила».

В Ташкенте Костенко работал и над проблемой присоединения к шинам теплоэлектроцентрали Текстильного комбината, входившей в систему Узбекэнерго, мощных однофазных печей Карборундового завода, эвакуированного из района Днепрогэса. По мнению специалистов, такая однофазная нагрузка резко нарушала рекомендуемую инструкциями симметричную загрузку генератора по всем трем фазам и приводила к необходимости изучения допустимости несимметричных режимов.

Теоретические расчеты и проведенные по программе Костенко экспериментальные исследования доказали возможность такого присоединения. В результате Карборундовый завод был включен в сеть и безаварийно работает до настоящего времени.

Особо следует отметить большое теоретическое и экспериментальное исследование действия мощной установки ртутных выпрямителей в энергосистеме ограниченной мощности, произведенное М. П. Костенко совместно с Л. Р. Нейманом и Г. Н. Бладзевичем. Эти выпрямители давали значительное число обратных зажигания. Последнее осложняло эксплуатацию оборудования и питающей его энергосистемы. Работы велись на предприятии, где были установлены выпрямители, а также в электромашинной лаборатории САИИ. Именно в лабораторных условиях на специальной модели удалось впервые проанализировать ряд предельных режимов, которые на предприятии создать было не безопасно.

Всестороннее исследование электромагнитных процессов в системах с выпрямителями выявило влияние этих процессов на параметры системы. При этом были вскрыты серьезные ошибки, существовавшие до той поры в теории подобных процессов. Исследование М. П. Костенко и Л. Р. Неймана позволило создать методику анализа и расчета систем с выпрямителями⁷. Ряд рекомендаций, предложенных учеными, помогли предприятию наладить правильную эксплуатацию установки с мощными ртутными выпрямителями.

Результаты работ с установкой ртутных выпрямителей были опубликованы М. П. Костенко в совместной с Л. Р. Нейманом и Г. Н. Бладзевичем монографии «Электромагнитные процессы в системах с мощными выпрямительными установками» (1946 г.) и в их статье «Электромагнитные процессы в мощных выпрямителях и их связь с параметрами энергоснабжающей системы», напечатанной в журнале «Электричество» [35, 38]. Эти работы заложили прочную основу для широких исследований, проведенных М. П. Костенко в дальнейшем. Ведущее место среди них занимал анализ систем передачи электрической энергии постоянным током высокого напряжения на далекое расстояние.

⁷ Электричество, 1948, № 4, с. 62.

В Ташкенте начался важнейший в творчестве Костенко цикл исследований по электродинамическому моделированию энергосистем. Переход от изучения генератора к исследованию энергосистем, включающих и объединенные в станции генераторы, и соединяющие станции линии электропередач, наметился в деятельности М. П. Костенко уже давно. Анализируя динамику изменения параметров турбо- и гидрогенераторов в результате роста их мощности и интенсификации охлаждения, ученый заинтересовался влиянием параметров машин на работу системы в целом. В Ташкенте у Костенко появился и «удобный» объект наблюдения: Узбекэнерго оказалось сравнительно небольшой, «обозримой» энергосистемой, в которой было сравнительно несложно изучить взаимодействие ее элементов. В работе Костенко решил использовать метод моделирования, уже примененный им при изучении процессов с ртутными выпрямителями.

М. П. Костенко всегда проявлял особый интерес к моделированию, к физическим моделям, испытанию образцов. Несомненно, здесь большую роль играла и сама сложность объектов изучения, то обстоятельство, что их исследование распространяется одновременно на многие переменные. В то же время в увлечении Костенко проблемами моделирования значительную роль играло и его тесное общение с В. А. Толвинским, а также работа в ОБИСе. По воспоминаниям одного из учеников Толвинского, «Толвинский умел блестяще поставить эксперимент, не боялся каких-либо сбоев. Он, прежде чем начать испытания, все подготавливал и продумывал. Чуть ли не результаты готовил заранее, какими должны выйти. Если у него что-нибудь не готово в теоретической части, он не выходил на эксперимент. Моделирование Костенко началось еще в ОБИСе, на «Электросиле», когда там создавались и испытывались пробные головные машины. Он там и развился как блестящий экспериментатор. Он шел от эксперимента, от «живой машины» к обобщению, к теории»⁸.

Принципы электродинамического моделирования, сформулированные, теоретически и экспериментально обоснованные Костенко, открыли богатые возможности для постановки исследований-прогнозов по проектируемым

⁸ Научно-исследовательские интервью с представителями советской научной школы электромашиностроения.

энергосистемам, изучению статической и динамической устойчивости параллельной работы будущих электростанций и энергосистем и для решения многих других сложнейших вопросов «стратегического» планирования энергетики. Основным условием моделирования электрической станции и энергосистемы является точное соответствие их параметров параметрам их моделей, благодаря чему удастся воспроизвести все необходимые и возможные в будущей системе режимы работы. Однако если при этом моделирование индуктивных сопротивлений осуществляется относительно просто, то моделирование активных сопротивлений встречает большие затруднения и зачастую становится невозможным: требуется невыполнимо малое активное сопротивление обмотки.

Для решения этой сложной задачи моделирования Костенко разработал и предложил оригинальный способ компенсации активных сопротивлений обмоток статора и ротора машин-моделей с помощью подробно им уже исследованных трехфазных и однофазных коллекторных генераторов. Это позволяло моделировать должным образом все параметры, в том числе и активные сопротивления. По предложению ученого была собрана первая опытная электродинамическая модель, позволившая быстро решить конкретную задачу о присоединении к системе Узбекэнерго новой Фархадской ГЭС на р. Сырдарье и исследовать условия работы этой энергосистемы в случае ее предполагаемого расширения [34].

Исследования электромеханического оборудования системы Узбекэнерго, Чирчик-Ташкентской энергосистемы и составили основу большой научно-технической работы, выполненной Костенко по заданию Среднеазиатского отделения Гидроэнергопроекта. В результате в лаборатории была смоделирована Чирчик-Ташкентская энергосистема с подключенной к ней большой Фархадской гидроэлектростанцией, соединяемой с системой Узбекэнерго длинной линией электропередачи. На лабораторной установке-модели, состоявшей из 12 вращающихся агрегатов, удалось с весьма большой точностью воссоздать режимы работы новой энергосистемы с учетом не только двигательной нагрузки, но и мощного потребителя с ртутными выпрямителями. Костенко и сотрудники провели тщательное расчетное и экспериментально-осциллографическое исследование динамической устойчивости, как при полном развитии системы, так и в промежуточный пери-

од при наличии одноцепной линии. Благодаря их работе специалисты Узбекэнерго получили материалы, необходимые для проектирования и заказа оборудования для новой электростанции и связанной с ней линией передачи. Результаты исследования были приведены в отчетах по научно-исследовательской работе и статье М. П. Костенко «Моделирование электрических машин и трансформаторов при экспериментальном исследовании устойчивости параллельной работы электрических станций» [36].

В 1943 г. в Ташкент был перебазирован ЛПИ. М. П. Костенко возобновил в нем работу в качестве профессора, заведующего кафедрой электрических машин и декана электромеханического факультета. В должности декана он проработал до осени 1946 г.

За время пребывания в Ташкенте Костенко закончил и подготовил к печати общий курс электрических машин. Заметим, что до 1944 г. практически не существовало стабильного, всеобъемлющего учебника по электрическим машинам, в котором бы все типы машин рассматривались на единой методологической основе. Учебные пособия дореволюционных лет⁹ являлись по сути дела устаревшими «слепками» классических трудов немецких авторов. Учебники по машинам постоянного тока, изданные В. А. Толвинским с участием М. В. Латманизова¹⁰, учебник А. Я. Бергера по синхронным машинам¹¹, учебники Костенко по коллекторным машинам переменного тока [21], по турбогенераторам (совместно с А. Е. Алексеевым) [29], учебник Л. М. Пиотровского по трансформаторам¹² не рассматривали всего многообразия машин с единых позиций. Творчески переработав все достижения современной ему теории в области электрических машин, используя свой богатейший к тому времени научный, производственный и методический опыт, М. П. Костенко создал учебник, который до сегодняшнего дня служит базой построения всех курсов электрических машин, читающихся на кафедре электрических машин ЛПИ.

⁹ Усатый С. И. Электрические машины постоянного тока. СПб., 1910; Он же. Электрические машины переменного тока. СПб., 1913.

¹⁰ Толвинский В. А. Электрические машины постоянного тока. Л.: Кубуч, 1929.

¹¹ Бергер А. Я. Синхронные машины. М.: Гостехиздат, 1934.

¹² Пиотровский Л. М. Трансформаторы. М.: Гостехиздат, 1934.

Вместе с Костенко над этим уникальным учебным пособием работали А. В. Трамбицкий и Д. В. Ефремов. Последний совместно с Е. А. Палем участвовал в редактировании книги.

Костенко начал писать учебник еще до войны. Читатель, возможно, помнит, что, эвакуируясь, он взял с собой незаконченную рукопись. В Средней Азии Костенко упорно продолжал работу над учебником, и в 1943 г. рукопись (объемом 51 авторский лист) была готова и сдана в издательство, а в 1944 г. увидела свет и была рекомендована Всесоюзным комитетом по делам высшей школы при СНК СССР в качестве учебника для энергетических институтов.

В предисловии к книге Костенко писал: «Настоящий курс электрических машин является учебником, составленным на основе лекций, которые читались автором на электромеханическом факультете Ленинградского политехнического института. Данный учебник является первым концентром курса электрических машин и предназначен для использования на всех специальностях электромеханических и энергетических факультетов вузов. В общий курс вошли разделы, связанные с основными вопросами теории электрических машин, а именно: понятие о частях и конструктивных элементах основных типов электрических машин, основные типы обмоток, ЭДС, МДС и реакция якоря, диаграммы напряжений при симметричных нагрузках, совместная работа электрических машин, характеристики, физическая трактовка и основные положения теории переходных процессов при включении, коротком замыкании и колебаниях, потери и КПД, установившийся процесс нагревания и т. п.» [33, с. 5]. Из приведенного текста видно, насколько широк круг вопросов, рассматриваемых в учебнике. Однако этот перечень далеко не исчерпывает его содержания. Можно смело утверждать: в книге были изложены все, включая самые последние, разработки в области теории и практики электрических машин различных типов.

Архитектоника книги целиком отвечала ее назначению. В начале шла общая часть, представляющая собой краткий очерк развития электромашиностроения и описание различных проводниковых, изоляционных, магнитных и конструкционных материалов. Затем Костенко излагал теорию основных типов электрических машин. Но и здесь он придерживался определенной последователь-

ности: машины постоянного тока, трансформаторы, общие вопросы машин переменного тока, синхронные и асинхронные машины, коллекторные машины переменного тока, пускорегулирующая аппаратура. «Более специальные сложные вопросы теории электрических машин, — как указывал М. П. Костенко во введении к курсу, — описаны ко второму концентру, составляющему специальный курс электрических машин, который также подготовлен автором к печати» [33, с. 6].

В 1943 г. М. П. Костенко был награжден Почетной грамотой Верховного Совета УзССР «За выдающуюся деятельность в области развития Советской науки и плодотворную работу в области культурного и хозяйственного строительства, подготовки местных научных кадров во время пребывания института Академии наук СССР в Узбекистане». За год до этого Республиканский комитет Союза работников высшей школы и научных учреждений Узбекской ССР вручил ему почетную грамоту за работу по ртутным выпрямителям, а САИИ отметил грамотой его заслуги перед промышленностью. В 1944 г. Верховный Совет Узбекской ССР присвоил М. П. Костенко звание заслуженного деятеля науки и техники Узбекской ССР за выдающуюся деятельность в области развития энергетики, электропромышленности, развития ряда научных проблем по поднятию народного хозяйства Узбекистана¹³.

Глава седьмая

Творческое содружество кафедры, завода и института. Работы по восстановлению народного хозяйства страны. Учебники по курсу электрических машин

14 августа 1944 г. семья Костенко возвратилась в родной Ленинград. Вскоре Михаил Полиевктович вновь приступил к работе в ЛПИ. Война и блокада не пощадили старого расположенного в сосновом бору институтского

¹³ Сведения о правительственных наградах М. П. Костенко, о присвоении ему ученых и почетных званий здесь и далее приводятся по брошюре «Материалы к библиографии ученых СССР». М.—Л., Изд-во АН СССР, 1962, а также по данным статьи: И. А. Глебов, Я. Б. Данилевич «Жизнь и творчество академика М. П. Костенко». Вестник АН СССР, 1978, № 2.

здания: оно нуждалось в ремонте. Требовали восстановления учебные и научные дела института. Костенко предстояло наладить деятельность кафедры электрических машин и обеспечить подготовку будущих инженеров. Оставаясь деканом электромеханического факультета, он должен был в короткий срок организовать нормальный учебный процесс.

Костенко отдает работе в институте все время и силы. Он быстро разворачивает на кафедре цикл научных исследований, отвечающих задачам фронта и тыла.

9 мая 1945 г. советский народ радостно отметил победу над немецким фашизмом. Наступил мир. Наступила и пора ликвидации тяжелых последствий войны. В марте 1946 г. сессия Верховного Совета СССР приняла закон о четвертом пятилетнем плане восстановления и дальнейшего развития народного хозяйства СССР на 1946—1950 гг. Основные задачи его состояли в том, чтобы «восстановить пострадавшие районы страны, восстановить довоенный уровень промышленности и сельского хозяйства и затем превзойти этот уровень в значительных размерах». В послевоенном пятилетнем плане, в частности, указывалось, что в Ленинграде особое внимание будет уделено судостроению и квалифицированному машиностроению¹.

По возвращении из эвакуации и вплоть до 1946 г. Костенко одновременно с работой в ЛПИ является консультантом завода «Электросила». Кроме того, он возглавляет лабораторию электромеханики Ленинградской группы отдела общей энергетики Энергетического института им. Г. М. Кржижановского АН СССР, руководит работами ее членов, связанными с исследованием режимов дальних линий электропередач постоянного тока высокого напряжения, и консультирует в Научно-исследовательском институте постоянного тока Министерства строительства электростанций СССР.

Многосторонняя деятельность М. П. Костенко в те годы нашла свое отражение и в выборе направлений научно-исследовательской работы кафедры электрических машин. С целью уточнения методики расчета и проектирования мощных гидрогенераторов и получения новых данных для разработки рациональной системы вентиляции гидрогенераторов зонтичного типа группа сотрудни-

¹ Директивы КПСС и Советского правительства по хозяйственным вопросам. М.: Политгиздат, 1958, т. 3, с. 53.

ков кафедры под руководством Костенко провела серию тепловых и вентиляционных исследований уникальных для своего времени гидрогенераторов, установленных на Угличской и Щербаковской ГЭС. Испытания позволили собрать большой фактический материал для завода «Электросила» и службы эксплуатации Мосэнерго и сформулировать ценные рекомендации по улучшению вентиляции мощных гидрогенераторов зонтичного типа. В частности, последнее испытание этой серии (летом 1952 г. на одной из гидроэлектростанций системы Ленэнерго) проводилось по прямому заданию руководителей «Электросилы». Главной целью его явилось получение технического материала для расчета и проектирования мощных гидрогенераторов, изготавливаемых заводом для Куйбышевской и Волжской (Сталинградской) ГЭС.

Большое развитие в то время получают начатые Костенко в Ташкенте исследования по электродинамическому моделированию энергосистем. Для решения ряда вопросов, связанных с проектированием и изучением статической и динамической устойчивости работы электрических станций в энергосистемах возникла необходимость создания такого инструмента исследования, который позволил бы воспроизводить явления, возникающие в системах, и анализировать их. Сложность и многофакторность задачи сделали крайне затруднительным аналитический расчет таких систем. В качестве альтернативного решения Костенко предложил создать лабораторию электродинамического моделирования энергосистем, состоящую из большего или меньшего числа машин-моделей с переменными параметрами и ряда дополнительных элементов, моделирующих линии передач, различного рода потребителей и т. п. Прототип такой модели был, как уже отмечалось, выполнен Костенко еще в Ташкенте.

В 1946 г. под руководством М. П. Костенко был выполнен проект лаборатории электродинамического моделирования для Энергетического института АН УзССР. Проект содержал расчет специально подобранных машин-моделей (трех явнополюсных и одной неявнополюсной синхронных машин), дающих возможность моделировать энергетические системы, включающие тепловые и гидроэлектрические станции². Для всех синхронных ге-

² Турбогенераторы обычно выполняются в неявнополюсном исполнении, а гидрогенераторы — в явнополюсном.

нераторов были рассчитаны и спроектированы трехфазные и однофазные коллекторные генераторы, компенсирующие активные сопротивления в цепях статора и ротора. Таким образом предусматривалась возможность моделирования энергосистем с широким диапазоном изменения параметров. В этих и последующих работах принимали участие М. В. Латманизов, Е. Д. Несговорова, А. И. Важнов, В. В. Прусс-Жуковский, В. В. Фетисов, Н. Я. Самойлович и А. Р. Дембо.

Следующим этапом в исследованиях этого направления была разработка в 1947 г. проекта лаборатории электродинамического моделирования для Центральной научно-исследовательской электротехнической лаборатории Министерства электростанций СССР. Эта лаборатория по своим масштабам далеко превосходила предыдущий проект и состояла уже из десяти синхронных генераторов (четыре явнопольсных, четыре неявнопольсных и двух — быстроходных с массивными роторами). Для этих машин также предусматривались коллекторные компенсаторы активного сопротивления и специальные возбуждающие агрегаты. В такой лаборатории можно было моделировать наиболее мощные и разветвленные энергосистемы. Оба проекта были разработаны таким образом, что все машины-модели выполнялись на базе нормальных машин, выпускаемых отечественными энергомашиностроительными заводами, или с сохранением их основных конструктивных узлов. Это позволило относительно легко построить такие машины на заводах [40].

В 1949 г. кафедре электрических машин было поручено изготовление и исследование комплекта специальных машин-моделей для проектируемой лаборатории электродинамического моделирования Энергетического института АН УзССР. В 1951 г. работа была закончена и таким образом идеи М. П. Костенко в области создания крупной электродинамической модели были впервые превращены в реальные формы.

Продолжая работы в области исследования и применения коллекторных машин, Костенко решает в это время ряд крупных задач, имеющих большое народнохозяйственное значение. В 1945 г. был поставлен вопрос о создании регулируемого привода большой мощности для аэродинамических труб. С этой целью под руководством Костенко на кафедре электрических машин ЛПИ проводились исследования модели асинхронно-синхронного кас-

када. Эти исследования позволили установить технико-экономические параметры каскада большой мощности.

Одновременно с этим, проанализировав недостатки асинхронно-синхронного каскада, Костенко сформулировал принципы построения каскада с коллекторной машиной в качестве звена, преобразующего энергию скольжения. На этой основе в 1946—1947 гг. он организовал исследования каскада с коллекторной машиной. В результате были установлены значительные преимущества подобного привода как в техническом, так и в экономическом отношениях [42].

В 1947 г. на базе трехфазного коллекторного генератора Костенко разработал новый вид генератора переменного тока для сельских ветровых и гидроэлектрических станций, дающий постоянные частоту и напряжение при изменяющейся в широком диапазоне скорости вращения. Как видно, эта задача обратна той, которую ученый поставил при создании генератора переменной частоты постоянной скорости вращения. Применение новых генераторов упрощало регулирование привода и решало сложную задачу параллельной работы маломощных сельских электрических станций.

Экспериментальные исследования генератора были проведены на кафедре. О результатах М. П. Костенко доложил в 1947 г. на Общем собрании Отделения технических наук АН СССР. В докладе «Коллекторный компенсированный генератор с регулированием частоты, независимым от скорости вращения» он дал систематическое изложение работ по коллекторному генератору. В 1948 г. материалы доклада были опубликованы в журнале «Электричество».

Работы М. П. Костенко по коллекторному генератору переменного тока (альтернатору) с регулированием частоты, независимым от скорости вращения, завершает его цикл исследований по коллекторным машинам. Напомним, что первые опыты в этом направлении М. П. Костенко и Н. С. Япольский провели еще в 1916 г., но патент (№ 599) на эту машину был ими заявлен лишь в 1921 г. [2]. В этом же году в Германии Козичек изготовил генератор подобного типа с питанием со стороны ротора, однако публикация этого изобретения состоялась лишь в 1924 г.³

³ ETZ, 1924, № 47, с. 1267.

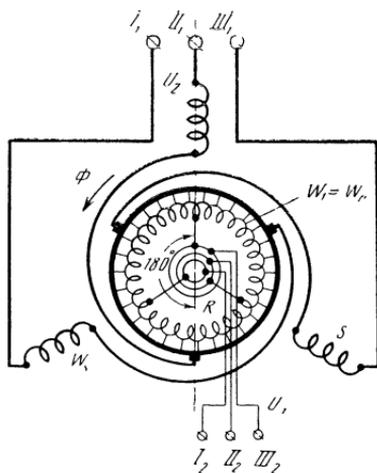
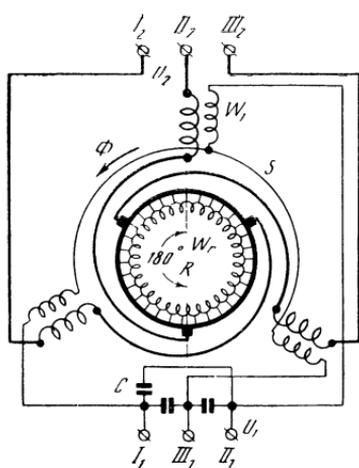


Схема трехфазного компенсированного коллекторного генератора с независимым возбуждением со статора

Схема трехфазного коллекторного генератора с возбуждением со стороны ротора

Рассмотрим основные положения работы Костенко, напечатанной в журнале «Электричество» и посвященной коллекторным генераторам.

Коллекторный генератор, подчеркивает Костенко, является индукционной машиной, включающей статор, ротор и коллектор. Главная цепь коллекторного генератора состоит из компенсирующей обмотки, соединенной последовательно посредством щеток и коллектора с обмоткой якоря. Система возбуждения коллекторного генератора питается от цепи переменного тока, доставляющей намагничивающий ток и определяющей частоту его главной цепи. Коллекторный генератор может возбуждаться как от статора, так и от ротора. При возбуждении со статора на нем помещаются две независимые обмотки: первичная возбуждающая обмотка W_1 и компенсирующая обмотка, соединенная через соответствующие щетки, наложенные на коллектор, с вторичной обмоткой W_r на роторе, обмотанном как якорь машины постоянного тока. Возбуждающая обмотка может быть независимой от компенсирующей, соединенной звездой или треугольником, или присоединяться одними своими концами к выводным концам компенсирующей обмотки. Возбуждаемый стато-

ром коллекторный генератор может выполняться не только многофазным, но и однофазным. Частота возбуждения f_1 (при возбуждении со статора) равна частоте главной цепи f_2 .

В случае роторного включения обычно используют его главную обмотку, соединяя с ней контактные кольца, к которым и подводится напряжение от системы возбуждения. Частота возбуждения f_2 в этом случае будет равна частоте потока ротора $f_2 \pm f_1$. Здесь f_2 представляет механическую частоту вращения ротора $f_2 = pn$, где p — число пар полюсов (потенциальных волн), а n — число оборотов ротора в секунду.

Статья Костенко как бы суммирует достижения ученого в области коллекторных машин. Он детально рассматривает новые типы таких генераторов, их экспериментальные характеристики и возможные области применения. При этом ученый указывает, что коллекторный явнополюсный генератор Шербиуса использовался в качестве регулирующей машины в каскадных установках для регулирования скорости крупных асинхронных двигателей и в агрегатах связи сетей различных частот, а также как шунтовый и последовательный фазовый компенсатор, служащий для компенсации $\cos \varphi$ больших асинхронных двигателей и возбуждения асинхронных компенсаторов. Машины Шербиуса в выполненных установках достигали наибольшей мощности 1000 кВА при 375 об./мин и числе полюсов $3p = 21$ (около 150 кВА на потенциальную волну).

Коллекторный генератор с шестью явно выраженными полюсами на потенциальную волну строился для тех же целей. Наибольшая мощность этой машины в установке для связи сетей двух частот достигала в то время 375 кВА при 300 об./мин (37,5 кВА на пару полюсов).

Неявнополюсные коллекторные генераторы с возбуждением на статоре применялись в качестве возбудителей для асинхронных компенсаторов и в роли шунтовых фазовых компенсаторов для улучшения $\cos \varphi$ больших асинхронных двигателей. М. П. Костенко и Н. Япольский разработали идею использования неявнополюсного коллекторного генератора для питания переменной частотой асинхронных двигателей [5].

Далее в статье Костенко рассматриваются возможности работы коллекторных машин в каскадных агрегатах. Как известно, в каскадах большой мощности регулиро-

вать частоту вращения по схеме Шербиуса удается весьма ограниченно ($\pm 25\%$ от n_c); при этом возрастают (до недопустимых пределов) габаритная мощность коллекторной машины и напряжение на ее зажимах. В этой связи Костенко предлагает использовать схему модифицированного каскада Шербиуса, включив между ней и кольцами главного двигателя потенциал-регулятор специального типа, позволяющий регулировать напряжение от нуля до необходимого максимума без изменения фазы вторичного напряжения.

Костенко подчеркивает, что скорости двигателя переменного тока можно регулировать изменением частоты. Последнее достигается в случае питания двигателя от коллекторного генератора переменной частоты при постоянной скорости вращения [5].

Новый каскад, предложенный Костенко, позволял производить реверс и управление двигателем переменного тока (асинхронным или синхронным) из цепи возбуждения коллекторного генератора. Это давало возможность использовать его в качестве, например, генераторного напряжения для электрического молота, построенного по принципу трехфазного асинхронного двигателя, боек которого представлял короткозамкнутую систему типа «белочья клетка». Поскольку в данном случае боек двигался лишь с небольшим скольжением относительно поля статора, КПД электрического молота оказывался гораздо выше КПД молота парового.

Подробно разбирает Костенко и задачу получения постоянных частот и напряжения в генераторах, работающих с переменной скоростью вращения. Как известно, такая задача связана с «малой электрификацией», базирующейся на использовании не слишком мощных и весьма непостоянных потоков воды или воздуха в небольших гидростанциях, ветросиловых установках и т. п. Большим (если не основным) препятствием к внедрению подобных установок всегда являлась обязательная зависимость частоты и напряжения большинства генераторов от их частоты вращения.

Костенко предлагает весьма сложную, но остроумную схему коллекторного генератора постоянной частоты с переменной частотой вращения. Оказывается, для того чтобы при значительном диапазоне изменения частоты вращения коллекторного генератора напряжение на его зажимах оставалось постоянным, необходимо, чтобы про-

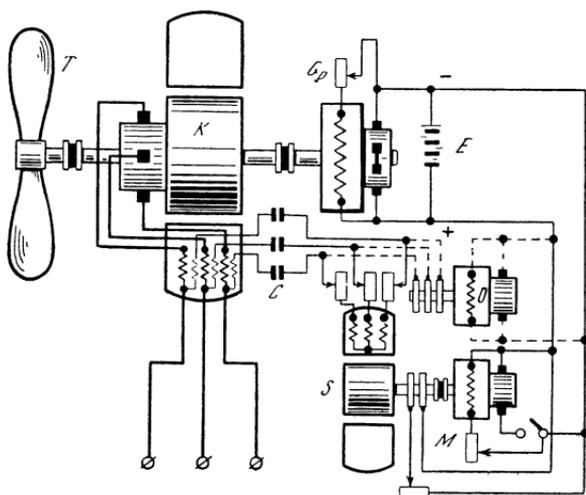


Схема коллекторного генератора постоянной частоты с переменной частотой вращения

изведение его потока Φ на частоту вращения n , пропорциональное ЭДС генератора E_2 оставалось постоянным: поток коллекторного генератора изменялся по гиперболической зависимости обратно пропорционально частоте вращения, т. е. $\Phi \approx \frac{\text{const}}{n}$. Весьма существенно, чтобы указанное условие изменения потока Φ осуществлялось в основном автоматически, а обслуживающий персонал занимался лишь некоторой дополнительной подрегулировкой напряжения на зажимах генератора соответственно значению его средней нагрузки. На рис. представлена одна из схем, удовлетворяющая описанным требованиям. Как видим, коллекторный генератор K вращается с переменной частотой при помощи механического двигателя T без устройств, регулирующих его скорость, а возбуждательная система коллекторного генератора питается от источника постоянной частоты, например, от синхронного возбудителя S , от однофазного преобразователя O или от генератора постоянного тока с вращающимися щетками. Синхронный возбудитель S может вращаться с постоянной частотой двигателем постоянного тока M , получающего питание от сети постоянного тока с неизменным напряжением. В свою очередь, такой ток нетрудно получить, например, от генератора Розенберга G_p (он

применяется в системе освещения поездов), посаженного на один вал с коллекторным генератором K . Генератор Розенберга дает весьма устойчивое напряжение, которое еще более стабилизируется посредством параллельно подключенной к его зажимам аккумуляторной батареи E .

Если в схеме под влиянием нагрузки изменится частота вращения коллекторного генератора K , то при постоянной частоте и напряжении на зажимах возбуждения $f_1 = \text{const}$ и $U_1 = \text{const}$ его поток примет вид $\Phi \equiv \equiv L = \varphi(f_1)$, характерный для новой кривой резонанса напряжений. Максимальное значение тока возбуждения I_{max} и соответственно потока, Φ_{max} коллекторного генератора (при отсутствии емкости в цепи возбуждения) будет приблизительно отвечать условию

$$f_r = \frac{W_1 K_1}{W_p K_2} f_1.$$

М. П. Костенко предложил даже схему, позволяющую осуществить параллельную работу (!) коллекторных генераторов, вращающихся с различными скоростями.

В заключении статьи он приводит данные экспериментального исследования коллекторных машин, подтверждающие правильность его теоретических обоснований.

Эта своего рода этапная в творчестве М. П. Костенко статья суммировала его основные научно-технические достижения в изучении коллекторных машин. Однако работа ученого в этой области продолжалась. Большое значение в то время имели его разработки коллекторного двигателя переменного тока промышленной частоты для магистральных электрифицированных железных дорог. Еще в 1939 г. он исследовал коллекторный тяговый двигатель, сконструированный О. В. Бенедиктом. Теперь же Костенко создает по существу новую конструкцию этого двигателя. В 1950 г. опытный образец двигателя Бенедикта—Костенко был изготовлен на заводе «Электросила».

В 1948 г. М. П. Костенко (при участии А. Г. Иосифьяна) создает новый тип многокаскадного электромашиного усилителя. В основу разработки был положен компенсированный коллекторный генератор. В 1949 г. за работы в области специальных машин и их внедрение в производство М. П. Костенко был удостоен Государственной премии.

Статья 1948 г. по коллекторным машинам знаменует поворот М. П. Костенко от этой чисто электромашинной тематики к проблемам более общим, интерес к которым у него возник еще перед войной и особенно в Ташкенте. Модельные агрегаты электромашинной лаборатории уже тогда представлялись ему мощными электрическими генераторами и станциями, а небольшой ртутный выпрямитель служил символом передачи постоянным током. Костенко привлекает еще одна область практического применения электрических машин — в качестве элемента моделей новых строящихся сверхмощных электростанций и энергосистем.

Уже с 1946 г. он начинает широкие исследования электромагнитных процессов в системе передачи электрической энергии постоянным током высокого напряжения. На кафедре электрических машин ставится в это время ряд научно-исследовательских работ по анализу процессов в выпрямительных и инверторных установках. При этом и дипломные проекты студентов посвящаются в основном условиям работы в таких системах электромеханического оборудования. Комплексный охват темы позволяет Костенко сделать широкие обобщения по ее разработке и дать ценные рекомендации специалистам по энергосистемам Научно-исследовательского института постоянного тока (М. П. Костенко с 1946 г. являлся его постоянным консультантом).

Все, знавшие М. П. Костенко, вспоминают, что вопросы научной этики и чести ученого стояли у него на первом плане. Это, в частности, обнаруживалось в таком важном моменте коллективного творчества в науке, как соавторство. Анализируя труды, написанные М. П. Костенко, убеждаешься, что не было ни одного случая, чтобы чей-то труд не был им отмечен в совместном авторстве или в соответствующей литературной ссылке. Можно даже привести примеры таких «совместных» по обозначенным авторам статей, в которых М. П. Костенко играл более чем определяющую роль, — иногда он это делал, например, для поддержки молодых ученых, аспирантов, для того, чтобы снять у них неизбежный страх перед публикацией, приучить их к тому, чтобы каждый достойный результат мог служить для использования другими исследователями.

На кафедре после войны не хватало преподавателей. В боях против фашистских захватчиков погибли доценты

В. И. Иванов, Г. П. Александров, ассистенты И. Т. Юрухин, И. В. Васильев, в осажденном Ленинграде безвременно скончались профессор А. Н. Трамбицкий и С. М. Гохберг; многие сотрудники еще не вернулись из других городов. В первое время на кафедре работало всего два профессора — М. П. Костенко и Л. М. Пиотровский, три доцента — Г. Б. Меркин, Е. А. Паль и И. М. Постников и ассистент Г. Р. Лулов. Встала задача пополнения кафедры преподавателями, окончившими ее аспирантуру. В марте 1946 г. в родной коллектив вернулся из армии М. В. Латманов; в 1947 г., защитив под руководством Костенко кандидатскую диссертацию, на кафедру пришла Е. Д. Несговорова; затем кандидатами наук стали Г. Р. Лулов, В. В. Фетисов, С. Б. Васютинский. Все они вели самостоятельные научные работы.

С 1950 г. на кафедре по инициативе Л. М. Пиотровского и М. П. Костенко была начата разработка нового направления в электромашиностроении — исследование микромашин для систем автоматики и телемеханики. В связи с этим Е. Д. Несговорова организовала лабораторию микромашин и впервые стала читать курс «Электрические микромашины» для инженеров и техников специального ОКБ. Научное руководство лабораторией осуществлял доцент П. Ю. Каасик, позднее — профессор, доктор технических наук, специалист в области электромашин специального назначения. Кафедра начала готовить инженеров по новой специальности.

О том, как разворачивались на кафедре работы по исследованию электрических микродвигателей и подготовке специалистов в этой области техники, рассказывает Е. Д. Несговорова:

«Введение механизации и автоматизации производственных процессов, создание новых специальных областей техники (ракетной, атомной и др.) привело в 50—60-х годах к бурному развитию специальных электрических машин малой мощности от долей до сотен ватт, которые условно стали называть микромашинами.

На кафедру электрических машин Ленинградского политехнического института, одного из ведущих институтов страны, стали часто обращаться представители разных предприятий с просьбой проконсультировать их по вопросам, связанным с эксплуатацией различных типов специальных электрических микромашин, автоматических и приборных устройств. Конструкторов и проектировщиков интересовали вопросы повышения устойчивости работы синхронного микродвигателя, снижения уровня

шума, что было особенно важно, например, для медицинской аппаратуры при создании искусственного сердца. Однажды конструкторы обратились на кафедру по вопросу улучшения коммутации микродвигателя постоянного тока, якорь которого вращался в подшипниках из драгоценных камней, как в часах, а коллектор диаметром 10—12 мм был выполнен из золота. Тем не менее процесс коммутации в машине проходил неудовлетворительно.

Не перечить всех самых разнообразных вопросов по специальным электрическим микромашинам, с которыми обращались к М. П. Костенко. Поразительнее всего то, что методы анализа, использовавшиеся на кафедре, не привязанные к конкретным видам и типам машин, довольно легко позволяли исследовать и эти необходимые для кафедры объекты. М. П. Костенко, осознавая это и понимая, что без микромашин развитие автоматизации во многих областях техники, а следовательно, и в энергетических системах, не обойдется, решил, что кафедра электрических машин должна принять активное участие в работах по микромашинам. Как-то в 1951 г. М. П. Костенко вызвал меня в кабинет и сказал: «Елена Дмитриевна, прошу Вас заняться микромашинами. Это нужно и интересно. Мы посоветовались с Людвигом Мариановичем (Пиотровским) и решили, что Вы начнете, а потом создадим группу, организуем специальную лабораторию». Сначала я почти год систематически бывала на специальном предприятии и изучала разные типы микромашин, руководила дипломным проектированием по этой тематике, ставила лабораторные работы для студентов. Уже примерно с 1953 г. при моем деятельном участии начала постепенно создаваться лаборатория микроэлектрических машин, а с 1957 г. стали выполняться и научно-исследовательские работы по договорам с рядом специальных предприятий, занимающихся проектированием, разработкой и изготовлением микромашин. Наконец, в учебный план специальности был включен спецкурс «Электрические микромашины автоматических устройств»... Группа преподавателей кафедры постоянно разрабатывала вопросы теории и проектирования специальных микромашин. Каждый год примерно 20% тем дипломных проектов были по микромашинам. Окончившие эту специализацию студенты направлялись на работу в различные предприятия, занимающиеся микромашинами.

За прошедшее время защищено несколько кандидатских диссертаций, а в последние годы — одна докторская (П. Ю. Каасиком). Один из первых дипломантов по микромашинам Р. Н. Ковалев в настоящее время является директором крупнейшего научно-исследовательского института специальных электрических машин — НИИСЭМ, в который он пришел после защиты дипломного проекта. В этом институте плодотворно трудятся большое количество выпускников кафедры электрических машин. Школа, созданная М. П. Костенко, дала ведущих специалистов в различных отраслях электромашиностроения, в том числе и в новой быстро и широко развивающейся отрасли электромикромашиностроения»⁴.

⁴ *Несговорова Е. Д.* Воспоминания. — Архив автора. Рукопись.

В 1949 г. вышла в свет монография М. П. Костенко «Электрические машины. Специальная часть» [39], освещающая сложные вопросы теории электрических машин. Костенко обобщил в книге не только результаты своих многочисленных работ в этой области, но и весь громадный опыт советских и зарубежных теоретиков-электромашиностроителей. Большой круг рассматриваемых вопросов (типы электрических машин, специальные типы обмоток, теория переходных процессов при коротких замыканиях, перенапряжениях и колебаниях, несимметричные нагрузочные режимы, общая теория круговых диаграмм на базе рассмотрения «всеобщего трансформатора» и многие другие), полнота и глубина их изложения дают основание считать эту книгу уникальным вкладом в советскую и мировую науку. В монографии весьма рельефно и полно показана роль отечественных ученых в развитии теории электрических машин и в создании новых типов машин. Следует отметить, что до выхода книги в технической литературе отсутствовали работы, посвященные столь глубокому изложению теории электрических машин. Издание монографии являлось выдающимся событием в жизни электротехнической общественности страны, свидетельствующим о высоком уровне советских исследований в области электромашиностроения. Книга Костенко стала ценнейшим пособием для ученых, инженерно-технических работников, специалистов промышленности, занятых решением вопросов расчета, проектирования и применения электрических машин.

На первый взгляд может показаться странным, почему во время войны и в период послевоенного восстановления народного хозяйства страны, когда, казалось бы, главными должны являться практические вопросы, М. П. Костенко обратился к столь глубоким теоретическим изысканиям. Ученый видел в этом глубокий смысл. По свидетельству очевидца событий тех лет, «Костенко вкладывал в свою книгу материал, мало похожий и на учебный (в общем смысле слова), и на теоретический, годный к немедленному практическому использованию. Он поднял в „Спецкурсе“ вопросы, над которыми мы, инженеры, в то время даже и не задумывались. Возьмем, например, вопрос о так называемых добавочных потерях в электрических машинах. Многие называли „Спецкурс“ „учебником для профессоров“, настолько он был непривычно построен для обычного вузовского учебника. Но

Михаил Полиевктович, как выяснилось позднее, смотрел далеко вперед. Прошло несколько лет, и инженеры увидели, что рассчитанные по формулярам потери в машине меньше потерь, замеренных в эксперименте. А машины соответственно „горячее“, чем по расчету. Дело оказалось в тех „мелких“, „второстепенных“ эффектах, которые во-время подметил Михаил Полиевктович. Шло время, и оказалось, что без расчета этих добавочных потерь полный расчет машины не имеет смысла, а сами эти „добавочные“ потери порой становились по величине больше основных. Сейчас практически все расчеты машин построены на учете тех „тонких“, „малых“ явлений, которые в свое время подметил М. П. Костенко. Постановкой этих теоретических вопросов он вывел расчетное электромашиностроение наших заводов сразу на несколько шагов вперед. Недаром говорят, что нет ничего практичнее хорошей теории»⁵.

Это мнение целиком разделяет и заместитель директора НИИ ЛПЭО «Электросила» В. П. Анемподистов, считая, что в монографии Костенко «отражены лишь очень специальные и сложные вопросы теории. Назначение книги далеко не ограничивалось ее использованием в вузах, так как она с момента своего выхода в свет завоевала широкую популярность и активно использовалась в качестве руководства инженерами-исследователями, проектировщиками, конструкторами, энергетиками и учеными, работающими в области электрических машин. Трудно количественно оценить тот вклад в развитие советского электромашиностроения, который внес Михаил Полиевктович, создав свой учебник по электрическим машинам. Можно сказать лишь, что вклад этот весьма велик.

В послевоенные годы темпы развития электротехники и в особенности развития электромашиностроения, как известно, были довольно высоки. Такой прогресс в области электромашиностроения стал возможен благодаря большой научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе, которая проводилась широким кругом ученых и инженеров, среди которых Михаил Полиевктович по праву занимал ведущее место. Одновременно совершенствовался процесс обучения студентов, процесс

⁵ Научковедческие интервью с представителями советской научной школы электромашиностроения. Магнитофонные записи и стенограммы. — Архив ИИЕ и Т АН СССР.

подготовки инженеров. В научно-технической литературе этих лет было опубликовано большое количество работ. Они вошли в „Спецкурс“ и составили новую ступень в развитии теории и практики электромашиностроения»⁶

В 1951 г. М. П. Костенко за монографию «Электрические машины. Специальная часть» был удостоен Государственной премии⁷.

Опубликованные в марте 1951 г. сообщения Государственного планового комитета СССР и Центрального статистического управления СССР по выполнению четвертого послевоенного пятилетнего плана СССР 1946—1950 гг. показали, что советский народ не только с честью справился с поставленными трудными задачами восстановления народного хозяйства страны, но и далеко перевыполнил по всем направлениям первоначальные наметки этого плана. За этот период были полностью восстановлены и все разрушенные электростанции, причем ряд электростанций — Днепроовская, Нивская и др., — построены на большую мощность, на новой технической базе, с более совершенными машинами. Начались работы по созданию целого ряда мощных гидроэлектростанций: на Волге, Каме, Иртыше и других реках. Строительство крупных энергообъектов поставило перед советскими инженерами и учеными сложнейшие научно-технические задачи. Необходимо было не только найти совершенно новые пути их решения, но и реализовать их в весьма короткие сроки.

В то время в Швеции сооружалась дальняя линия электропередачи. По замыслу шведских энергостроителей, одна цепь линии (при расстоянии между мощными опорными станциями — 450 км) должна была передавать 300 000 кВт. Эти показатели проектировщики Куйбышевской ГЭС увеличили в четыре раза. В связи с этим М. П. Костенко считал, что практически осуществить Куйбышевскую передачу будет намного сложнее, чем в шведском варианте, являвшемся тогда рекордным для зарубежной энергетики. Вместе с тем зарубежные электростанции обычно работали при высоких напорах воды (от 60 до 100 м), а на волжских новостройках приходилось иметь дело с малыми напорами (порядка 25 м). Последнее сильно увеличивало расход воды, проходящей через

⁶ Там же.

⁷ Вестник АН СССР, 1951, № 5, с. 49.

гидротехнические сооружения, которые приходилось в результате делать более массивными. Соответственно возрастали габариты и рабочих машин гидроэлектростанций — гидротурбины и гидрогенераторы, а значит, и трудоемкость их изготовления. Большие сложности возникли и в осуществлении Куйбышевской и Волжской (Сталинградской) сверхдальних передач. В первую очередь эти сложности были связаны с постройкой мощных выключателей тока на сверхвысокие напряжения 380—400 кВ и созданием надежной системы возбуждения и регулирования гидрогенераторов. Все эти проблемы можно было разрешить лишь благодаря тесному содружеству работников промышленности, высших учебных заведений и научных учреждений.

В тот исторический период ленинградские ученые, инженеры и рабочие, выполнявшие сложные заказы по разработке, созданию и поставке ответственного оборудования для новостроек-электростанций, вписали новую героическую страницу в историю взаимодействия науки и техники. А задачи перед ленинградской наукой и промышленностью стояли немалые. Так, Ленинградский металлический завод должен был поставлять гигантские гидротурбины, завод «Электросила» им. С. М. Кирова — сверхмощные гидрогенераторы со всеми устройствами их регулирования и защиты, с мощностью порядка 100 000 кВт, завод «Электроаппарат» — мощные выключатели сверхвысокого напряжения, завод «Пролетарий» — высоковольтные изоляторы и т. д. Специалистам лабораторий вузов и академических институтов предстояло решить сложнейшие проблемы грозозащиты, регулирования и управления, связанные с созданием сверхдальних линий передачи и опробованием разработанных аппаратов сначала на моделях линий передачи и машинного оборудования, а затем и в реальных условиях.

В ответ на решения партии и правительства о крупных энергетических стройках на Волге, Днепре, Дону, а также в Средней Азии М. П. Костенко еще шире развертывает на кафедре работы, направленные на выполнение практических нужд отечественной энергетики. Он привлекает к ним преподавателей, аспирантов и студентов. Именно в этот период на кафедре проводится ряд исследований по проблемам, связанным с крупнейшими энергостройками нашей страны. Все дипломные работы студентов специальности «Электрические машины» в те

годы выполнялись на темы, предложенные заводами, или связанные с нуждами новостроек. Среди дипломных проектов возрастает процент экспериментальных исследований, конкретных конструктивных разработок, работ, затрагивающих вопросы экономики. Все это имело громадное значение в формировании инженеров-электромашинистов 50-х годов.

Одновременно М. П. Костенко организует широкую консультативную помощь работникам промышленности. Большое число предприятий все чаще обращается на кафедру за советом, разрешением сложных и спорных вопросов. Сотрудники кафедры консультируют представителей различных заводов и проектных организаций, проводят по их просьбам экспертизы, а также исследуют опытные промышленные образцы в лаборатории электрических машин.

М. П. Костенко не порывает связей с «Электросилой». Являясь вместе с А. Е. Алексеевым и Д. А. Завалишиным активным членом заводского научно-технического совета, он участвует в разработке условий проектирования и утверждении технических проектов таких машин, как турбогенератор (мощностью 150 000 кВт), гидрогенераторы для Куйбышевской и Волжской (Сталинградской) ГЭС, в выборе системы возбуждения мощных гидрогенераторов и в других заводских мероприятиях, связанных с работами по обеспечению энергостроек. Большую работу Костенко ведет и как член Научного совета Научно-исследовательского института постоянного тока.

Шагая в первых рядах движения за крепкую творческую связь науки с производством, коллективы 59 кафедр ЛПИ только в 1949 г. заключили 85 договоров о социалистическом содружестве с промышленными предприятиями города. В частности, в проекте «Договора о творческом содружестве между заводом «Электросила» им. С. М. Кирова и Ленинградским политехническим институтом им. М. И. Калинина» было зафиксировано:

«Кафедра электрических машин, кроме участия представителей ЛПИ в работах технического совета завода „Электросила“ и научно-технических конференций завода, выполнения тем дипломных проектов и диссертационных работ по вопросам, актуальным для завода „Электросила“, проводит ряд консультационных, научно-расчетных и экспериментальных работ по исследованию

электрических машин и аппаратов, входящих в номенклатуру производства завода. На ближайший период времени кафедрой начаты исследования по разработке основных положений для проектирования новой серии машин постоянного тока массового производства, по разработке основных положений для выполнения электромашинных усилителей повышенной мощности, по разработке агрегатов переменной частоты при постоянной скорости вращения для приводов ролгангов и ряд других работ. Лаборатория электромашиной аппаратуры кафедры электрических машин ЛПИ выполняет для завода „Электросила“ весьма важное исследование, связанное с применением теплостойких сортов изоляции в намагничивающих катушках контакторов постоянного тока, что должно дать возможность уменьшить их габариты и снизить расход материалов при оптимальных превышениях температуры и рациональной форме магнитопроводов.

В свою очередь, завод «Электросила» оказывает помощь ЛПИ по выполнению образцов электрических машин и аппаратов новой техники, разрабатываемых ЛПИ. В настоящее время завод заканчивает производство мощных однофазных коллекторных двигателей промышленной частоты для электровоза, разработанного по новой системе кафедрами электрических машин и электрической тяги ЛПИ, ряда коллекторных машин постоянного и трехфазного токов для лаборатории электродинамического моделирования энергосистем и дальних передач по оригинальной системе, предложенной и разработанной кафедрой электрических машин ЛПИ для Энергетического института Узбекской ССР и ряд других работ.

Завод „Электросила“ оказывает, кроме того, кафедре электрических машин ЛПИ помощь предоставлением чертежей, расчетных данных и образцов электрических машин и аппаратов и их деталей в качестве экспонатов и пособий для проектирования и других учебных занятий.

Достижения завода „Электросила“ позволяют ему решать весьма сложные технические задачи по выполнению плана послевоенной пятилетки. Вместе с тем, однако, новые, еще более ответственные задачи, стоящие перед заводом „Электросила“, настоятельно требуют применения современных знаний в области науки и инженерного искусства. Хотя в настоящее время отечественное электромашиностроение стоит уже на весьма высокой ступени развития, каждый новый шаг вперед должен неизменно

сопровождаться кропотливой научно-исследовательской работой. В этом отношении особое значение приобретает широкая постановка углубленных исследовательских работ, проводимых для завода кафедрами и лабораториями высших учебных заведений, что должно способствовать обогащению теории и практики электромашиностроения. В то же время нужно самыми энергичными темпами развивать и дальше на самом заводе собственную научно-исследовательскую базу вместе с хорошим экспериментальным цехом, что даст возможность производить исследовательские работы по развитию новой техники совместно с кафедрами и лабораториями высших учебных заведений»⁸.

Почин кафедры электрических машин получил широкое распространение. К 1952 г. ленинградские вузы и предприятия заключили между собой около 10 000 договоров о творческом содружестве, в выполнении которых участвовали тысячи ученых, десятки тысяч инженеров и рабочих⁹.

Все это время М. П. Костенко активно работает и над совершенствованием учебного процесса. В своих лекциях ученый стремится как можно полнее отразить последние достижения науки и техники, в первую очередь отечественной и зарубежной электропромышленности, шире раскрыть задачи, поставленные перед электромашиностроением. Смело отбрасывая отживающее, опровергаемое опытом и практикой, Костенко строит учебные курсы так, что они постоянно находятся в соответствии с требованиями жизни, на уровне задач бурно развивающегося народного хозяйства. Постоянно придерживаясь в своих научных работах теоретико-экспериментального метода исследования важнейших практических проблем, он широко проводит этот принцип в обучении и воспитании будущих специалистов. В дипломных работах студентов, как уже отмечалось, наряду с конструкторскими разработками и теоретическими изысканиями Костенко широко практикует экспериментальные исследования.

⁸ Проект договора о творческом содружестве завода «Электросила» им. С. М. Кирова и кафедры электрических машин Ленинградского политехнического института им. М. И. Калинина. — Архив проф. В. В. Фетисова (г. Ленинград). Рукопись.

⁹ Рабочие Ленинграда: Краткий исторический очерк. Л.: Наука, 1975, с. 269—270.

В лаборатории электрических машин всегда былолюдно — здесь проходили лабораторные занятия учащихся всех факультетов. Но студенты кафедры электрических машин, помимо обычной практики, занимались здесь и экспериментальной исследовательской работой. Так, в 1947 г. студент С. Глинтерник с успехом изучал в лаборатории электромашинный каскад для привода аэродинамических труб, а Б. Гусев защитил дипломный проект, сделанный здесь по заданию завода «Электро-сила»¹⁰.

Необходимо отметить, что в учебном процессе — лекциях, лабораторных и семинарских занятиях, подготовке курсовых и дипломных работ, экзаменационных сессиях — М. П. Костенко стремился найти творческую, живую искорку. Даже такую «рутинную» процедуру, как прием экзаменов по курсу, он превращал в инструмент обучения и воспитания. Автор был свидетелем того, как неподготовленному к экзамену студенту было предложено тут же, в аудитории, почитать главу учебника, которая досталась ему по билету, и пересказать ее. Затем студенту была поставлена отличная оценка. Е. Д. Несговорова вспоминает:

«Сдавать экзамены Михаилу Полиевктовичу было всегда страшно и всегда интересно. Профессор требовал понимания физических процессов и умения их математически обосновать. Мы обычно не замечали, что Михаил Полиевктович всегда своими вопросами и замечаниями невольно наводил нас на правильные ответы. В процессе собеседования с ним волнение постепенно затухало, все становилось ясным и понятным.

Позже мне приходилось, уже в должности доцента, помогать Михаилу Полиевктовичу экзаменовать студентов по специальному курсу электрических машин. Я помню как-то Михаил Полиевктович, смотря на доски, у которых двое студентов писали ответы на вопросы экзаменационных билетов, сказал мне: «Удивляюсь, как это они могут запомнить столь трудные математические выводы и не списывают! Я внимательно за ними наблюдаю. Спросите их, Елена Дмитриевна, понимают они то, что записали?». И когда эти студенты все толково объяснили, профессор, довольный, воскликнул: «Прекрасно! Ставьте им пятерки!». Если же студент не мог объяснить как следует то, что сам правильно записал, Михаил Полиевктович возмущался и беспощадно ставил двойки. Он часто говорил: «Студентов нужно учить понимать материал, а не заучивать формулы, они должны на основе теоретических положений овладеть методом анализа, тогда придут и знания». Он говорил еще: «если вы пишете рецензию на

¹⁰ Политехник, 1947, 19 апр.

дипломный проект или диссертационную работу, то вы обязаны так поставить вопросы, чтобы развернулась дискуссия. Только тогда работа будет оценена должным образом»¹¹.

В. П. Анемподистов, бывший в начале 50-х годов дипломником М. П. Костенко, рассказывает:

«Михаил Полиевктovich прежде всего был педагогом и учителем. Его учениками были студенты, инженеры, аспиранты, молодые и «зрелые» ученые. Он умел и любил учить. Мне посчастливилось учиться в Ленинградском политехническом институте по специальности «Электрические машины», когда Михаил Полиевктovich возглавлял эту кафедру. Он был и руководителем моей дипломной работы. В дальнейшем, когда я поступил в аспирантуру Института электромеханики, Михаил Полиевктovich тоже был моим научным руководителем. Это было замечательное время освоения специальности, время учебы. До сей поры сохранилось в памяти мое восхищение по поводу первой полученной у моего руководителя консультации. Дело в том, что предметом моей дипломной работы было проектирование фазового компенсатора для уникального асинхронного двигателя. Методики расчета таких машин в то время не существовало. В качестве общего «руководства к действию» Михаил Полиевктovich сначала порекомендовал мне книгу, один из разделов которой позволил уяснить физические процессы в машине. В книге, однако, не содержалось никаких указаний относительно того, как осуществить конкретный расчет фазокомпенсатора. И вот я иду на вторую консультацию к руководителю, кратко излагаю изученное и свои затруднения. Михаил Полиевктovich внимательно выслушал меня и сказал, что теперь нужно тщательно изучить статью из зарубежного журнала (помню — на немецком языке), и называет, никуда не заглядывая, автора, название статьи, журнала, его номер и год издания. Меня поразила его феноменальная память и эрудиция. Аккуратно записав все, я разыскал в библиотеке нужный журнал, изучил указанную статью, после этого разработал методику расчета, выполнил дипломный проект и успешно защитил его. Во время работы над кандидатской диссертацией аналогичных встреч было значительно больше и они всегда были столь же плодотворны»¹².

Говоря о «механизме», так сказать, «непосредственного обучения» в школе М. П. Костенко, следует остановиться на характерных для него методах работы с аспирантами. Во всех случаях, ставя задачи своим дипломникам и аспирантам, Костенко шел от общего к частному, от более широких и общих категорий, к более частным. В этой связи характерен эпизод с одним аспирантом, которого мы условно назовем Л. Окончив институт с отли-

¹¹ *Несговорова Е. Д.* Воспоминания. — Архив автора. Рукопись.

¹² *Анемподистов В. П.* Воспоминания. — Архив автора. Рукопись.

чем (он защитил теоретическую дипломную работу «Методы расчета демпферных обмоток синхронных машин»), Л. решил поступить в аспирантуру кафедры электрических машин. В отсутствие М. П. Костенко он сдал все экзамены на «отлично», но не был зачислен: предпочтение было отдано другому. Вернувшись из отпуска, Костенко добился дополнительного места. Между ними состоялся разговор относительно выбора темы будущей диссертации Л. Сам он хотел расширить тему дипломного проекта, разрабатывать «теорию синхронной машины с учетом явлений вытеснения тока и магнитного насыщения». Костенко считал эту тему слишком широкой для кандидатской диссертации. «Однако, — вспоминает Л., — когда я, по молодой запальчивости, назвал эту тему, Михаил Полиевктович не стал возражать против такого названия темы в моем тематическом плане. Он сказал, что первоначально тема должна формулироваться по возможности широко. «В дальнейшем, — подчеркнул он, — Вы углубитесь в какие-то вопросы, и это станет истинной темой диссертации. Но вы углубитесь в частный вопрос, не теряя связи с общей темой, с общими представлениями». Так и произошло. Михаил Полиевктович, руководя мной, часто повторял, что каждый вопрос должен сначала рассматриваться с наиболее общих позиций, и именно с них он должен быть затем подвергнут подробному углубленному изучению. Когда Михаилу Полиевктовичу не хватало информации для полноценного рассмотрения, а это случилось практически почти всегда, когда он подходил к новой проблеме, он старался огрублять, упрощать применяемые им понятия и категории, приводить их к наиболее возможно общему виду. Он, например, частенько говаривал о пользе счета на пальцах. Но он говорил и о том, что это самое трудное — считать на пальцах»¹³.

Интересно отметить, что такой подход к разработке темы — от общего к частному — Костенко пропагандировал осознанно, так сказать, «на трезвый рассудок». Он не однажды сам говорил об этом. Так, выступая 24 ноября 1961 г. на Ленинградской сессии АН СССР, посвященной М. В. Ломоносову, он сказал: «...Люди науки уходят обычно с годами все дальше в глубь избранной ими области, в познании которой вырастает и нагромождается у них

¹³ Научковедческие интервью с представителями советской научной школы электромашиностроения.

все большее количество идей и фактов. В научной работе имеет значение нередко не самый предмет науки, будет ли он большим или малым — мироздание или микромир, а то количество понятий, которыми владеет данный представитель научной деятельности. В результате проникновение вглубь в подавляющем числе случаев происходит за счет широты и общности понятий. Накопленный большой материал дает все меньше стимула для того, чтобы интересоваться другими вопросами, отличными от данной области науки, но даже и смежными, нередко достаточно близко примыкающими разделами»¹⁴.

Выступая за широкий комплексный подход в науке, Костенко вместе с тем предостерегал от иллюзий, связанных с представлением о науке как области «легкого гения». «В научной работе, — говорил он, — важен как творческий замысел, так и упорный тяжелый труд.

Кто хочет достигнуть значительных результатов в научной работе, тот должен иметь прежде всего творческую фантазию, а затем и способность преодолевать трудности упорным тяжелым трудом, не гнушаясь черной работой, которая дает возможность овладеть всеми необходимыми данными»¹⁵. Знания ученого, по мнению Костенко, должны были расти «по горизонтали и по вертикали».

Глубокие и обширные знания М. П. Костенко буквально поражали студентов, слушающих курс «Электрические машины». Но в этом не было ничего удивительного: в своих лекциях, помимо классических основ этой области техники, ученый излагал новейшие разработки и результаты последних научных исследований отечественных и зарубежных специалистов. Каждая его лекция представляла собой научно-технический реферат, обобщающий полную информацию по рассматриваемой теме. Естественно, что за многие годы чтения курса Костенко систематизировал громадный материал. Постоянная научно-исследовательская работа позволила Костенко значительно расширить и углубить вопросы теории и практики электрических машин, а главное, создать учебник, систематизирующий результаты последних исследований по электрическим машинам. Такое пособие было крайне

¹⁴ Костенко М. П. Вступительное слово на Ленинградской сессии АН СССР 24 ноября 1961 г. — Семейный архив М. П. Костенко. Рукопись.

¹⁵ Научно-ведческие интервью с представителями советской научной школы электромашиностроения.

необходимо для подготовки студентов и повышения квалификации преподавателей всех электротехнических и энергетических вузов страны, а также для повседневной работы инженерам-электрикам и энергетикам.

М. П. Костенко — автор первого советского учебника по общему курсу электрических машин (1944 г.) и «Спецкурса» (1949 г.) — заботился о том, чтобы новое пособие соответствовало современному уровню и отражало все новейшие достижения в области электрических машин. Работу над таким учебником он осуществил совместно с Л. М. Пиотровским.

Людвиг Марианович Пиотровский (1886—1959) окончил в 1912 г. электромеханическое отделение Петербургского политехнического института, выполнив дипломную работу («О расчете однофазных коллекторных двигателей»), которая была удостоена серебряной медали. В 1913 г. он был избран лаборантом (ассистентом) лаборатории электрических машин, в 1930 г. назначен профессором, а в 1938 г. после успешной защиты диссертации («Индукторный двигатель с переменными параметрами») утвержден в ученой степени доктора технических наук.

Л. М. Пиотровский был прекрасным лектором, и его лекции высоко ценились студентами. Им написано много учебных пособий¹⁶, которые выдержали ряд изданий. Он много работал в области методики преподавания и внес значительный вклад в дело создания электротехнической терминологии. Велики его заслуги и в развитии отечественной промышленности. Он был консультантом на заводах «Электросила», «Электрик» и др., являясь крупным специалистом в области трансформаторостроения. Им написан капитальный труд по теории трансформаторов. Многогранная и плодотворная работа Л. М. Пиотровского была высоко оценена партией и правительством. Он был награжден орденом Ленина и медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941—1945 гг.».

В результате многолетней работы М. П. Костенко и Л. М. Пиотровский в 1958 г. выпустили в свет совместный труд «Электрические машины» (в 2 частях), рекомендованный Министерством высшего образования СССР в качестве учебника для энергетических и электротехни-

¹⁶ См., например: *Пиотровский Л. М. Электрические машины*. М.: Госэнергоиздат, 1949.

ческих вузов и факультетов. Ныне всемирно известный учебник по электрическим машинам [49—52] был издан тиражом 50 тыс. экземпляров и сразу же разошелся, причем его покупали не только студенты и преподаватели, но и специалисты-электротехники.

В предисловии к первому изданию авторы писали: «Ряд разделов обработан заново как с методической стороны, так и по содержанию: например, вопросы внезапного короткого замыкания синхронных машин, обмотки машин постоянного и переменного тока и др.» [52, с. 6]. На самом же деле переработке и дополнениям подверглись все разделы: в учебнике были отражены все новые достижения в области исследования электрических машин различных типов.

В течение нескольких лет учебник служил одним из основных руководств как в практике преподавания, так и в научной и инженерной практике электромашиностроения. Но шли годы, росло число студентов в вузах, увеличивался контингент преподавателей, значительно расширялся круг научных работников, занятых изучением вопросов электромашиностроения. В начале 60-х годов ощутилась острая потребность в переиздании учебника «Электрические машины». С таким предложением издательство «Энергия» и обратилось к Костенко (Л. М. Пиотровский умер вскоре после выхода первого издания). Костенко охотно согласился, предложив внести ряд дополнений и изменений в некоторые разделы учебника.

В качестве научного редактора второй части нового издания Костенко избрал своего бывшего дипломника и аспиранта В. П. Анемподистова. Впоследствии тот вспоминал:

«Получив предложение осуществить научное редактирование учебника, я сразу же убедился, что работа по подготовке второго издания учебника была начата Михаилом Полиевктовичем много раньше. Когда мы приступили к редактированию рукописи, оказалось, что большой объем оригинального материала фактически готов для включения во второе издание учебника. При переиздании учебника автор поставил две основные задачи: отразить результаты последних достижений в теории и практике электромашиностроения и обеспечить максимальное понимание изучаемого материала, проиллюстрировав его численными примерами, которые должны заключать каждый раздел учебника.

Это была крайне сложная и трудоемкая работа, но Михаил Полиевктович блестяще справился с ней. Передо мною раскрылась характерная черта Михаила Полиевктовича — великое трудолюбие. Он одинаково охотно выполнял сложнейшие аналитиче-

ские исследования и самую черновую работу — обычные расчеты с помощью логарифмической линейки, те или иные графические построения и т. п.

Помню случай, когда он трижды построил круговую диаграмму асинхронного двигателя в одном из численных примеров, чтобы найти вариант, наиболее приемлемый для типографского издания. Вся эта работа проводилась вечерами или в выходные дни, так же как и наши встречи по вопросам подготовки рукописи, либо на квартире Михаила Полиевктовича на улице Добролюбова, либо на даче в Комарово в выходные дни. При этом он был неизменно пунктуален. Если наша деловая встреча была назначена в Комарово, скажем, в 10 часов утра в воскресенье, то мне, приехавшему к этому времени на дачу, обычно сразу сообщали: «Михаил Полиевктович в рабочем кабинете, пройдите на второй этаж»¹⁷.

Несмотря на значительную переработку книги, Костенко считал необходимым и второе издание выпустить в соавторстве с Пиотровским. В предисловии он писал: «Нижеподписавшийся взял на себя подготовку второго издания книги, считая, что оно является лучшим выражением его памяти о долголетней совместной работе с профессором Л. М. Пиотровским».

Второе издание (78 а. л., 85 тыс. экз.) вышло в 1964—1965 гг. К этому времени учебник получил уже и международное признание: вскоре появился перевод на английский язык, а затем — и на ряд других. Особо следует отметить, что при подготовке второго издания Костенко проработал большое количество научно-технической литературы. Это нашло отражение в обширной библиографии (свыше 500 наименований), которая позволяет исчерпывающим образом ознакомиться с работами в этой области советских и зарубежных авторов.

Учебник «Электрические машины» вновь пользовался огромным спросом: второе издание разошлось в течение года. К началу 70-х годов опять возникла острая потребность в его переиздании. Предвидя это, Костенко начал готовить материалы для третьего издания.

Со времени второго издания прошло более 5 лет. К этому времени значительно возрос научно-технический уровень советского электромашиностроения: на заводе «Электросила» и на Харьковском заводе «Электротяжмаш» было освоено производство турбогенераторов мощностью 500 тыс. кВт, а на «Электросиле» изготовлены первые турбогенераторы мощностью 800 тыс. кВт и на-

¹⁷ *Анемподистов В. П.* Воспоминания. — Архив автора. Рукопись.

чато проектирование турбогенератора мощностью 1 млн. 200 тыс. кВт, созданы гидрогенераторы для Братской ГЭС (225 тыс. кВт) и для Красноярской ГЭС (500 тыс. кВт). Естественно, возросли и требования к подготовке специалистов в области электромашиностроения и к качеству их научно-исследовательской работы.

А. Р. Дембо и В. П. Анемподистов (редакторы соответственно первого и второго томов учебника) вспоминают, что Костенко полностью переработал первую часть — «Машины постоянного тока». Он добавил сюда три новые главы, посвященные актуальным вопросам электрической тяги, в частности, тяговым электродвигателям пульсирующего тока, мощным генераторам для прокатных станов, новым областям применения электропровода. При подготовке третьего издания Костенко стремился отразить все главные достижения последних лет. Это, естественно, привело к увеличению объема учебника и в конце концов пришлось исключить из него, например, главу о фазокомпенсаторах.

В. П. Анемподистов особенно запомнил, как Костенко готовил вставки нового материала. Во второй части было решено заново составить таблицы параметров основных типов турбогенераторов и гидрогенераторов (в учебнике они заняли всего несколько страниц). Но чтобы обновить таблицы, ученый тщательно подобрал необходимую литературу (не менее 100 наименований), выписал нужные параметры, систематизировал данные из различных источников, касающиеся одних и тех же машин, рассчитал отдельные показатели и уже только потом свел все в единые таблицы. Аналогично готовилась небольшая вставка, касающаяся более четкого определения инерционной постоянной. Прежде чем написать всего одну дополнительную страницу книги, Костенко собрал всю отечественную и зарубежную литературу (не менее 15 названий), в которой встречалось в той или иной форме это определение, и после кропотливого анализа дал его окончательную характеристику.

Третье издание учебника появилось в 1973 г. Параллельно было подготовлено новое издание на английском, а затем на французском, испанском и португальском языках. Заметим, что «Электрические машины» М. П. Костенко и Л. М. Пиотровского неоднократно переиздавались и переводились на иностранные языки: на английский — в 1962, 1964, 1968 и 1974—1976 гг., на француз-

ский — в 1969 и 1976 гг., на испанский и португальский — в 1975 г. Переводы осуществлялись советским издательством «Мир», а также издательствами Испании, Мексики, Португалии.

О высокой международной оценке учебника Костенко и Пиотровского свидетельствует следующий эпизод. В одном из швейцарских городов «осели» 500 экземпляров «Электрических машин». Один из профессоров местного технического колледжа, ознакомившись с учебником и по достоинству оценив его научные и методические качества, тут же порекомендовал книгу своим студентам. Она разошлась за несколько дней, и хозяин магазина обратился в Москву за новыми экземплярами¹⁸.

Книга М. П. Костенко и Л. М. Пиотровского «Электрические машины», быстро распространившись за рубежом, «потеснила» на библиотечных полках «классические» учебники Ч. Конкордия, Р. Рихтера, Л. Дрейфуса. Популярность учебника была необычайной. И главную причину этого, очевидно, следует искать в композиции учебного курса, отразившей характерные черты стиля мышления Костенко.

В 1960 г. электротехническая общественность страны тепло отметила 70-летие М. П. Костенко. 11 января в актовом зале Ленинградского политехнического института состоялось совместное заседание Ученых советов ЛПИ и Института электромеханики Академии наук СССР. Весь вечер царил приподнятая торжественная обстановка, было множество цветов, приветственных адресов.

С докладом о научной, технической, педагогической и общественной деятельности М. П. Костенко выступил член-корреспондент АН СССР профессор Л. Р. Нейман. Он охарактеризовал богатый и плодотворный творческий путь юбиляра и в своей поэтической речи сравнил возникающие повсюду по стране искорки «костенковского» огня, хранимого и распространяемого его учениками с постепенным загоранием звезд на предвечернем небе. «Но даже яркое звездное небо, — сказал докладчик, — не может соперничать числом своих звезд с тем количеством научных контактов, которые имеет и приобретает Костенко для проведения в жизнь идей Ленинградской научной

¹⁸ Книжное обозрение, 1976, № 22.

школы электромашиностроения». Академик М. П. Костенко всегда заботился о распространении идей, не полагаясь на то, что они «без активных научных коммуникаций, сами по себе проникнут в головы учеников».

На заседании выступило множество учеников и коллег М. П. Костенко. Первый его аспирант, ставший крупным ученым, И. М. Постников поделился мыслями о распространении идей школы М. П. Костенко и его исследовательского стиля «далеко за пределами тех учреждений, в которых так долго работал Михаил Полиевктович, — в частности, за пределами Ленинградского политехнического института и Института электромеханики. Постников рассказал о том, что в Киеве на кафедре электрических машин Киевского политехнического института, где преподают ученики М. П. Костенко, развиваются основы научного мышления, которые когда-то привил своим ученикам Михаил Полиевктович».

В 1961 г., став директором Института электромеханики АН СССР, М. П. Костенко передал заведование кафедрой своему ученику, академику АН ЭССР А. И. Вольдеку.

С 1930 по 1961 г., т. е. за время руководства М. П. Костенко кафедрой электрических машин ЛПИ, было выпущено около тысячи инженеров-электромехаников, которые распространили основные научные идеи и творческие методы Ленинградской школы электромашиностроения не только по всему Советскому Союзу, но и по многим странам мира. На кафедре обучались студенты всех социалистических стран, студенты из развивающихся стран. Аспирантуру кафедры за то же время окончили более 200 специалистов-электромашиностроителей, свыше 30 из них защитили на кафедре докторские диссертации. Многие выпускники кафедры стали впоследствии крупными учеными, видными деятелями советского электромашиностроения.

К 1977 г. на кафедре широко велись научно-исследовательские работы в области мощных турбо- и гидрогенераторов, трансформаторов, машин постоянного тока большой мощности, микромашин, автоматических устройств, двигателей постоянного тока с питанием от тиристорных преобразователей, электромагнитных устройств для высокоскоростного наземного транспорта. Даже из этого краткого перечня видно, что кафедра электрических машин ЛПИ продолжает развивать те направления исследований, которые были когда-то заложены на ней М. П. Костенко.

**Начало работы в Академии наук СССР.
Ленинградская группа отдела общей энергетики
Энергетического института им. Г. М. Кржижановского
АН СССР. Ленинградское отделение Института
автоматики и телемеханики АН СССР.
Создание Института электромеханики АН СССР**

Еще во время пребывания в Ташкенте М. П. Костенко по предложению М. А. Шателена начал работать в УзФАН в качестве заведующего сектором, а затем — заместителя директора Энергетического института. Именно в этот период Шателен поделился с Костенко планами по организации в Ленинграде филиала Энергетического института АН СССР им. Г. М. Кржижановского. Мысль о создании группы зародилась у М. А. Шателена давно, еще в 1920 г., когда он возглавлял петроградскую группу ГОЭЛРО, работающую по проблемам электрификации Северо-западного района РСФСР. Несколько позже, в 30-е годы, отстаивая идею ленинградского энергетического центра в рамках Академии наук, Шателен писал, что ленинградские научные и технические учреждения могли бы внести «особо ценные вклады» в решение научно-технических проблем сверхмощных электропередач, «потому что они находятся в тесном контакте с заводами, с заводскими лабораториями, с проектировочными и электроснабжающими организациями, центром которых является Ленинград. Только в контакте, в непосредственной близости к таким организациям можно решить те проблемы, перед которыми мы стоим»¹.

Идея Шателена получила одобрение Г. М. Кржижановского, в то время директора Энергетического института АН СССР (ЭНИИ). Сразу же по возвращении из эвакуации Шателен организует в Ленинграде группу по исследованию проблем дальних электропередач, вошедшую в состав Отдела общей энергетики ЭНИИ. К работе в группе был привлечен и М. П. Костенко, который занялся вопросами, связанными с разработкой устройств для преобразования переменного тока в постоянный и использованием электромеханического оборудования в системах дальних передач постоянного тока.

¹ Шателен М. А. О научно-технических проблемах сверхмощных электропередач. Л.: Изд-во АН СССР, 1931, с. 2.



С 1946 по 1949 г. М. П. Костенко заведовал лабораторией электромеханики ЭНИН АН СССР, работавшей по заданию московской и ленинградской групп института. Тематика исследований лаборатории была связана с работами, ведущимися в Научно-исследовательском институте постоянного тока Министерства электростанций СССР, в котором М. П. Костенко был консультантом.

Работа ленинградской группы ЭНИНа получила поддержку со стороны ОТН АН СССР и многих ленинградских организаций. В письме Г. М. Кржижановскому от 1 февраля 1948 г. руководитель группы М. А. Шателен писал: «... Политехнический институт и не думает возражать, но, напротив, всегда стремится помочь работе ЭНИНа, предоставляя последнему свои лаборатории и содействуя работе в ЭНИНе по совместительству своим профессорам...». Говоря о составе группы, Шателен указывал и на некоторые направления их работы: «Все они (Бурцева, Бриль, Дарманчев) — кандидаты с научным стажем. Работают у нас со дня основания группы. За 1946 г. их работа была одобрена ОТН... У нас теперь, считая и меня, 13 научных работников. Из них трое (Костенко, Нейман, Глинтерник) работают по специальной теме. Остальные (Мелентьев, Болотов, Гофман, Бриль, Бурцева, Дарманчев, Аронс, Аграчев и Равдоник) работают по темам Отдела общей энергетики ЭНИНа и одной ленинградской теме. Мне приходится принимать участие и в тех и в других работах и руководить как всей группой, так и непосредственно группой, работающей по энергетике Ленинграда и Северо-западной области...»².

К началу 50-х годов полным ходом шло проектирование мощных ГЭС, ставился вопрос о создании единой энергетической системы (ЕЭС) Европейской части СССР, сооружались новые мощные тепловые электростанции,

М. П. Костенко среди сотрудников ленинградской группы Отдела общей энергетики ЭНИНа им. Г. М. Кржижановского. Слева направо: первый ряд — А. К. Дарманчев, А. А. Морозов, Д. И. Аграчев, В. В. Болотов, М. А. Шателен, Л. А. Мелентьев, Л. Р. Нейман, М. П. Костенко; второй ряд — С. М. Рожков, Ф. С. Абдуллаева, О. О. Малышев, Э. Я. Обуховская, С. Р. Глинтерник, Г. Е. Бурцева, В. П. Кононов, М. А. Басов, Т. В. Боде, Ш. Я. Мазур, В. С. Равдоник, К. И. Мичурина, Г. Б. Левенталь (1950 г.)

² ЦГАНХ СССР, ф. 91, оп. 1, д. 62.



М. П. Костенко среди членов бригады обмотчиков Лауреата Государственной премии С. К. Чертока (крайний справа, 1953 г.)

развивалась сеть линий электропередачи (ЛЭП), связывающих электростанции с потребителями энергии. Особое значение в развитии отечественной электроэнергетики в эти годы, как уже отмечалось, имело создание мощных гидроэлектростанций на Волге: Волжской ГЭС имени В. И. Ленина и Волжской ГЭС имени XXII съезда КПСС. Проектирование и сооружение этих ГЭС и отходящих от них линий электропередачи поставили перед наукой и техникой целый ряд сложных вопросов, от правильного решения которых зависели эффективность и надежность работы этих крупнейших в мире станций. Впервые в мировой практике выработанная ими энергия должна была передаваться по линиям электропередачи длиной 800—1000 км (при напряжении 500 кВ). Кроме того, предстояло спроектировать и соорудить уникальную линию электропередачи от Волжской ГЭС имени XXII съезда КПСС в Донбасс на постоянном токе напряжением 800 кВ. Мощные потоки электроэнергии Волжских ГЭС предполагалось пустить в нескольких направлениях: от Волжской ГЭС имени В. И. Ленина — по ЛЭП 500 кВ в Москву и в район Урала, по ЛЭП 110 и 220 кВ — в районы Поволжья; от Волжской ГЭС имени XXII съезда КПСС —

по ЛЭП 500 кВ в Москву, по ЛЭП 800 кВ постоянного тока в энергосистему Юга и по ЛЭП 220 кВ в районы Поволжья.

Начало строительства Волжских ГЭС потребовало от АН СССР широкого развертывания работ по энергетике и автоматике. В первую очередь это касалось двух институтов: ЭНИНа, где на первый план выдвигались проблемы, связанные главным образом с сооружением сверхдальних линий электропередачи повышенной мощности на переменном и постоянном токе, и Института автоматики и телемеханики (ИАТ), который должен был решать вопросы автоматики, контроля и защиты новых мощных энергоустройств. И если ЭНИН в целом был подготовлен к решению этих проблем, то в ИАТ для этого требовалось создать новые подразделения и привлечь к работе в них ведущих специалистов в области автоматизации энергосистем. Поскольку до войны такие исследования были начаты в ЛПИ («Бюро куйбышевских работ», возглавляемое А. А. Горевым, В. А. Толвинским, М. П. Костенко, С. М. Гохбергом), новое «энергетическое» подразделение ИАТ решили организовать именно в Ленинграде. В пользу этого решения говорило и то, что в городе на Неве размещались основные заводы по производству мощных гидротурбин и гидрогенераторов (Металлический завод им. XXII съезда КПСС и завод «Электросила» им. С. М. Кирова). Последнее обстоятельство облегчало реализацию творческих контактов и координацию работ ИАТ по автоматизации энергосистем с промышленностью.

1 апреля 1950 г. Президиум АН СССР постановил создать Ленинградское отделение Института автоматики и телемеханики (ЛО ИАТ). В сентябре того же года в Ленинграде начала функционировать небольшая (два сотрудника) исследовательская лаборатория электромашиной автоматики ИАТ под руководством В. В. Рудакова. Она, естественно, не могла решить огромных проблем автоматизации новых мощных энергосистем, но в ней уже тогда многие видели базу для развертывания работ ЛО ИАТ. В. В. Рудаков, являвшийся учеником М. П. Костенко и работавший у него до войны в лаборатории ЛПИ предложил ученому перейти в ЛО ИАТ из группы ЭНИНа. Костенко с энтузиазмом принял предложение. Ему особенно импонировала возможность широких экспериментальных исследований в новых условиях.

Работы по сооружению Волжских ГЭС поставили перед учеными страны ряд конкретных задач. Многие из них предстояло решить формирующемуся в Ленинграде новому научно-исследовательскому центру. На плечи небольшого коллектива ученых (М. П. Костенко, В. В. Рудаков и др.) его первой лаборатории легли трудности организационного периода. Прежде всего необходимо было в очень сжатые сроки определить, с одной стороны, генеральные направления будущих исследований и привлечь к ним ведущих ленинградских ученых, с другой — обеспечить материальное оснащение нового исследовательского центра. Это была очень сложная работа. Ее первой частью вместе с Костенко занимался Рудаков; на долю остальных пришлось вопросы, связанные с технической стороной будущих исследований. Изучив полученный из Москвы перспективный координационный план исследований по автоматизации энергетики, Костенко определил наиболее целесообразные направления деятельности в этой области ленинградской группы, наметил пути скорейшего выполнения заданий и выявил предприятия и организации города, с которыми необходимо для этого вступить в контакт. Эти соображения (наряду с собранной группой информацией о состоянии работ по автоматизации энергосистем в СССР и за рубежом) легли в основу записки о развитии научных направлений в ЛО ИАТ. Учитывая сложность и недостаточную точность аналитического описания процессов в энергосистемах как объектах автоматизации, Костенко предложил в качестве базового метода исследовательских работ электродинамическое моделирование.

Элементами такой модели должны были стать, по мысли ученого, «модели гидротурбин для отработки систем регулирования режима гидротурбин на новых гидростанциях, модели гидрогенераторов, позволяющие исследовать рациональные системы возбуждения и регулирования новых гидрогенераторов, модели сверхдальней по тем временам линии электропередачи постоянного тока Куйбышев—Москва и первой в СССР линии передачи постоянного тока Волгоград—Донбасс, на которых можно было изучить системы релейных защит в разного рода аварийных ситуациях, и, наконец, модель промышленной электрической нагрузки для анализа режима энергосистем и средств телеуправления и телеконтроля, предназначенных для их автоматизации».

При строительстве уникальных Волжских гидроэлектростанций необходимо было решить ряд вопросов, связанных с разработкой новых специфических систем автоматизированного электропривода для управления шлюзами и другими элементами гидроосоружений. Эти устройства, характеризующиеся нелинейными механическими связями и нестационарным характером нагрузок, требовали создания нового класса электродинамических моделей. Модели преобразовательных и регулирующих устройств, реализуемые на базе электрических машин, позволяли достаточно быстро перестраивать их на другие параметры, что было важно для развития перспективных и поисковых исследований. Они также довольно легко совмещались с аналоговыми и цифровыми вычислительными машинами, что давало возможность проведения практически любых исследований по автоматизации как энергетических установок, так и электромеханических систем.

Проблемы, решаемые в процессе сооружения Волжских ГЭС, можно считать наиболее типичными научно-техническими проблемами, которые возникают при развитии современной электроэнергетики. Такой объект изучения, как мощные энергосистемы, является «весьма сложным как по количеству зависимостей, определяющих его сущность, так и по характеру этих зависимостей. В то же время при проектировании новой энергосистемы (или ее элементов) особенно важное значение имеет предварительная проверка ее свойств, когда сама система еще не создана и, следовательно, натурный эксперимент невозможен. Решение подобных вопросов чисто аналитическим путем не всегда возможно из-за большого количества зависимостей и нелинейности характеристик многих элементов системы, а если и возможно, то, как правило, требует проверки экспериментом.

Особую ценность при изучении свойств энергосистемы и протекающих в ней явлений представляет именно эксперимент. Искусственно вызывая в системах какое-либо явление или процесс, экспериментатор может наблюдать и изучать его протекание в естественных условиях и в натуральном масштабе. Однако практическое проведение таких экспериментов в действующих энергосистемах весьма сложно по постановке, дорого обходится, поскольку нарушает нормальную эксплуатацию, и допускается только в исключительных случаях. Поэтому метод моделирования

приобретает для исследования энергосистем чрезвычайную важность».

Решение поставленных перед ленинградской группой задач на базе принятого метода исследования заставило Костенко обратиться к помощи специалистов определенного профиля. В результате он наметил следующую структуру ЛО ИАТ: лаборатория автоматизации энергосистем (руководитель — член-корреспондент АН СССР М. П. Костенко); лаборатория автоматизации гидротурбин (руководитель — кандидат технических наук Т. Н. Соколов); лаборатория релейных защит (руководитель — доктор технических наук В. П. Иванов); лаборатория автоматизированного электропривода (руководитель — кандидат технических наук В. П. Андреев); лаборатория телемеханики (руководитель — кандидат технических наук Б. К. Шукин); лаборатория телеизмерений — (руководитель — доктор технических наук В. О. Арутюнов)³.

Докладная записка, обосновывающая необходимость организации этих лабораторий и рисующая перспективы их развития, в шутку названная «дипломным проектом», была одобрена выездным заседанием Ученого совета ИАТ, которое состоялось в конце ноября 1950 г. в Ленинграде. Члены совета ходатайствовали перед ОТН АН СССР об утверждении разработанных Костенко структуры и плана работ ЛО ИАТ.

В то время президентом АН СССР был академик С. И. Вавилов, ученый с чрезвычайно широким кругозором, активно поддерживающий прогрессивные начинания в науке. С. И. Вавилов систематически бывал в ленинградских учреждениях Академии наук. В один из его приездов М. П. Костенко обратился к нему с просьбой о финансировании отделения. С. И. Вавилов с большим пониманием отнесся к нуждам нового научного учреждения. Спустя десять с лишним лет, 23 марта 1961 г., на заседании, посвященном памяти академика С. И. Вавилова, Костенко тепло говорил о бывшем президенте АН СССР: «Сергей Иванович, будучи сам крупнейшим творческим ученым в области физики, имел чрезвычайно широкие интересы и знания в самых различных направлениях современной науки. Он глубоко интересовался вопросами естествознания, техники, философии, истории, литературы, языкознания и искусства... обладал исключительным кругозором

³ Рудаков В. В. Воспоминания. — Архив автора. Рукопись.

не только в области физики, но и техники в самом ее широком понимании...». Отметим, что в домашнем кабинете М. П. Костенко на почетном месте висел портрет С. И. Вавилова.

Во время встречи с С. И. Вавиловым были окончательно определены задачи и научное направление ЛО ИАТ. С. И. Вавилов исходил из того, что отделение должно стать крупной научной академической организацией в Ленинграде, работающей в области электротехники, а в городе имелись хорошие кадры ученых-электриков, которые следует привлечь для работы в ЛО ИАТ. По мнению президента, основные направления деятельности ЛО ИАТ должны были отвечать практическим запросам народного хозяйства, связанным с быстрым развитием энергетики, с созданием мощных гидроэлектростанций на Волге, дальних электропередач длиной 800—1100 км, автоматизированных электроприводов, следящих систем, телемеханических устройств, новых измерительных приборов и систем.

В это время в Ленинграде, как уже говорилось, существовала энергетическая лаборатория Энергетического института им. Г. М. Кржижановского, возглавляемая М. А. Шателеном, работавшая в области энергетических проблем. Предполагалась тесная связь этих организаций и, возможно, — в будущем — объединение их. Последнее было необходимо и в связи с тем, что в Ленинграде после войны функционировало большое число сравнительно мелких академических учреждений с небольшим штатом сотрудников, не обеспеченных помещениями и оборудованием. В соответствии с решением Совета Министров СССР (1947 г.) академическим институтам Москвы и Ленинграда предоставлялись новые помещения, выделялись средства на строительство, на приобретение оборудования⁴. Объединение однородных по своей тематике учреждений, их организационное укрупнение значительно повысили эффективность научных исследований.

М. П. Костенко подробно обрисовал С. И. Вавилову организационную структуру ЛО ИАТ, предполагаемые методы исследований, примерный состав сотрудников и необходимое оснащение лабораторий. Президент одобрил общее направление работ и обещал изыскать средства на оснащение лабораторий. Вскоре М. П. Костенко получил

⁴ Вестн. АН СССР, 1947, № 7, с. 6.

от Президиума АН СССР на нужды ЛО ИАТ 1 млн. рублей, хотя еще и не был утвержден директором отделения.

Приобретением оборудования для новых лабораторий были заняты все сотрудники. М. П. Костенко лично ездил по предприятиям и заключал договоры на поставку приборов. Реализация отпущенных средств завершилась успешно. С помощью ЛАХУ АН СССР все закупленное оборудование было завезено на Дворцовую набережную, 18, в бывший дворец одного из членов царской семьи, и распределено по лабораториям. Был создан центральный склад измерительных приборов, библиотека и фотогруппа. Таким образом, к началу 1951 г. в Ленинграде уже функционировала инициативная группа будущего института, были подготовлены помещения (площадью 180 м²) в подвале бывшего Ново-Михайловского дворца и приобретено оборудование для развертывания работ ЛО ИАТ АН СССР.

В феврале 1951 г. состоялось официальное открытие ЛО ИАТ. 23 марта 1951 г. Президиум АН СССР, который возглавлял уже академик А. Н. Несмеянов, назначил заведующего ЛО ИАТ члена-корреспондента АН СССР М. П. Костенко еще и заместителем директора ИАТ АН СССР.

В первые же годы в ЛО ИАТ пришли работать молодые специалисты — выпускники ЛПИ. Среди них оказались способные научные работники В. Е. Каштелян, В. К. Сиротко, В. В. Семенов, В. М. Бобров и др., которые очень скоро стали ведущими специалистами ЛО ИАТ и определили его дальнейшее развитие и превращение в самостоятельный институт. Ученые-электротехники, работающие в других организациях, главным образом в учебных, поначалу охотно шли в ЛО ИАТ лишь в качестве совместителей. Это объяснялось в первую очередь тем, что ЛО ИАТ еще не имело развитой экспериментальной базы для научных исследований, удобного помещения, сложившейся научной организации. Приходилось буквально начинать с нуля, а это всегда нелегко. Трудно было расстаться и с установившимся укладом работы в вузах, с лабораториями и коллективами, складывающимися десятилетиями. Поэтому М. П. Костенко одновременно с привлечением на работу в ЛО ИАТ ленинградских ученых в качестве совместителей, обратился к инженерам «Электросилы», с которыми работал многие годы. Так, в ЛО ИАТ пришел И. Д. Урусов, имевший значительный опыт сложных

расчетов электрических машин и их проектирования. По ходатайству Президиума АН СССР был переведен к Костенко и инженер Г. В. Карпов, проработавший на «Электросиле» более 20 лет и имевший большой опыт производства, монтажа, испытаний и исследования мощных электрических машин. Карпов был назначен заведующим лабораторией электродинамического моделирования (бывшей лабораторией автоматизации энергосистем).

К концу 1951 г. в ЛО ИАТ уже работали 54 сотрудника. Это был небольшой, но очень спаянный коллектив, в котором царил атмосфера трудового энтузиазма, товарищества, взаимопомощи. И большую роль в его сплочении играл М. П. Костенко.

В качестве примера заботливого отношения Михаила Полиевктовича к своим подчиненным приведем такой случай. На первых порах создания ЛО ИАТ заработная плата для научных работников и служащих пересылалась из Москвы. Однажды Костенко сообщили, что по каким-то причинам высылка зарплаты задерживается на несколько дней. На другой день он утром приехал на работу с чемоданчиком и выдал сотрудникам зарплату из собственных сбережений. Но тогда этого никто не знал, зато все недоумевали, почему заработную плату выдает сам «шеф».

Постепенно в ЛО ИАТе заполнялся штат сотрудников, назначались руководители важнейших служб института. Ученым секретарем ЛО ИАТ был избран В. В. Рудаков, который во многом способствовал налаживанию работы нового отделения. Костенко широко привлекает для работы в ЛО ИАТе способных научных работников. В 1950 г. он приглашает в ленинградское отделение А. А. Воронова, успешно защитившего кандидатскую диссертацию и работавшего в ИАТ в Москве. Костенко продолжает заботиться о научном росте своего бывшего ученика, помогает ему сформироваться в большого ученого. Позднее А. А. Воронов вспоминал:

«Я работал в ЛО ИАТ с 1950 до 1964 г. заведующим лабораторией и заместителем директора. Михаил Полиевктович внимательно следил за моими публикациями теории автоматического регулирования. Он очень одобрял насыщенность моих книг инженерными примерами и говорил, что у меня в каждой строчке этой, в то время ставшей уже довольно абстрактной теории, он чувствует физическую школу ленинградских политехников. Посоветовавшись с академиком В. А. Трапезниковым⁵, он рекомен-

⁵ Директор ИАТ АН СССР. — *Прим. авт.*

дует мне пойти на рискованный шаг: представить одну из книг, написанных как учебное пособие, в качестве докторской диссертации. М. П. Костенко помог мне не только в подготовке защиты, но и в прохождении диссертации в ВАК»⁶.

В течение 1951 г. в ЛО ИАТ была проделана большая работа по созданию лабораторной базы и обеспечению лаборатории силовой электроэнергией, а главное началась разработка уникальной экспериментальной установки — электродинамической модели энергосистем (ЭДМ). Создание столь сложной экспериментальной системы требовало сложного электротехнического оборудования, различных материалов, проводов, кабелей, больших монтажных работ. Но прежде всего необходимы были фондовые наряды на оборудование, а они выдавались лишь на основе надлежащим образом утвержденных проектов, смет и рабочих чертежей, на подготовку которых требовались годы упорного труда.

М. П. Костенко и его помощники — Г. В. Карпов и В. Е. Каштелян — решили пойти на риск и вести монтажные работы без чертежей и проекта⁷. Они подробно обсудили, из каких элементов должна состоять ЭДМ энергосистем, какое для этого необходимо оборудование и какие монтажные работы. При этом Костенко стремился к тому, чтобы всем был ясен ход предстоящего дела.

Как вспоминал Г. В. Карпов, нужно было увеличить мощности питающей подстанции. Существующая подстанция обеспечивала только освещение помещений ЛО ИАТ, а для питания модели, по городским масштабам, требовалась весьма значительная мощность. В его время для Ленэнерго ввод новых трансформаторных подстанций являлся сложной задачей. Такие работы планировались за год вперед и утверждались в министерстве. Подавать обоснованную заявку и ждать целый год ее осуществления означало надолго затянуть начало исследовательских работ. Костенко и его коллеги решили убедить руководство Ленэнерго выполнить необходимую работу вне обычных правил, причем в течение 1951 г. Они рассказали главному инженеру Ленэнерго С. В. Усову о значении работ на электродинамической модели для энерге-

⁶ Воронов А. А. Воспоминания. — Архив автора. Рукопись.

⁷ Карпов Г. В. Воспоминания. — Архив автора. Рукопись,

тики страны и, в частности, для электропередач от Волжских ГЭС в Москву, которые должны были вводиться в эксплуатацию. Усов согласился помочь. Не отказал в помощи и главный инженер Ленэнергобыта А. А. Принцев, распорядившийся увеличить в нужный момент мощность трансформаторной подстанции. Окрыленные возможностью получения силовой энергии, сотрудники ЛО ИАТ сосредоточили свои силы на создании собственной приемной и распределительной подстанции с системой шин переменного и постоянного тока, со многими выключателями, автоматами, предохранителями и другими устройствами. Щит управления должен был состоять из десятка панелей. Как выполнить такое устройство, было ясно, но фондов и чертежей не было. Решили все же обратиться к директору завода «Электропулт» В. А. Аветову.

Для изготовления распреустройства необходим фондовый наряд, выдаваемый министерством, но его можно было добиться в лучшем случае к будущему году. В. А. Аветов понимал, что требовать у М. П. Костенко наряд — это все равно, что отказать в просьбе. Тогда он тоже рискнул, и спустя очень короткое время заказ был «спущен» в цех. Вскоре в ЛО ИАТ стали поступать готовые панели распреустройства, и монтажники успешно довели дело до конца.

К 1953 г. в ЛО ИАТ АН СССР были рассчитаны ЭДМ, на которых можно было решать широкий спектр важных электроэнергетических задач, а также проведена подготовка лабораторно-экспериментальной базы для исследований систем регулирования частоты и активной мощности, создана электродинамическая модель гидротурбины. К этому времени в отделении начались исследования:

различных систем возбуждения и основных принципов регулирования напряжения генераторов мощных энергосистем с дальними линиями электропередачи;

автоматического регулирования частоты и активной мощности в объединенных энергосистемах с дальними линиями передачи с целью выяснения рациональных принципов регулирования частоты и активной мощности и целесообразности ускорения процессов регулирования скорости гидротурбин;

различных принципов релейной защиты для мощных ГЭС и сверхдальних линий передач с обработкой со-

вместно с ТЭП релейной защиты для передачи Куйбышев—Москва;

регулируемого привода переменного тока с асинхронным короткозамкнутым двигателем и коллекторным генератором переменной частоты для различных систем привода.

Одновременно сотрудники ЛО ИАТ вели работы по системам электротяги на однофазном переменном токе повышенного напряжения, промышленной частоты, а также по специальным темам.

Результаты не заставили себя ждать. Как отмечалось в одном из отчетов тех лет, в лабораториях ЛО ИАТ были успешно исследованы важные энергетические проблемы, в частности:

«1. Разработаны и проверены на электродинамической модели принципы построения регуляторов возбуждения мощных синхронных генераторов ГЭС, работающих на дальние линии передачи.

Совместно с ИАТ АН СССР построен макет регулятора возбуждения с телефазометром, который прошел всесторонние испытания на модели. Новый тип регулятора возбуждения с телефазометром предполагалось передать на внедрение в промышленность.

2. Построены электродинамические модели гидротурбин для исследования регулирования частоты и активной мощности в мощных энергосистемах со сверхдальними линиями электропередачи. Проведены теоретические исследования работы мощных ГЭС на системы бесконечной мощности и на систему соизмеримой мощности. В результате работ было выявлено оптимальное быстродействие регуляторов скорости гидротурбин. Результаты работ были сообщены конструкторскому бюро завода для использования их при создании новых сверхмощных гидротурбин.

3. На электродинамической модели линии электропередачи Куйбышев—Москва совместно с ТЭП МЭС СССР было проведено исследование четырех видов защит линий передачи 400 000 В. Получены обширные экспериментальные материалы по следующим видам защит: дифференциально направленной; направленной фазовой и земляной защите, схеме избирателей для однофазного автоматического повторного включения и направленной фильтровой защите с высокочастотной блокировкой. Материалы по проведенным исследованиям используются

в ТЭП для окончательного выбора релейной защиты линии передачи Куйбышев—Москва.

4. Создана макетная установка регулируемого электропривода переменного тока с асинхронным короткозамкнутым электродвигателем и коллекторным генератором системы М. П. Костенко. На этой установке были исследованы режимы работы привода в соответствии с требованиями электрифицированного транспорта. Полученные экспериментальные данные подтвердили возможность внедрения такой системы электропривода на электровозах переменного тока. Материалы по проведенным работам сообщены Новочеркасскому электровозному заводу, где разрабатывался опытный электровоз переменного тока»⁸.

Как видим, с момента организации ЛО ИАТ все его основные работы были тесно увязаны с нуждами промышленности, причем очень часто они выполнялись в тесном содружестве с различными предприятиями. Так, в содружестве с заводом «Электросила», Ленэнерго, трестом «Свирьстрой» и ЛПИ сотрудники отделения провели исследования в области регулирования возбуждения и динамической устойчивости энергосистем. Вместе с Московским отделением ТЭП МЭС СССР были выполнены работы по релейной защите, а с Новочеркасским электровозным заводом — по приводу переменного тока для электротяги. ЛО ИАТ разработал быстродействующую систему для Ростовэнерго; по заданию МЭС СССР провел исследование действующей линии передачи с электромашиной компенсационной подстанцией.

Новым направлением работ ЛО ИАТ в это время явились исследования по системам электротяги на переменном токе. Их возглавили М. П. Костенко, А. Е. Алексеев и Д. А. Завалишин. Эта тематика возникла не случайно. Еще в 1940 г. на заседании ОТН АН СССР, посвященном рассмотрению вопроса о выборе основного электрооборудования для электрифицируемых дорог СССР, Костенко ратовал за систему переменного тока повышенного напряжения — 25 кВ, 50 Гц. Выбор такой системы позволил бы резко понизить потери электроэнергии, повысить экономичность работы электрооборудования, усовершенствовать его. В качестве электропривода, в случае принятия этой системы, можно было бы эффективно использовать коллекторные двигатели переменного тока, питаемые от кол-

⁸ Из материалов к отчету ЛО ИАТ. — Семейный архив М. П. Костенко. Рукопись.

лекторного генератора, разработанного ранее М. П. Костенко и работающего при постоянной частоте с переменным напряжением [21]. Тогда на совещании в Отделении технических наук было принято решение продолжить работы по коллекторному генератору переменного тока. Однако война прервала эти исследования, и вернуться к ним пришлось лишь в 1953 г. В то время основной принятой системой электрической тяги была система постоянного тока напряжением 3 кВ в контактной сети, уже не соответствующая техническим возможностям.

Для проведения расчетов Костенко пригласил свою бывшую дипломницу по ЛПИ А. Р. Дембо, которая затем работала под руководством ученого в ОБИСе завода «Электросила», где рассчитывала коллекторные машины. Позднее, вспоминая о начале своей деятельности в ЛО ИАТ в 1953 г., Дембо писала:

«Помню, как я пришла в кабинет Михаила Полиевктовича. Был уже ноябрь, в кабинете было холодно, и Михаил Полиевктович сидел в пальто. Я рассказала о том, что преподавательская работа, которой я занималась в то время, меня не удовлетворяет и что я хотела бы вновь работать с Михаилом Полиевктовичем.

Михаил Полиевктович посмотрел на меня, подумал и неожиданно спросил:

— А Вы хорошо знаете французский язык?

Свободно владея тремя основными европейскими языками, я ответила утвердительно, и тогда Михаил Полиевктович без лишних разговоров сказал:

— Я беру Вас в лабораторию электрической тяги.

Это было вполне объяснимо, так как в то время Франция была признанным лидером электрификации на переменном токе, и Михаил Полиевктович нуждался в помощнике, знающем не только расчеты и теорию тяговых машин, но и способным эффективно работать с зарубежной информацией. Он, как известно, никогда не закрывал глаза на достижения зарубежных исследователей, чем в то время многие грешили»⁹.

В дальнейшем Дембо в течение 14 лет вместе с Костенко, отстаивающим перспективность переменного тока, занималась вопросами электрификации железнодорожного транспорта, расчетами основного электрооборудования электровозов, тепловозов и газотурбовозов.

В 1953 г. Костенко был утвержден председателем Совета по электрификации железнодорожного транспорта. Расчетно-теоретические и экспериментальные работы, связанные с внедрением прогрессивной тяги на перемен-

⁹ Дембо А. Р. Воспоминания. — Архив автора. Рукопись.

ном токе (25 кВ, 50 Гц), проводились в Институте комплексных транспортных проблем и в ЛО ИАТ АН СССР. Рассматривались следующие варианты электрических схем с соответствующим электрооборудованием для электровозов: преобразовательная схема переменного-постоянного тока с вращающимися машинами и тяговыми двигателями постоянного тока; питание через трансформатор однофазных коллекторных тяговых двигателей (так называемых прямых двигателей); преобразовательная схема с инверторами и двигателями пульсирующего тока; преобразовательная схема с асинхронными тяговыми электродвигателями.

В то время наибольший интерес для электровозов, как считал Костенко, представляли два последних варианта. В этой связи он и проводил через Совет большую разъяснительную и научно-пропагандистскую работу. На заседаниях Совета регулярно выступали с докладами руководители и ответственные исполнители отдельных тем, периодически выходили сборники статей, посвященные тяге на переменном токе. В конце концов Совет привлек к идее электрификации на переменном токе внимание многих специалистов. Было принято важное решение о создании «опытного» участка электрифицированной железной дороги длиной около 1500 км «на системе тяги переменного тока повышенного напряжения промышленной частоты». Этот весьма напряженный участок находился на Транссибирской магистрали в районе Новосибирска—Красноярска. Выбор столь ответственного отрезка важной магистрали для проверки новой системы электрификации транспорта по существу означал ее принятие в качестве основной для всех железных дорог СССР. Это была большая победа М. П. Костенко и руководимых им сотрудников Отделения технических проблем АН СССР. С тех пор у нас в стране все основные новые линии электрифицированных железных дорог действуют на переменном токе 25 кВ промышленной частоты.

В начале 50-х годов в ЛО ИАТ продолжались работы по автоматизированному электроприводу, начало которым положил М. П. Костенко своими трудами по «синхронному повороту». Эти исследования проводились в лаборатории автоматизированного электрического привода, которую возглавил В. П. Андреев. Большую роль в организации лаборатории сыграли также В. В. Рудаков, Ю. А. Сабинин, Е. М. Смирнов.

Направление разработок, вспоминал Ю. А. Сабинин, определило строительство водных магистралей, таких как Волго-Балт, Волго-Дон и др. Сотрудники лаборатории провели теоретическое и экспериментальное исследование системы синхронного вращения асинхронных двигателей применительно к ее использованию для управления подъемно-опускными воротами шлюзов. Натурные эксперименты были выполнены на шлюзе Верхне-Свирской ГЭС. Затем в лаборатории был разработан привод ворот с использованием следящей системы, работающей на переменном токе, с асинхронными двигателями, управляемыми от силовых магнитных усилителей. Эта система имела ряд существенных преимуществ по сравнению с системой синхронного вращения: например, в связи со снижением предельно возможных моментов вращения снижались затраты на строительные конструкции и т. п. Работы в области автоматизированного привода и управления электромеханическими системами продолжали развиваться по отдельным направлениям, в частности, изучались системы постоянного тока, системы переменного тока, в том числе приводы с частотным управлением, системы с шаговыми двигателями и т. п.

В 1953 г. было принято решение о развитии в нашей стране крупного оптического приборостроения и создании телескопов с большим диаметром зеркала. В свою очередь, сооружение крупных телескопов выдвинуло задачу их всемерной автоматизации. Современный телескоп представляет собой сложный оптико-механический комплекс, стоимость которого весьма велика. Поэтому для повышения эффективности его использования и максимального уплотнения проводимых на нем экспериментов необходима комплексная автоматизация как самого телескопа, так и всех вспомогательных механизмов, используемых в процессе наблюдений.

С учетом нужд оптического приборостроения в ЛО ИАТ была создана лаборатория управления особо точными механизмами, которую возглавил Ю. А. Сабинин. Организации и становлению этой лаборатории большое внимание уделял Костенко. Благодаря его участию лаборатория со временем переросла в большой научный отдел. По инициативе Костенко доклады по разрабатываемой в лаборатории тематике неоднократно заслушивались в Президиуме АН СССР и в ОТН, позднее ОФТПЭ (отделение физико-технических проблем энергетики).

«К середине 50-х годов М. П. Костенко начинает задумываться о том, что обширная энергетическая программа, уже ясно вырисовывающаяся в работах ЛО ИАТ АН СССР, перерастает рамки проблем автоматизации и телемеханизации. Развитие энергетики как ведущей отрасли народного хозяйства Советского Союза требовало, по его мнению, разработки *проблемных* вопросов. Он стал думать о создании института проблемного типа, в котором могли бы быстро и эффективно разрабатываться наиболее актуальные, перспективные направления энергетики и электротехники на основе решения электромеханических проблем на базе использования электродинамической модели, считая, что таким проблемным институтам принадлежит особая роль.

Целью проблемных институтов, по мнению М. П. Костенко, являлась прежде всего разработка теоретических основ широких обобщающих и перспективных исследований и комплексных проблем крупных областей технических наук, например энергетики и электротехники. Они должны были, по его мысли, охватить направления, выходящие за пределы отдельных отраслей техники и производства. Проблемные институты технического профиля были призваны обеспечить развитие теории и создание «научного задела» — важнейшего условия быстрого роста производительных сил страны. Проводя исследования крупных теоретических проблем в интересах развития производства, они должны быть тесно связаны как с институтами физико-математического и химического профиля, так и с техническими институтами отдельных отраслей.

Конечно, Костенко понимал, что сразу такую сложную задачу реализовать не удастся. Первым шагом на пути к новому, «проблемному» институту, возможно «Институту проблем электромеханики», могло стать выделение ЛО ИАТ из Института автоматики и телемеханики АН СССР в отдельную, самостоятельную организацию, решающую проблемы энергетики и электротехники. Этот институт явился бы первым не только в СССР, но и в мире научно-исследовательским институтом крупного электромашиностроения, построенным на совершенно новых методологических основах. Естественно, что в основу его создания Костенко стремился положить принципы и идеи, которые он уже начал воплощать в жизнь 30 с лишним лет назад на заводе «Электросила».

Костенко понимал, что эффективное решение задач, стоящих перед энергетикой и электротехникой, неизбежно потребует проведения работ в самых различных, мало связанных между собой областях науки и техники. Необходимо была выработка таких методов исследования, которые уже не ограничивались бы одной стороной явления, а решали бы их комплексно, с системных позиций. Электродинамическая модель, позволяющая одновременно анализировать большой круг влияний и параметров, в максимальном приближении к физической сущности явлений была в этом смысле гигантским шагом вперед. Ни один метод исследования, взятый в отдельности, не мог дать столь важных и всеобъемлющих результатов, как исследования на модели». Моделирование явилось одним из высших воплощений творческого метода М. П. Костенко. «Идея физического моделирования энергосистем, — подчеркивал впоследствии И. Д. Урусов, — как бы завершала процесс интеграции разнородных по характеру наук. Институт, оснащенный такой моделью, мог теперь решать любые задачи крупного электромашиностроения. Результаты не замедлили сказаться. Электропромышленность получила возможность уверенного проектирования мощнейших турбо- и гидрогенераторов. Были созданы и отработаны новые быстродействующие системы возбуждения. Открыты эффективные законы автоматического управления, на основе которых была построена система «сильного регулирования». Разработаны вопросы переходных процессов в синхронных машинах, теории колебаний, исследованы новые области крупного генераторостроения, такие, как явления в торцевых зонах, и многие, многие другие вопросы, открывшие «зеленую улицу» потоку новых идей и усовершенствований в области создания основного электрооборудования для энергосистем Советского Союза»¹⁰.

К концу 1955 г. в ЛО ИАТ было уже 254 человека, в том числе 86 человек научного персонала. В отделении работали член-корреспондент АН СССР А. Е. Алексеев, кандидаты технических наук А. А. Воронов, И. А. Глебов, Ю. А. Сабинин и другие видные ученые. Все лаборатории стали полнокровными научными подразделениями. ЛО

¹⁰ Научковедческие интервью с представителями советской научной школы электромашиностроения... См. также: Урусов И. Д. Воспоминания. — Архив автора. Рукопись.

ИАТ превратилось в самостоятельный научный центр, решающий новые проблемы электромеханики, энергетики и автоматики.

Новый институт было решено назвать Институтом электромеханики АН СССР. М. П. Костенко подготовил все необходимые материалы для Президиума АН СССР по вопросу реорганизации ЛО ИАТ в ИЭМ АН СССР. В марте 1955 г. состоялось заседание Президиума АН СССР под председательством президента АН СССР, академика А. Н. Несмеянова, на котором выступили академик С. А. Христианович и академик М. П. Костенко. После обсуждения их предложения Президиум АН СССР решил реорганизовать ЛО ИАТ АН СССР в ИЭМ АН СССР и назначить директором нового научного центра академика М. П. Костенко. Таким образом, в 1955 г. на базе ЛО ИАТ АН СССР в Ленинграде под руководством академика М. П. Костенко возник новый академический институт — Институт электромеханики АН СССР.

С момента основания ЛО ИАТ М. П. Костенко неустанно заботится о воспитании и подготовке научных кадров. Как уже отмечалось, штат ЛО ИАТ был в основном заполнен молодыми специалистами — выпускниками ленинградских вузов, и в первую очередь кафедры электрических машин и электромеханического факультета ЛПИ им. М. И. Калинина. В целях содействия их научному росту в ЛО ИАТ была создана аспирантура и введена система соискательства. При создании Ученого совета одними из первых специальностей, по которым была организована защита диссертаций и присуждение ученых степеней, стали электрические машины и аппараты, а также автоматическое управление и приборы и устройства автоматического управления.

Воспоминания «ветеранов» института, близко знавших М. П. Костенко, воссоздают впечатляющую картину той незаметной, но важной работы, которую он проводил, формируя особый нравственный климат нового научного учреждения, обстановку творческого энтузиазма, требовательности и доброжелательности друг к другу. И прежде всего молодых специалистов привлекала личная заинтересованность Костенко в решении любой проблемы, его горячая увлеченность поисками новых задач. В этой связи один из ближайших сотрудников ученого, В. Е. Каштелян, вспоминал:

«Он сам горел в огне того дела, которым увлекался, и зажигал других. Если уж он загорался какой-нибудь новой идеей, то не было покоя ни ему самому, ни тому, кто с ним работал. Невозможно было оставаться равнодушным к тому, что он делал, и вопрос стоял так: либо делай, как он, либо уходи. Всех работавших с ним подкупало его личное участие в работе. Он вникал во все как крупные, так и мелкие вопросы, радовался успехами и огорчался неудачами. Он никогда ни к чему не был равнодушен. Его трудолюбию и огромной работоспособности завидовали многие молодые работники. Было много случаев, когда Михаил Полиевктович поздно вечером уходил с работы, озабоченный внезапно возникшим, но еще не решенным научным вопросом, а на следующее утро являлся на работу веселым и бодрым. Значит — решение пришло ночью.

Михаил Полиевктович был человеком крайне увлеченным своими делами, с горячим и вспыльчивым характером. Но его горячность и вспыльчивость правильно было бы противопоставить не спокойствию, а равнодушию. Михаил Полиевктович никогда не помнил зла, это знали все, поэтому, чувствуя свою правоту, с ним можно было спорить, не опасаясь последствий ни в том случае, если ты окажешься неправ, ни в том, если окажешься прав. А возможность откровенного спора с авторитетом в науке — это большое дело для его учеников, подчиненных.

В спорах Михаил Полиевктович обычно горячился, отстаивая свою точку зрения; несколько смущался и, возможно, злился в душе в тех редких случаях, когда был неправ, но старался не показывать этого; умел признать свою ошибку; к человеку, доказавшему его неправоту, относился не с ревностью, как это часто бывает, а с еще большим доверием и уважением. После споров «не в его пользу» он несколько сникал, задумывался и обычно искал предлог удалиться. Но когда в важном и сложном вопросе ему удавалось «положить на обе лопатки» своих оппонентов, был весел, разговорчив, глаза его горели. Тему разговора он тут же старался переменить, чтобы не ущемить самолюбие побежденных»¹¹.

«Вовлечение» в общую атмосферу творческого порыва начиналось, несомненно, с энтузиазма Костенко, с его личного примера. Он с горячим воодушевлением поддерживал всевозможные поисковые работы, приветствуя любые проявления самостоятельного мышления. Доктор технических наук Э. Г. Кашарский, один из первых аспирантов ЛО ИАТ, рассказывает об обстановке, царившей там в то время:

«Годы обучения в учебном институте М. П. Костенко, видимо, считал годами научного младенчества. Экзаменовал он, в частности, весьма либерально. Но аспиранту или поступающему на работу молодому сотруднику сразу же предъявлялись весьма высокие требования. Они должны были не только обладать высоким уровнем знаний, но и быть самостоятельными ис-

¹¹ *Каштелян В. Е.* Воспоминания. — Архив автора. Рукопись.

следователями, хорошо ориентирующимися в научной обстановке, способными оценить актуальность тематики и т. п.

Археолог по найденным монетам, оружию и предметам обихода восстанавливает образ жизни племени, палеонтолог по найденным костям судит о строении тела животного... Одним из любимых научных занятий, а может быть, игр академика Костенко была «охота за данными», в которую он с удовольствием вовлекал своих учеников. Он, конечно, не ограничивался простой систематизацией материалов. Специалисты знают разницу в объемах информации о машине в журнальной статье, в служебном формуляре и в собственной голове. Восстановить на основании краткой заметки с печеткой фотографией «начинку» электрической машины; перебрать многие варианты, докопаться до тонкостей, понятных только знатоку — в этом видел Михаил Полиевктович смысл «чтения с линейкой в руках». Глаза его горели азартом, и это глубоко личное отношение к техническому вопросу невольно передавалось его сотрудникам.

Молодым сотрудникам института было весьма поучительно наблюдать за тем, как личные черты М. П. Костенко переходят в стиль коллектива...»¹².

Сотрудникам ЛО ИАТ импонировала высокая культура работы и поведения М. П. Костенко, его требовательность к себе и другим. Э. Г. Кашарский вспоминал, как жарким июльским воскресеньем он, молодой аспирант, с очередной главой диссертации прибыл в поселок Комарово на дачу Костенко. На веранде домика в белой рубашке, обложившись журналами, работал Костенко. После взаимных приветствий он извинился и ушел в дом, чтобы вернуться уже в тройке и при галстукe.

Об исключительной четкости и пунктуальности Костенко рассказывают многие. Так, его бывший аспирант, в настоящее время — кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории электромагнитных исследований турбо- и гидрогенераторов ВНИИэлектромаш Л. Г. Лернер вспоминал, как М. П. Костенко как-то назначил ему свидание на 14 час. 15 мин. Однако в это время еще не закончился Ученый совет, на котором обсуждался какой-то важный вопрос. Лернер приготовился ждать своего руководителя. Каково же было его удивление, когда ровно в назначенный срок академик покинул совет для того, чтобы переговорить с аспирантом.

Сразу после утверждения темы диссертации Лернер попросил Костенко порекомендовать ему какую-нибудь литературу. На другой день Костенко разыскал аспиранта и вручил ему две странички, заполненных бисер-

¹² Кашарский Э. Г. Воспоминания. — Архив автора. Рукопись.

ным почерком. Оказалось, он специально ходил в библиотеку и после длительной работы составил список всей литературы, относящейся к теме будущей диссертации своего аспиранта.

В первые годы существования ЛО ИАТ секретарем его комсомольской организации была Г. Г. Корнитенко. Впоследствии она с гордостью вспоминала о теплых товарищеских отношениях, которые установились в коллективе между сотрудниками, независимо от их возраста и служебного положения:

«Я уверена, что секрет такой сплоченности заключался прежде всего в тщательном подборе кадров и твердом, но в то же время не назойливом руководстве коллективом. Будучи чрезвычайно занятым человеком, ведущим огромную научную работу, Михаил Полиевктович всегда находил время побеседовать с сотрудниками и особенно с молодыми специалистами, поступающими в институт. Он говорил, что ни один документ не может заменить личного впечатления о человеке. Беседа директора института с нами была хотя и непродолжительной, но весьма значительной по произведенному на нас впечатлению. Что мы умеем делать своими руками? — вот главный вопрос, который важно было выяснить Михаилу Полиевктовичу.

Мы стали сотрудниками института, влились в уже действующий коллектив. По своему научному и возрастному составу работники института делились на две группы. Старшие — это ученые с мировым именем, руководители работ; младшие — то «сырье», из которого предстояло вырастить ученых следующего поколения. Мы должны были научиться ставить и решать определенные научные и технические задачи, научиться жить в коллективе, учиться руководить. Безусловно, из этого не вытекало, что каждый из нас должен был стать директором, но каждый должен был научиться отвечать за тот участок работы, который был ему поручен. Всему этому Михаил Полиевктович учил прежде всего собственным примером. Уходя с головой в решение какой-либо новой проблемы, он увлекал и нас, своих учеников и помощников.

Он был щедр на идеи, которые с радостью дарил окружающим, причем преподносил эти идеи таким образом, чтобы нам казалось, что появились они в наших собственных головах. Вот эта его удивительная способность, трудолюбие и умение поделиться с людьми запасом знаний и впечатлений с успехом служили делу сплочения коллектива. Немаловажное значение имел и тот факт, что Михаил Полиевктович обладал какой-то внутренней интуицией на талантливых молодых людей. Он приглашал их в институт, создавал условия для научного роста, предоставлял полную свободу в научном отношении. Он всячески заботился о создании творческой обстановки в лабораториях, о научной поддержке молодежи и в конце концов — об улучшении быта молодых ученых. Он верил в молодежь и старался всеми силами способствовать ее росту, совершенствованию. Общение с молодежью не ограничивалось только служебными отноше-

ниями, Михаил Полиевктович любил приглашать нас к себе домой. «Я с вами чувствую себя тоже молодым», — не раз приходилось слышать от него, и он это доказывал, принимая участие в разнообразных и многочисленных наших затеях; не раз мы, затаив дыхание, слушали его рассказы об увиденном внутри страны и за рубежом, с массой иллюстрирующего материала, фотографий, проспектов. Михаил Полиевктович был неизменным почетным и действительным председателем на научных конференциях молодых ученых, часто присутствовал на комсомольских собраниях и даже бывал на наших костюмированных балах. В качестве особой привилегии Михаилу Полиевктовичу разрешалось приходить на наши маскарады в costume середины XX в.

Комсомольская организация была у нас небольшая, но деятельная, и деятельность ее всегда была в поле зрения Михаила Полиевктовича. Получали мы и нагоняи, и полезные советы. Иногда, случалось, заходил он на наши комсомольские собрания, тихонечко садился где-нибудь в сторонке и, казалось, совершенно не реагировал на наши бурные споры. Но всегда наступал момент, когда Михаил Полиевктович просил слова, и тут нам становилось ясно, что мимо не прошло ни одно наше слово, и тем более ни одно заблуждение. Все раскладывалось по полочкам, критиковалось, подсказывались пути решения наших проблем, инициатива, исходившая снизу, всегда охотно поддерживалась. Насколько важной считал Михаил Полиевктович работу с комсомольцами, можно судить по тому факту, что обычно члены комитета комсомола принимались им вне очереди.

При проведении совместных научных работ с другими учреждениями или мероприятий с комсомольцами других организаций никогда не возникало споров о распределении материальных затрат. Михаил Полиевктович говорил, что, если проводятся в жизнь интересные и полезные дела, то можно не считаться с тем, кто возьмет на себя затраты. От него можно было слышать: «Ну, пусть это будем мы»¹³.

«Боялись ли сотрудники своего руководителя? Пожалуй, да. Но в несколько ином смысле, чем обычно вкладывают в слово «бояться». В электромашиноведении существует специальный термин «разнос», который означает беспредельное увеличение скорости двигателя постоянного тока, если у него оборвется цепь возбуждения, вплоть до разрыва на части центробежными силами вращающегося якоря. У сотрудников же института это слово имело и другое значение: «получить разнос» — это значило выслушать от своего шефа замечания по какому-то поводу в форме, которая в сильной мере напоминала то аварийное состояние двигателя постоянного тока, о котором только что было сказано.

М. П. Костенко был человеком остроумным, и при случае умел удачно, как говорят, «связзвить». Этого также

¹³ Корниченко Г. Г. Воспоминания. — Архив автора. Рукопись.

побаивались. Как-то, несколько дней подряд заходя в лабораторию, академик заметил, что сотрудники одной из групп все еще снимают характеристики холостого хода модельного генератора. «У вас не научная группа, а какое-то общество по снятию характеристики холостого хода» — констатировал Костенко. Это замечание было воспринято сотрудниками куда более серьезно, чем любой «разнос». Впоследствии, когда он появлялся в лаборатории, взоры всей группы немедленно обращались к столу: не лежат ли на нем, не дай бог, характеристики холостого хода? Название «Общество по снятию...» сохранилось за этой группой надолго.

Костенко горячо любил молодежь, умел подбирать способных молодых специалистов, но и требовал с них без скидки на молодость. Он стремился, чтобы они выступали на совещаниях, семинарах и конференциях с серьезными по содержанию докладами, любил, когда молодые участвуют в прениях и особенно когда они высказывают свое мнение, спорят. «Это был своеобразный учебный «обстрел новобранцев», которые начинали самостоятельную научно-исследовательскую деятельность. Часто академик давал задание тому или иному молодому специалисту написать статью в журнал на определенную тему, затем лично просматривал ее содержание и помогал опубликовать. Успехи молодых он обычно всегда старался публично отметить. Молодежь часто собиралась у Михаила Полиевктовича дома за чашкой чая. У этого интересного человека, прожившего большую и не простую жизнь, объехавшего весь свет, было о чем рассказать молодежи. Такие беседы были крайне интересны и важны в воспитательном отношении»¹⁴.

Мы не случайно остановились выше столь подробно на методах работы М. П. Костенко с молодыми специалистами. В атмосфере творческого энтузиазма родились не только замечательные научные достижения, но и целый коллектив молодых исследователей.

¹⁴ *Каштелян В. Е.* Воспоминания. — Архив автора. Рукопись.

Глава девятая

Электродинамическое моделирование. Создание модели. Основные научные результаты, полученные на модели. Ленинская премия

Особое место в жизни и научно-технической деятельности М. П. Костенко занимают разработка метода электродинамического моделирования и создание электродинамических моделей энергосистем (ЭДМ). К этим работам он, как известно, приступил еще в 1942—1944 гг. в Среднеазиатском индустриальном институте, где создал первые модели для исследования энергосистем. Под его руководством в послевоенные годы (1947—1948 гг.) были разработаны проекты лабораторий электродинамического моделирования для кафедры электрических машин ЛПИ и ЭИ УзФАН. Частично они были осуществлены. Но это была лишь «проба сил»: основные исследования Костенко в этой области начались с 1951 г., когда он возглавил Ленинградское отделение Института автоматики — ЛОИАТ АН СССР.

Прежде чем перейти к описанию этого периода научно-технического творчества М. П. Костенко, коротко расскажем о самих электродинамических моделях энергосистем.

Моделирование — это метод исследования различных объектов на их моделях. Естественно, что для применения этого метода сначала нужно создать такую модель исследуемого объекта, которая точно (или с достаточной степенью точности) воспроизводит бы изучаемые в нем явления и зависимости. Понятие «модель» в науке и технике весьма многообразно. Существует большое число различных видов моделирования, которые нелегко даже классифицировать. Что же касается моделирования энергосистем, то в этом случае можно говорить о трех основных видах моделирования.

Математическое моделирование энергосистем состоит в том, что для исследуемого объекта составляется система математических уравнений, решение которой на ЦВМ дает численные характеристики происходящих в нем процессов в виде графиков или таблиц. При этом качество получаемых результатов всецело зависит от точности представлений, на основе которых составлялись уравнения, описывающие исследуемое явление. Матема-

Тическое моделирование широко применяется в проектных, эксплуатационных и других расчетах, но, не обладая физической наглядностью, часто требует дополнительной проверки полученных результатов.

Аналоговое моделирование основано на довольно часто встречающейся аналогии математического описания явлений, имеющих различную физическую природу. При исследовании энергосистем оно осуществляется обычно с помощью аналоговых вычислительных машин, электрическая схема которых набирается таким образом, чтобы описывающие ее уравнения соответствовали уравнениям исследуемого объекта.

Физическое моделирование заменяет изучение объекта или явления экспериментальным исследованием его модели, имеющей аналогичную с оригиналом физическую природу. Обычно оно связано с созданием модели исследуемого объекта, размеры которой существенно меньше, чем у оригинала. При исследованиях энергосистем модели их элементов изготавливаются не по принципу геометрического подобия, а по принципу подобия проходящих в них электромеханических процессов. Поскольку весьма желательно, чтобы скорости протекания процессов в модели и в оригинале были одинаковы, то обычно при моделировании энергосистем коэффициент подобия по времени выбирают равным единице. В этом случае необходимо, чтобы соответствующие параметры модели и оригинала, выраженные в относительных единицах, были равны, а характеристики совпадали. Например, модель мощной синхронной машины должна иметь значительно меньшие размеры, чем настоящая машина, но быть спроектированной таким образом, чтобы выдерживать указанные выше требования к ее параметрам и характеристикам. Так, турбогенераторы с цилиндрическими роторами обычно моделируют неявнополюсными синхронными генераторами с равными магнитными проводимостями по осям « d » и « q », а явнополюсные гидрогенераторы — явнополюсными машинами с существенно различающимися x_d и x_q .

Сопоставляя названные виды моделирования энергосистем, можно отметить, что математическое моделирование обеспечивает высокую точность вычислений, но дает правильный ответ лишь в тех случаях, когда уравнения, параметры и характеристики исследуемого объекта известны с достаточной точностью. При математическом

моделировании приходится оперировать с уравнениями, отражающими уже имеющиеся представления о явлении. Точность ответа даже при высокой точности вычислений будет определяться в основном правильностью этих представлений, а они всегда являются в какой-то мере приближенными. Чтобы правильно составить все необходимые математические уравнения исследуемого объекта, нужно очень хорошо знать сущность протекающих в нем процессов. Однако в большинстве случаев исследуются именно те процессы, сущность которых еще не совсем ясна, и поэтому не для всех элементов объекта могут быть правильно составлены необходимые уравнения.

В случае физического моделирования природа процессов, протекающих в оригинале и модели, одинакова, и поэтому основная задача экспериментатора — обеспечить условия близкого совпадения этих процессов. Для этого необходимо изготовить все элементы модели с такими же параметрами и характеристиками, как и у оригинала. На этом пути также существуют свои специфические трудности, которые приходится преодолевать.

Очевидно, что те части сложной энергосистемы, которые подлежат подробному исследованию, лучше, если это возможно, моделировать по «физическому» принципу. В то же время другие ее части, рассмотрение которых необходимо лишь для обеспечения исследования первых, могут быть представлены их аналогами или математическими моделями, поскольку для них, как правило, допустимы более значительные обобщения и упрощения.

Что же представляют собою современные электродинамические модели энергосистем, и в частности ЭДМ, которую начали разрабатывать в ЛО ИАТ АН СССР, затем в Институте электромеханики АН СССР (сейчас — ВНИИЭлектромаш) под руководством академика М. П. Костенко?

Прежде всего необходимо отметить, что широко вошедший в практику термин «электродинамическая модель энергосистем» обусловлен тем, что применение в экспериментальных установках такого рода физических моделей вращающихся электрических машин позволяет воспродолжить на них динамические явления как электрического, так и механического характера и исследовать как электромагнитные, так и электромеханические процессы в электрических системах. Они создаются на ос-

нове использования всех рассмотренных видов моделирования и в этом отношении представляют собою гибридные экспериментальные установки.

ЭДМ — это в определенном масштабе копия (обычно упрощенная) энергетической системы. При этом сохраняется физическая природа основных элементов. Модель системы, разумеется, не может содержать такого большого количества элементов, как оригинал. Поэтому в ней по возможности подробно выполняется лишь исследуемая часть системы. Основными элементами ЭДМ являются синхронные генераторы, трансформаторы, линии передач, первичные двигатели (гидравлические и паровые турбины) и нагрузка (потребители электрической энергии). Существенное преимущество ЭДМ перед другими видами моделей — возможность использования в ее схеме натуральных устройств регулирования, управления и защит, математическое описание которых может быть весьма сложным и неизбежно связано с рядом упрощений, а следовательно, и с уменьшением точности и достоверности результатов.

При моделировании необходимо обеспечить равенство критериев подобия модели и оригинала, относящихся к электромагнитным и электромеханическим процессам. Основными переменными величинами в этих процессах являются напряжения, токи, мощности, вращающие и тормозные моменты, а также скорости, ускорения и угловые положения роторов электрических машин относительно оси магнитного поля их статоров. Как уже отмечалось, при моделировании электрических систем наиболее удобно применять масштаб времени, равный 1 : 1. Это во многом облегчает анализ результатов эксперимента и позволяет использовать в модели многие промышленные образцы электрооборудования. Поэтому модели электрических систем обычно имеют частоту 50 Гц.

Анализ дифференциальных уравнений электрических машин и трансформаторов показывает, что для удовлетворения условий подобия модели и оригинала (при масштабе времени 1 : 1) необходимо равенство их соответствующих индуктивных и активных сопротивлений, выраженных в относительных единицах, а также равенство постоянных инерций роторов. В связи с явлением насыщения стали магнитные цепи электрических машин и трансформаторов являются нелинейными. Это обстоятельство налагает дополнительное условие: совпадение отно-

сительных характеристик намагничивания (характеристик холостого хода) реальных машин и машин-моделей.

Наибольшая трудность моделирования электрических систем — это выполнение указанных условий подобия генераторов и трансформаторов. Дело в том, что с уменьшением геометрических размеров генератора или трансформатора относительные значения индуктивных сопротивлений уменьшаются, а активных, наоборот, возрастают. Поэтому их невозможно моделировать на основе геометрического подобия. При разработке моделей необходимо применять специальные конструкции генераторов и трансформаторы, номинальная мощность которых меньше габаритной соответственно в 8—12 и 5—8 раз.

Модельные генераторы и трансформаторы должны быть универсальными. Для этого к каждой машине прилагается несколько запасных роторов в явнополюсном и неявнополюсном исполнении с разными диаметрами; обмотки статора выполняются с выводами, позволяющими изменять ее схему; на валу устанавливаются диски изменения инерционной постоянной; в цепь ротора, а иногда и статора включаются компенсаторы активных сопротивлений. Универсальность модельных трансформаторов обеспечивается отпайками, меняющими коэффициенты трансформации, а также магнитными шунтами и несимметричным расположением обмоток, влияющими на индуктивные сопротивления.

В качестве компенсаторов активных сопротивлений обычно используются коллекторные генераторы с последовательным возбуждением (для ротора — в однофазном, для статора — в трехфазном исполнениях), или тиристорные преобразователи, с помощью которых вводятся электродвижущие силы, пропорциональные токам по величине и встречные им по направлению. Это эквивалентно включению отрицательных активных сопротивлений, компенсирующих относительно большие величины реальных сопротивлений обмоток машин-моделей.

Линии электропередач представляют собою цепи с распределенными по длине параметрами, чрезвычайно трудно воспроизводимые в модели. Поэтому при моделировании электрических систем линии передач выполняются в виде цепочечных схем замещения, состоящих из отдельных ячеек, содержащих активные, индуктивные и емкостные сопротивления. Одной такой П-образной или Т-образной ячейкой может быть представлен участок фазы воз-

душной линии длиной около 100 км или кабельной линии длиной около 50 км. Модели линий электропередач снабжаются необходимой для нормальной работы коммутационной аппаратурой, а также аппаратурой для имитации различных аварийных режимов, отключений поврежденных участков и пр.

Что касается паровых и гидравлических турбин и механической нагрузки электродвигателей, то при моделировании часто ограничиваются воспроизведением их вращающих и тормозных моментов, используя для этой цели модели-аналоги (электрические машины постоянного тока со специальными схемами управления). В тех случаях, когда исследуются процессы, связанные с автоматическим регулированием турбин, применяются более сложные модели, в которых достаточно точно и подробно воспроизводятся параметры и характеристики оригиналов. Такие модели-аналоги обычно содержат большое количество элементов счетно-решающей техники. Нагрузки моделируются промышленными электродвигателями, выпрямителями и реостатами соответствующей мощности.

При исследовании электрических систем применяются также модели электропередач постоянного тока, основными элементами которых являются выпрямители, линии передач, инверторы и регулирующая аппаратура. Эти модели являются весьма эффективным средством изучения работы передач постоянного тока в энергосистемах.

Одним из важнейших вопросов создания моделей электрических систем является выбор масштабов моделирования и в первую очередь масштаба мощности. Мощность модели должна прежде всего быть такой, чтобы собственное потребление автоматических регуляторов, устройств релейной защиты, измерительных приборов и трансформаторов не приводило к существенным погрешностям. В то же время модель должна оставаться лабораторной установкой. Опыт эксплуатации выполненных моделей показывает, что мощность наибольших модельных синхронных генераторов должна составлять 15—30 кВА, наименьших — около 3 кВА. Что касается напряжений, то для модельных генераторов и приемников электрической энергии удобно использовать обычное сетевое напряжение 220 или 380 В, а для линий передач — повышенное напряжение порядка 1—2 кВ, что позволяет уменьшить влияние сопротивления контактов схемы.

При подготовке модели электрической системы для решения определенной задачи прежде всего выбираются (с учетом параметров имеющегося модельного оборудования) масштабы мощности, напряжений и рассчитываются масштабы сопротивлений. Затем производится настройка параметров и характеристик всех элементов модели (с тем чтобы они наиболее полно удовлетворяли условиям подобия) и соединение элементов между собою в соответствии со схемой изучаемой энергосистемы. При работе на модели процессы регистрируются с помощью осциллографов и измерительных приборов.

Электродинамическая модель ВНИИэлектромаша — одна из крупнейших подобных экспериментальных установок в нашей стране и в мире. По своему оснащению современным оборудованием — она уникальна. В 1978—1979 гг. она переведена в специально построенное здание общей площадью 3,2 тыс. м², причем только машинный зал модели, расположенный на первом этаже здания, занимает помещение площадью 1000 м². На втором этаже размещаются модели линий электропередач (500 м²) и пульт управления модели (500 м², 52 стандартные панели, общая длина 50 м). Весь третий этаж занят камеральными помещениями для сотрудников (490 м²), а также мастерскими по изготовлению, монтажу и наладке макетов разрабатываемой и исследуемой на модели аппаратуры регулирования и управления (420 м²).

Электродинамическая модель состоит из 24 синхронных машин-моделей мощных гидрогенераторов, турбогенераторов и синхронных компенсаторов. Каждому модельному генератору соответствует группа из трех однофазных модельных трансформаторов, через которые он включается на линию. Модели линий электропередач различных классов напряжения переменного тока позволяют представлять до 12 000 км натуральных линий в одноцепном исчислении. Кроме того, имеется модель электропередачи постоянного тока, настроенная на параметры проектируемой электропередачи Экибастуз—Центр, а также модель различного рода нагрузок, с помощью которой можно имитировать до 100 000 МВА потребляемой мощности. Все модельные генераторы снабжены моделями первичных двигателей (паровых и гидравлических турбин), выполненными в виде физических аналогов: основным элементом аналоговой модели является электрический двигатель постоянного тока со специальным управлением,

Позволяющим воспроизводить на валу модели генератора вращающий момент турбины, причем в необходимых случаях — со всеми особенностями статических и динамических ее характеристик. Системы возбуждения модельных гидро- и турбогенераторов и синхронных компенсаторов являются физическими моделями реальных систем возбуждения, выполненными на тиристорах соответствующей меньшей мощности.

Неоценимое достоинство электродинамической модели: в ее схеме в качестве штатного оборудования используются самые совершенные современные образцы аппаратуры регулирования и управления, моделировать которые было бы слишком трудно. В то же время при разработке новых типов такой аппаратуры ее макеты и опытные образцы включаются в схему модели вместо штатного оборудования и исследуются в условиях, практически совпадающих с условиями будущей их работы в реальной энергосистеме. Модель позволяет также производить наладку и настройку головок образцов аппаратуры перед установкой их на электростанциях. К такой аппаратуре, используемой и исследуемой на электродинамической модели, относятся: автоматические регуляторы возбуждения; электрическая часть регуляторов частоты вращения паровых и водяных турбин; системы управления преобразователями электропередач постоянного тока; аппаратура регулирования токов и напряжения электропередач постоянного тока; системы управления преобразователями возбудителей гидро- и турбогенераторов; различные виды релейных защит линий электропередач и др. Естественно, что все виды этой аппаратуры по отношению к электродинамической модели являются абсолютно точными физическими моделями самих себя.

М. П. Костенко всегда подчеркивал, что нельзя противопоставлять различные методы исследований и, в частности, различные способы моделирования. В умелом сочетании различных способов моделирования он видел путь к успеху, и поэтому с самого начала представлял себе электродинамическую модель как некую гибридную установку, где будут использованы преимущества сочетания физического, аналогового и математического моделирования с применением натурной аппаратуры регулирования и управления. Опыт создания, развития и долголетней работы на модели доказал правоту Костенко. В настоящее время модель представляет собою цифро-аналого-фи-

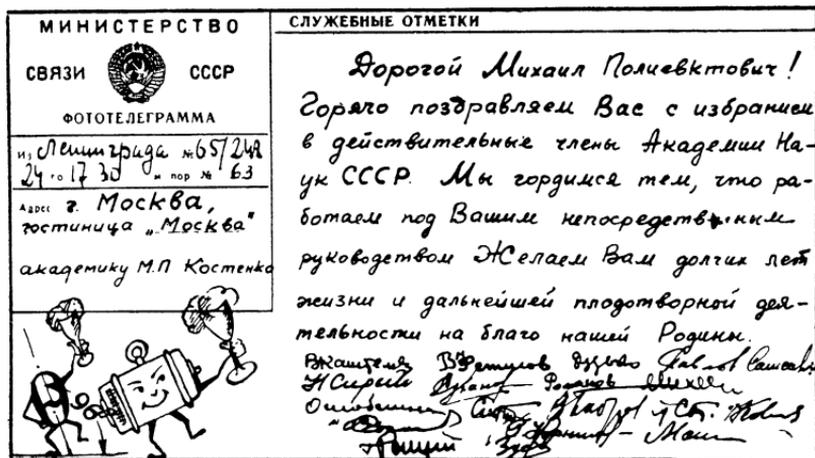
зический комплекс (ЦАФК), в котором наиболее полно проявляются достоинства каждого из примененных методов моделирования; точность ЦВМ при выполнении логических и арифметических операций; быстродействие АВМ; возможность исследования процессов на объектах реальной физической природы, обеспечиваемая физической моделью и реальной аппаратурой регулирования и управления.

Составными частями электродинамической модели служат аналоговые вычислительные машины, а также управляющая вычислительная машина типа М—6000. С помощью АВМ и УВМ можно, например, реально синтезировать разрабатываемую систему управления, а затем исследовать ее на модели. Это исключает обычный долгий путь макетирования, необходимый для реализации и проверки алгоритмов разрабатываемых систем. Таким образом, существенно сокращается время выполнения научно-исследовательских работ. УВМ М—6000 используется также для автоматизации эксперимента на модели, сбора информации о квазиустановившихся режимах работы и статистической обработки результатов эксперимента.

Огромная работа, проделанная М. П. Костенко в области разработки электродинамических моделей завершилась большим успехом. Была создана уникальная экспериментальная установка, которая позволила выполнить целый ряд важнейших научных исследований. В настоящее время многое из того, что было сделано, кажется обычным и не слишком трудным. Однако в то время, когда все это зарождалось, приходилось думать над каждым, даже мелким вопросом: готовых решений еще не было.

50-е годы стали своеобразной вершиной научно-технической деятельности Михаила Полиевктовича. В 1953 г. он был избран действительным членом АН СССР.¹ Этому способствовали не только его прежние большие заслуги в науке и технике, но и существенные успехи, достигнутые к этому времени в электродинамическом моделировании и первые важные результаты, полученные в исследованиях на модели, относящиеся к режимам работы, устойчивости и регулированию возбуждения гидрогенера-

¹ См. *Христианович С. А.* Новое пополнение Отделения технических наук [к выборам в Академию наук СССР. Беседа]. Правда, 1953, 18 октября.



Поздравление от сотрудников Института электроме­ханики в связи с избранием в действительные члены АН СССР (осень 1952 г.)

торов строившейся Волжской ГЭС им. В. И. Ленина. Кандидатура М. П. Костенко, предложенная Г. М. Кржижановским, была поддержана многими видными учеными. Избрание Костенко академиком явилось всеобщим праздником коллектива института. Молодые специалисты направили ему в Москву фототелеграмму, на которой, кроме поздравительного текста, был нарисован пустившийся в пляс угол Θ , с бокалом в руке и с наклоном к горизонту в 96° . Символика была простая: бокал обозначал, что случившееся событие должно быть отмечено, а угол $\Theta = 96^\circ$ говорил об обеспечении работы электропередачи в зоне искусственной устойчивости.

В последующие годы в институте продолжались работы по созданию и расширению ЭДМ и одновременно на модели интенсивно проводились исследования вопросов устойчивости и регулирования дальних электропередач. Аналогичные работы успешно проводились также в МЭИ под руководством проф. В. А. Веникова. В научно-технической литературе публиковалось много статей как о самих ЭДМ, так и о результатах выполненных на них исследований. ЭДМ, если можно так сказать, входили в моду: некоторые другие научно-исследовательские институты начали создавать собственные электродинамические модели. Модели ВНИИэлектромаша и МЭИ были перегружены различными исследованиями, на них был

выполнен огромный объем экспериментов, которые в итоге обеспечили создание и внедрение в энергосистемах СССР впервые в мировой практике автоматических регуляторов возбуждения сильного действия. В 1958 г. М. П. Костенко и В. А. Веников за разработку и создание электродинамических моделей энергетических систем были удостоены Ленинской премии. Академик А. Н. Несмеянов в своей статье «Победа советской науки и техники» (Правда, 1958, 22 апреля) высоко оценил вклад новых лауреатов в развитие технических наук. Тогда же академик М. П. Костенко был избран депутатом Верховного Совета СССР, а годом раньше — членом Президиума АН СССР и Уполномоченным Президиума АН СССР по Ленинграду.

К концу 50-х годов, когда электродинамическая модель института, руководимого Костенко, была полностью введена в действие, возникла необходимость подвести итоги исследований в области теории электродинамического моделирования и обобщить огромную проделанную работу по созданию ЭДМ. По указанию академика М. П. Костенко и под его редакцией основными разработчиками ЭДМ был написан капитальный труд «Электродинамическое моделирование энергетических систем»². В книге были изложены принципы электродинамического моделирования мощных энергосистем и их элементов, дан обзор существовавших в то время в мировой практике моделей и подробно описана электродинамическая модель ВНИИЭлектромаша.

Объем экспериментальных исследований, выполненных на ЭДМ, огромен. Их не возможно даже просто перечислить. Поэтому постараемся коротко охарактеризовать хотя бы крупные разделы научных работ, выполненных на ЭДМ и давших важные результаты.

Самые первые научные исследования на ЭДМ были посвящены вопросам автоматического регулирования возбуждения (АРВ) мощных гидрогенераторов, а впоследствии — и особенностям регулирования возбуждения турбогенераторов. В результате были сформулированы требования к АРВ сильного действия и предложен новый способ сильного регулирования по изменению и первой производной частоты напряжения генератора, который

² Электродинамическое моделирование энергетических систем/
Под ред. М. Костенко. Л.: Изд-во АН СССР, 1959.



Академик М. П. Костенко — директор Института электро-механики АН СССР, в домашнем кабинете

применяется в современных регуляторах.

Следует напомнить, что именно М. П. Костенко в одной из своих работ [53] впервые объяснил физическую сущность так называемого сильного регулирования возбуждения. Его объяснение характеризуется простотой и умением доступно излагать сложные вещи. Вкратце оно сводится к следующему.

Основной величиной, определяющей устойчивость электропередачи, является фазовый угол Θ между векторами ЭДС синхронного генератора и напряжения приемной системы, складывающийся из углов генератора и линии

Θ_r и Θ_d . Поэтому как контроль запаса устойчивости, так и степень ее повышения целесообразно осуществлять и варьировать в функции от этого угла. Как известно, силы, обеспечивающие затухание колебаний (как больших, так и малых), пропорциональны скорости. В рассматриваемом случае такой обобщенной силой является дополнительный вращающий момент на валу синхронного генератора, изменяющийся пропорционально скорости (первой производной) изменения угла Θ . Этот момент создается с помощью АРВ, для чего последний должен обеспечить изменение дополнительной составляющей тока возбуждения генератора, вызванной регулированием, по закону, близкому к первой производной угла. Учитывая, однако, что обмотка возбуждения синхронного генератора обладает большой электромагнитной инерционностью и, кроме того, значительной инерционностью может обладать система возбуждения, выходной сигнал АРВ должен, как правило, опережать по фазе первую производную угла. При этом в зависимости от инерционности возбудительных систем и величины собственных частот качаний агрегатов опти-

мальные опережения сигнала АРВ в разных случаях будут различными. Таким образом, для того, чтобы обеспечить требуемые величину и фазу дополнительной составляющей тока возбуждения синхронного генератора, необходимо использовать сигнал, пропорциональный сумме первой и второй производных угла, которые с известным допущением можно рассматривать как систему ортогональных векторных величин. Что же касается выбора в каждом случае оптимального опережения суммарного сигнала АРВ, то оно достигается надлежащим изменением коэффициентов регулирования по первой и второй производным угла.

Такой подход к явлениям с точки зрения их физической сути очень помогал тем, кто работал с Костенко, и особенно молодым специалистам, читавшим его работы. Одно дело получить, например, математическое выражение, из которого следует, что «для демпфирования качаний синхронной машины нужно использовать регулирование ее возбуждения по первой и второй производным угла (по относительной скорости и ускорению)», и совсем другое — имея это выражение, понимать еще и физическую сущность процесса, который оно описывает.

При разработке на ЭДМ автоматических регуляторов были исследованы различные способы сильного регулирования возбуждения (по первой и второй производным напряжения генератора, тока генератора, фазного угла Θ , частоты и т. п.). Было установлено, что наилучшие результаты работы генераторов станции через дальнюю линию электропередачи на приемную энергосистему получаются при регулировании возбуждения по фазному углу Θ и его первой и второй производным $\frac{d\Theta}{dt}$ и $\frac{d^2\Theta}{dt^2}$.

Однако учитывая необходимость применения в этом случае телепередачи фазы напряжения приемной энергосистемы и связанное с этим уменьшение надежности работы системы регулирования возбуждения, на гидрогенераторах Волжской ГЭС возбуждение регулировали по току линии и его первой и второй производным.

С усложнением схем энергосистем с дальними линиями электропередач в условиях, когда генераторы электростанции работают на общие шины, от которых линии отходят в разных направлениях, появилась необходимость совершенствования сильного регулирования возбуждения. Здесь регулирование по току линии или по углу Θ за-

труднено в связи с тем, что режим работы каждой линии характеризуется своими углом и током. Выполненные на ЭДМ исследования показали возможность и целесообразность применения регулирования возбуждения по изменению и первой производной частоты напряжения на шинах станции или на зажимах генератора вместо первой и второй производных тока линии или угла Θ .

Исследование эффективности форсирования возбуждения показало, что с помощью этого метода при наличии быстродействующих систем возбуждения и автоматических регуляторов сильного действия динамическая устойчивость дальних электропередач может быть повышена до уровня их статической устойчивости в послеаварийных режимах, и даже при трехфазных коротких замыканиях практически обеспечивается устойчивый переход на работе в послеаварийном режиме в зоне искусственной устойчивости с углами $\Theta = 100 - 110^\circ$. Однако для обеспечения этого в некоторых режимах требуются высокие кратности форсирования. Исследования были выполнены вплоть до 10-кратного форсирования по отношению к напряжению возбуждения генератора, соответствующего номинальной нагрузке.

В процессе экспериментов была оценена эффективность сильного регулирования возбуждения в различных условиях его применения: для гидрогенераторов с улучшенными и обычными параметрами, турбогенераторов с обычными и ухудшенными параметрами, капсульных гидрогенераторов, синхронных компенсаторов, а также для синхронных генераторов с инерционными и быстродействующими системами возбуждения. Применительно ко всем перечисленным условиям была исследована эффективность форсирования возбуждения.

Исследования на ЭДМ явились основой для разработки и внедрения в СССР впервые в мировой практике АРВ сильного действия. С помощью моделей не только решались принципиальные структурные и схемные вопросы создания регуляторов, но и проводились их испытания и исследования в реальных условиях работы, вплоть до выбора оптимальных настроек перед установкой на электростанциях. За время существования ЭДМ было разработано три поколения АРВ сильного действия: первое — на электронных лампах, второе — на магнитных усилителях, третье — на полупроводниках и интегральных микросхемах.

Исследования показали большую эффективность электрического торможения синхронных генераторов, работающих на дальние линии электропередач. Применение нагрузочных сопротивлений, кратковременно включаемых в аварийных режимах на сборные шины станции или на зажимы генераторов, дает возможность повысить динамическую устойчивость дальних электропередач до уровня их статической устойчивости даже при обычных кратностях форсирования возбуждения ($K=1,5-2$). Наибольшая эффективность электрического торможения, как показали опыты на ЭДМ, достигается в случае АРВ сильного действия, обеспечивающих высокую статическую устойчивость в послеаварийных режимах. Для получения наибольшей эффективности электрического торможения нужно изменять момент включения сопротивлений в зависимости от условий аварийного режима, а отключать их в момент достижения ротором первого максимального отклонения. Управление нагрузочными сопротивлениями практически может быть осуществлено по скольжению роторов синхронных генераторов. Сопротивления включаются при достижении скольжением определенного значения, отключаются — при скольжении, равном нулю.

С помощью метода электродинамического моделирования было исследовано влияние различных параметров синхронных генераторов на устойчивость дальних электропередач. Эти исследования показали, что величины индуктивных сопротивлений синхронных генераторов (x_d , x'_d , x_q) в случае применения АРВ сильного действия не оказывают заметного влияния на статическую устойчивость дальних электропередач при поддержании постоянства напряжения на сборных шинах станции. На динамическую устойчивость при коротких замыканиях вблизи станции влияет величина сопротивления x'_d . С удалением точки короткого замыкания от станции это влияние становится незначительным.

Исследования показали, что увеличение инерционной постоянной машины в 1,5 раза или уменьшение ее x'_d в 2 раза даже при трехфазных замыканиях равноценны (по своему влиянию на динамическую устойчивость) повышению кратности форсирования возбуждения только на одну единицу (с $K=2$ до $K=3$ или с $K=3$ до $K=4$). Поэтому улучшать параметры генераторов для повышения устойчивости дальних электропередач за счет увеличения их весов и габаритов в современных усло-

виях нецелесообразно. Необходимое повышение динамической устойчивости может быть получено за счет таких эффективных средств, как форсирование возбуждения, продольная емкостная компенсация ЛЭП и электрическое торможение синхронных генераторов³.

Это был крайне важный вывод, имеющий большое значение для развития электротехнической промышленности и энергетики страны, поскольку он открывал путь к постройке очень крупных электрических машин с высоким КПД и низким удельным расходом материалов.

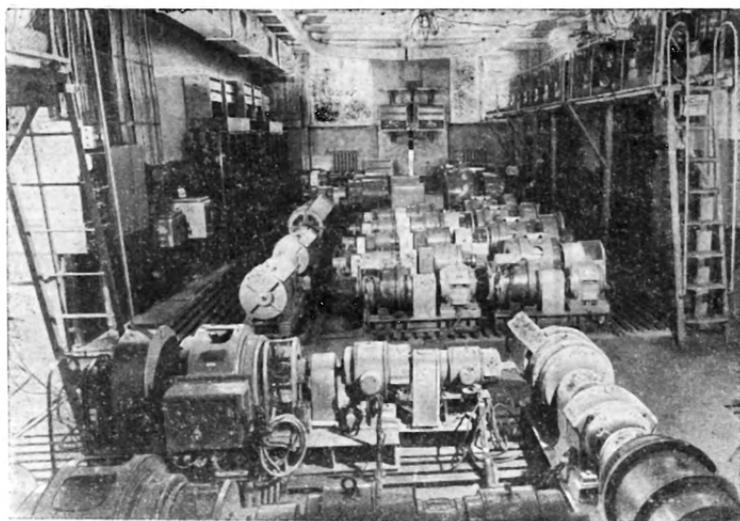
С помощью ЭДМ были подробно исследованы и проанализированы многие способы и средства повышения устойчивости электропередач и электрических систем, в том числе аварийное регулирование паровых турбин, специальное регулирование электропередач постоянного тока, использование синхронных компенсаторов, применение быстродействующих релейных защит и выключателей и т. п.

ЭДМ во многом помогла создателям быстродействующих систем возбуждения турбо- и гидрогенераторов и синхронных компенсаторов, и в первую очередь — разработчикам быстродействующих электромашинных систем возбуждения, которые сначала были применены для гидрогенераторов Волжской ГЭС им. В. И. Ленина.

В начале 60-х годов на ЭДМ разрабатывались и исследовались системы возбуждения с ионными преобразователями. Ведущую роль в создании и внедрении новых возбудительных систем играл институт, руководимый М. П. Костенко. Эти работы открыли широкую дорогу применению АРВ сильного действия. Способствуя значительному повышению статической и динамической устойчивости электрических систем, они обеспечили большой экономический эффект. Благодаря им наша страна заняла ведущее положение в этой области техники. В 1968 г. работа по созданию и внедрению быстродействующих систем возбуждения с управляемыми преобразователями была удостоена Государственной премии СССР.

Дальнейшим этапом совершенствования возбудительных систем стало создание статических систем возбуждения с тиристорными преобразователями.

³ Костенко М. П. Применение в СССР метода электродинамического моделирования для решения задач больших энергетических систем. — Семейный архив М. П. Костенко. Рукопись.



Зал модельных агрегатов электродинамической модели ВНИИ-электромаша

Рост единичных мощностей современных турбогенераторов и возникшие в связи с этим трудности создания надежного скользящего щеточного контакта для подведения тока к вращающемуся ротору выдвинули проблему разработки и внедрения бесщеточных систем возбуждения. Она также решалась с помощью ЭДМ. На электродинамической модели отрабатывались и проверялись макеты почти всех узлов и блоков разрабатываемых бесщеточных систем, а также новые принципиальные и схемные решения. В результате этого даже самые первые бесщеточные системы возбуждения были сразу сданы в эксплуатацию. Институтом совместно с НИИ ЛПЭО «Электросила» были созданы уникальная бесщеточная диодная система возбуждения турбогенератора мощностью 1200 МВт, а также первая в мире бесщеточная тиристорная система возбуждения турбогенератора мощностью 300 МВт. Неоценимую роль сыграла ЭДМ при разработке и наладке устройств бесконтактного контроля и измерений для бесщеточных систем возбуждения.

Наконец, нужно указать еще одну большую область исследований, в которой ЭДМ имели решающее значение. Речь идет о создании в СССР мощных электропере-



Председатель Президиума Верховного Совета СССР К. Е. Ворошилов вручает академику М. П. Костенко орден В. И. Ленина

дач постоянного тока. Эти исследования были начаты в начале 50-х годов и продолжаются до сих пор. Сначала они проводились применительно к электропередаче постоянного тока 800 кВ Волгоград—Донбасс, в настоящее время — применительно к такой передаче 1500 кВ Экибастуз—Центр.

На ЭДМ исследовались буквально все вопросы, связанные с созданием электропередач постоянного тока: схемы, режимы совместной работы с такими электропередачами других служб, проблемы регулирования, аварийные режимы и т. д. Но особенно большое значение ЭДМ имела и имеет при разработке аппаратуры автоматического регулирования и управления для электропередач постоянного тока. Многие специалисты считают, что без электродинамической модели создать такую аппаратуру было бы весьма трудно: в процессе работы над ней требуется неоднократная экспериментальная проверка принятых принципиальных и схемных решений. Модель же, как уже отмечалось, позволяет не только проверять такие решения, но и испытывать и налаживать натурные образцы сложнейшей аппаратуры в любых нормальных и аварийных режимах работы электропередачи. В настоящее время на ЭДМ совместно со специалистами ВЭИ отработывается такая аппаратура для проектируемой электропередачи Экибастуз—Центр.

Таков лишь краткий перечень крупных научных проблем, которые были решены с помощью ЭДМ, разработанной и созданной под руководством М. П. Костенко.

... В 1974 г. ВНИИэлектромаш посетил Бельдикос — генеральный директор электромашиностроительных заводов фирмы «Вестингауз». Осмотрев электродинамическую модель института, он сказал: «Из всего того, что мне у вас показали, я больше всего завидую двум вещам. Прежде всего — вашей электродинамической модели, и потом — новому испытательному стенду на заводе „Электросила“»⁴.

Глава десятая

Головной институт в области крупного электромашиностроения. Проблемы реорганизации. Электрические машины предельной мощности. Начало работ в области применения сверхпроводниковых материалов в электрических машинах

В 1961 г. было решено передать Институт электромеханики АН СССР в ведение Государственного комитета по автоматизации и машиностроению. К этому времени институт, подводя итоги своего недолгого существования в качестве самостоятельной научной единицы, мог с гордостью назвать немало важнейших работ, становящихся опорой развития энергетики и электрификации нашей страны.

В процессе разработки научных проблем, связанных с развитием энергетики, в институте, как уже говорилось, был развит и весьма широко использовался метод электродинамического моделирования энергосистем. На экспериментальной установке успешно моделировались крупные энергосистемы с линиями электропередач, станциями, системами управления. Здесь была проведена широкая программа исследований новых систем регулирования и возбуждения мощных синхронных генераторов, испытаны системы защиты и автоматики. Работы, выполненные под непосредственным руководством кандидата технических наук В. Е. Каштеляна, показали, что с по-

⁴ Бельдикос имел в виду уникальный испытательный стенд, на котором могут испытываться в нагрузочных режимах электрические машины мощностью до 1 млн. кВт. — *Примеч. авт.*

мощью сильного регулирования можно повысить пропускную способность и экономичность линий электропередач. Результаты работы получили широкое практическое применение при разработке регуляторов напряжения для электростанций на Волге.

Большие работы были проведены по исследованию мощных turbo- и гидрогенераторов. Коллектив лаборатории под руководством Г. В. Карпова исследовал гидрогенераторы Горьковской ГЭС, Волжской ГЭС им. Ленина и Волжской ГЭС им. XXII съезда КПСС на местах установки. Эти испытания дали ценный материал для «Электросилы», заводских конструкторов и исследователей.

Большое народнохозяйственное значение приобрели созданные под руководством кандидата технических наук И. А. Глебова новые быстродействующие системы возбуждения с управляемыми вентилями (выпрямителями). Эти системы возбуждения были испытаны на Волжской ГЭС им. В. И. Ленина, на Рыбинской, Нижне-Свирской ГЭС и на других станциях. При испытаниях выяснилось, что применение новых систем возбуждения с АРВ сильного действия дает существенный народнохозяйственный эффект, поскольку позволяет на 10% (!) повысить пропускную способность электропередач, создать генераторы повышенной мощности в тех же габаритах.

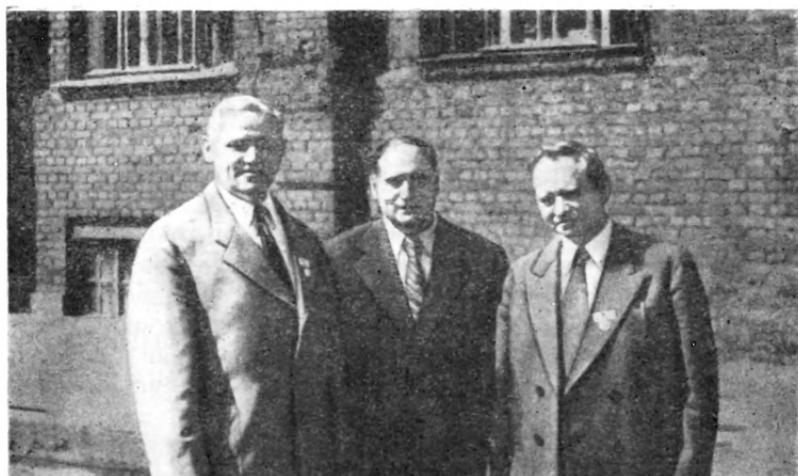
Работы по автоматизированному электроприводу — базе комплексной автоматизации производственных процессов — велись в институте по двум основным направлениям. В процессе исследований по первому направлению — преобразованию энергии в электроприводе, проводившихся под руководством члена-корреспондента Д. А. Завалишина, были выполнены экспериментальные установки и разработана теория ионных и полупроводниковых преобразователей частоты для регулирования скорости короткозамкнутых асинхронных двигателей. Второе направление — создание высокоточного следящего электропривода — разрабатывалось под руководством кандидата технических наук Ю. А. Сабинина. Системы управления телескопами, разработанные в институте, позволяли, как отмечалось выше, резко улучшить условия и точность астрономических наблюдений. Они широко используются в советских обсерваториях.

Был разработан и ряд других важнейших проблем: электрификации железных дорог на прогрессивной системе тяги переменного тока повышенного напряжения, про-

мышленной частоты; создания малогабаритных вычислительных устройств для систем программного управления, сочетающих простоту конструкции и обслуживания с высокой точностью вычислений — весьма важного элемента автоматизации производственных процессов; способа передачи информации по силовым сетям низкого, среднего и высокого напряжения.

В 1963—1964 г. в ИЭМе производилось расширение и реконструкция экспериментально-исследовательской базы. Возрос объем работы по мощным турбо- и гидрогенераторам и синхронным компенсаторам — институт стал головным в отрасли по этой проблематике. Он явился также ведущим научным учреждением страны по системам возбуждения синхронных машин — генераторов и двигателей, по системам их автоматического управления и регулирования. С передачей ИЭМ в ведение Госкомавтомаш в деятельности института произошли важные перемены. Во-первых, существенно сужалась тематика работ, становясь более «электромашинной», «электромеханической». Во-вторых, институт по многим направлениям стал определять научно-техническую политику отечественного электромашиностроения. Важное место в жизни института заняли научно-технические советы, на которых принимались решения, касающиеся постройки на заводах страны крупнейших турбогенераторов мощностью 200, 300, 500, 800 МВт, крупнейших в мире гидрогенераторов для Красноярской ГЭС мощностью 500 МВт, систем возбуждения к ним и т. п.

Институт теперь отвечал за научную сторону деятельности крупнейших электромашиностроительных заводов — «Электросилы», «Электротяжмаша», Лысьвенского турбогенераторного завода и т. д. Сотрудники института часто выезжали на станционные испытания генераторов, по вызовам предприятий и т. п. Как правило, эти командировки являлись следствием прямых просьб или предложений заводов и электростанций. Так, в 1962—1963 гг. на Змиевской и Южно-Уральской ГРЭС по просьбе главного конструктора «Электросилы» Н. П. Иванова побывала научная бригада ИЭМ. В результате проведенных обследований иэмовцы высказали ряд рекомендаций по реконструкции роторов турбогенераторов, которые могли бы исключить такие «нежелательные в эксплуатации крупных турбогенераторов явления, как, например, выгорание вкладышей подшипников, эрозия шеек валов, пробой изо-



На заводе «Электросила». Слева направо: Н. П. Иванов, Е. Я. Казовский, М. П. Костенко (1957 г.)

ляции стула подшипника, намагничивание паровых турбин»¹.

Еще в 1960 г. В. П. Анемподистов, Э. Г. Кашарский, И. Д. Урусов выпустили книгу «Проблемы крупного турбогенераторостроения»². В ней были сформулированы многие важнейшие задачи развития исследований в области сверхмощных турбогенераторов, решив которые, можно было бы приступить к разработке и постройке машин мощностью 500 и 800 МВт. (Заметим, что к моменту выхода книги еще не была создана машина мощностью 300 МВт). Вскоре эта книга была переведена на английский язык. Она оказалась весьма ценным пособием для исследователей и конструкторов.

В дальнейшем сотрудники института сформулировали основные задачи турбогенераторостроения на более длительный период. При этом были определены и главные препятствия, стоящие на пути к резкому повышению электромагнитных нагрузок, рост которых в течение последних 40 лет, действительно, стал основным путем

¹ Кашарский Э. Г., Карцев В. П. Намагничивание паровых турбин. — Вестн. электропром-сти, 1963, № 11, с. 38.

² Анемподистов В. П., Кашарский Э. Г., Урусов И. Д. Проблемы крупного турбогенераторостроения. Л.: Изд-во АН СССР, 1960.

повышения мощности турбо- и гидрогенераторов. Поскольку определение тенденций турбогенераторостроения и до сих пор является одной из основных задач Института электромеханики, остановимся на этом вопросе подробнее.

Чем вызывается борьба за создание машин предельных мощностей?

Прежде всего тем, что быстрый рост энергетических мощностей возможен лишь при резком росте мощностей вновь вводимых энергоблоков. Другая, не менее важная причина: укрупнение мощности энергоблоков, на ГРЭС 2400 МВт с 300 до 800 МВт позволяет на 10,6% уменьшить удельные капиталовложения, на 30% снизить трудозатраты, на 42% повысить производительность труда в эксплуатации и на 4% уменьшить расход условного топлива. Этими обстоятельствами в основном объясняется беспрецедентный рост мощностей турбогенераторов: в 2 раза за каждые 7—10 лет.

На дальнейший рост единичной мощности турбогенераторов за счет увеличения их размеров накладывает существенное ограничение механическая прочность роторов и бандажных колец, подверженных при частоте вращения 3000 об./мин значительным центробежным усилиям. Последнее приводит к необходимости поисков новых, более эффективных способов охлаждения. В качестве примера можно указать, что в турбогенераторе мощностью 100 МВт при 3000 об./мин диаметр ротора составляет 1000, а в генераторе мощностью 1200 МВт — всего 1250 мм. При увеличении мощности в 12 раз диаметр изменился в 1,25 раза, а потери в меди на единицу длины — в 8 раз. Предотвратить перегрев при этом можно лишь при условии весьма интенсивного непосредственного охлаждения.

Современные турбогенераторы, как правило, генерируют трехфазный ток. Основное преимущество этого тока: с его помощью легко образуется вращающееся магнитное поле, необходимое для работы синхронных и асинхронных электродвигателей. Тем не менее на заре турбогенераторостроения они строились в однофазном исполнении.

В конце XIX в. были созданы первые турбогенераторы, приведшие в действие изобретенными тогда же турбинами Парсонса и Кертиса. В 1895 г. во Франкфуртена-Майне были пущены три турбогенератора однофазного переменного тока. Частота вращения турбин состав-

ляла 1000 об./мин, генераторы имели по три пары явно выраженных полюсов.

По мере распространения трехфазного тока и постройки предложенных русским инженером М. О. Доливо-Добровольским большого числа трехфазных асинхронных двигателей стала ясна необходимость создания трехфазных турбогенераторов. Первые генераторы этого типа появились в 1900—1901 гг., и роторы их уже имели неявно-полюсное цилиндрическое исполнение³.

С течением времени возрастала частота вращения роторов турбогенераторов. Если первые генераторы исполнялись на частоте вращения 1000 об./мин, то с 1920 г. намечается переход на 1500 (1800), а затем, примерно с 1930—1940 гг., на 3000 (3600) об./мин. Этот переход связан с существенным улучшением весогабаритных характеристик паровых турбин и генераторов, с увеличением частоты вращения. Укрупнение блоков и, как следствие, улучшение их технико-экономических показателей, постепенно привело к тому, что турбогенераторы быстро достигли предельных габаритов, как со стороны железно-дорожных ограничений, так и со стороны ограниченных возможностей металлургии (по изготовлению массивной прочной стальной цилиндрической поковки ротора диаметром более 1 м). В силу этого основным путем роста единичных мощностей турбогенераторов оказывалось увеличение частоты вращения турбины, интенсификации процессов охлаждения, повышение до пределов всех электрических, магнитных и механических нагрузок.

Предельным по размерам турбогенератором, продемонстрировавшим необходимость перехода на большие частоты вращения, был американский турбогенератор, изготовленный в 1920 г. Он имел мощность $P=62,5$ МВт и частоту вращения $n=1200$ об./мин. В 20-е годы были выпущены еще более мощные машины: американский турбогенератор с $P=200$ МВт, $\cos \varphi=0,85$ и $n=1800$ об./мин (1928 г.) и немецкий турбогенератор $P=80$ МВт, $\cos \varphi=0,75$, $n=3000$ об./мин⁴. При создании этих рекордных для своего времени машин был применен ряд нововведений: усовершенствование изоляции статорной обмотки (микафолиевая гильза); микалентная изоляция с вакуумной

³ Турбогенераторы. Расчет и конструкция./ Под ред. Н. П. Иванова, Р. А. Лютера. Л.: Энергия, 1969.

⁴ Там же.

сушкой и компаундированием; разделение массивного проводника на несколько элементарных с целью снижения потерь на вихревые токи в обмотках; введение с той же целью транспозиции проводников; обновление технологии производства крупных цельнокованных роторов.

Дальнейшее развитие турбогенераторов поставило ряд более частных, но важных проблем, например, проблему вибрации. С 1938 г. для уменьшения влияния вибрации двойной частоты на корпус была введена эластичная подвеска сердечника статора. Переход на большие мощности сопровождался поиском новых сортов конструкционных и электротехнических сталей, обладающих соответственно большей прочностью и магнитной проницаемостью.

Одновременно велись и поиски новых сортов изоляции. С начала 1950 г. начинает применяться изоляция «термоэластик» (микалента на стеклянной основе и полиэфирных смолах, а также другие типы изоляции на основе стекла- и термореактивных смол с хорошими диэлектрическими, тепловыми и механическими свойствами). Это позволило довести рабочее напряжение генераторов до 20—24 кВ и тем несколько снизить токовую («линейную») нагрузку статора.

Большим достижением техники и технологии турбогенераторостроения явилось создание цельнокованных бандажей лобовых частей обмотки ротора («кашп») сначала из стали, впоследствии из немагнитных материалов (немагнитная сталь, титан).

Во время Первой мировой войны русское турбогенераторостроение, крайне незначительное и основанное на зарубежной документации и опыте, было сконцентрировано на заводе акционерного общества «Сименс-Шуккерт» в Петрограде. Изготавливались машины мощностью 240—500 кВт. После Великой Октябрьской социалистической революции в связи с принятием плана ГОЭЛРО на бывший завод фирмы «Сименс—Шуккерт», преобразованный в «Электросилу», была возложена, как уже говорилось, задача обеспечения генераторами новых электрических станций. Так, в 1924 г. был выпущен первый электросиловский турбогенератор мощностью 500 кВт. Примерно в те же годы была спроектирована первая советская серия турбогенераторов, состоящая из 11 типов (300—10000 кВт), и уже к 1928 г. был построен генератор мощностью 24000 кВт. Шкала мощностей была к тому времени пересмотрена и серия имела следующие типажи:

500, 1000, 1500, 2500, 4000, 6000, 12000 кВт. Наиболее ответственные детали мощных машин, например роторы, ввозились из-за границы.

Эта первая серия, получившая индекс Т, просуществовала недолго. В 1929—1930 гг. была проведена ее модернизация. Кроме того, согласно советско-американскому и советско-английскому договорам тех лет «Электросила» получала техническую документацию фирм «Дженерал Электрик» (США) и «Метрополитен—Виккерс» (Англия), касающуюся производства двухслойных статорных обмоток «корзиночного» типа и непрерывной микалентной изоляции на асфальтобитумных связующих. Последняя заменила ранее применявшуюся микафолиевую гильзовую изоляцию на шеллаке. Заводу была также передана документация на радиальную систему охлаждения сердечника статора (раньше применялась аксиальная) и лаковую изоляцию листов сердечника статора вместо бумажнй.

Внедрение нововведений позволило заводу создать новую серию турбогенераторов — серию 1933 г., включавшую четыре типа: 6000, 12000, 25000 и 50000 кВт (последний на 1500 об./мин.). Турбогенераторы этой серии имели индексацию типа: Т—25—2; последняя цифра 2 означает «двухполюсный», средняя цифра обозначает мощность машины в мегаваттах. Этой серией практически заканчивается этап развития в СССР турбогенераторов, при создании которых использовались зарубежная документация и материалы, и начинается новый полностью самостоятельный этап развития.

В 1930—1931 гг. по электросиловской документации было развернуто производство турбогенераторов в Харькове.

С 1933—1934 гг. в СССР начинается выпуск новой, полностью отечественной серии турбогенераторов второй пятилетки — Т2 с типажамми 0,5—3; 5; 6; 12; 50; 100 МВт при 3000 об./мин. Серия отличалась «корзиночной» обмоткой статора, радиальной системой охлаждения сердечника статора, алюминиевыми «седлами», защищающими лобовые части обмотки ротора, и отсутствием охлаждающих подпазовых каналов в роторе. Хотя указанные машины были несколько тяжелее американских, они отличались большей устойчивостью работы в энергосистеме благодаря более высокому ОКЗ. Турбогенераторы серии

T2 изготавливались вплоть до Великой Отечественной войны.

Еще до Великой Отечественной войны на заводе «Электросила» впервые в Европе были проведены экспериментальные исследования турбогенераторов с водородным охлаждением. Переход на газообразный водород диктовался рядом важных обстоятельств. Прежде всего турбогенератор мощностью 100 МВт серии T2 по габаритам уже приближался к железнодорожным ограничениям и рост мощности агрегата за счет увеличения размеров исключался. Единственным кардинальным выходом из этого положения могла быть интенсификация процесса охлаждения.

Воздух, применявшийся для охлаждения ранее, был далеко не лучшим агентом. Его заменил водород. Эта замена практически без изменения конструкции машины существенно увеличила линейную нагрузку и, следовательно, мощность машины в заданных габаритах. Кроме того, значительно меньшая вязкость водорода, меньший коэффициент его трения о бочку ротора по сравнению с воздухом позволил в несколько раз сократить потери на трение бочки ротора об охлаждающую среду и повысить КПД.

Серия ТВ, освоенная на заводе «Электросила» после войны, конструктивно повторяла серию T2, отличаясь лишь охлаждающим агентом и соответствующим газовым хозяйством. Повышение мощности в заданных габаритах новых турбогенераторов составляло 8—10% и КПД — 0,6—0,9% (по сравнению с машинами серии T2). Развитие новой серии привело к существенному усовершенствованию и изменению турбогенератора. Так, горизонтальные газоохладители были заменены вертикальными, встроенные центробежные вентиляторы — вентиляторами осевого действия. Создатели серии ввели в турбогенератор полуэластичное центрирующее кольцо бандажа ротора и исключили роторные седла. Серия ТВ2 быстро получила широкое распространение.

Крупнейший в мире турбогенератор ТВ-150-2 работал по принципу косвенного (с поверхности) охлаждения, позволяющего реализовать в этой машине максимальную мощность. В этой связи интерес представляют пути, по которым движется тепло в активной части турбогенератора, например в обмотке ротора.

Тепло, генерируемое в обмотке, должно миновать «шубу» изоляции, пройти через сталь и лишь после этого

его отводят омывающие стальную поверхность газы. Сумма перепадов температур на отдельных участках тепловой цепи будет равна температуре допустимого перегрева обмоток, определяемого типом изоляции.

Если же охлаждающий агент подвести непосредственно к элементу, генерирующему тепло, температурные перепады в пазовой, витковой и проводниковой изоляции и стали снимаются, что позволяет приблизить температуру охлаждающего газа к температуре меди. Такой способ охлаждения называют непосредственным. При нем удается существенно уменьшить общий перепад температуры за счет перепадов в изоляции и стали.

Реализуя систему непосредственного охлаждения проводников, советские турбостроители разработали ряд самых различных конструкций турбогенераторов. Эти работы начались в 1953—1954 гг. и привели к созданию новых серий турбогенераторов: ТВФ, ТВВ («Электросила», Ленинград), ТГВ («Электротяжмаш», Харьков), ТВМ («Сибэлектротяжмаш», Новосибирск).

Серия ТВФ была промежуточной между конструкциями, в которых было осуществлено косвенное и полное непосредственное охлаждение проводников. Роторы турбогенераторов этой серии обеспечивали непосредственное охлаждение обмотки водородом, а статоры практически повторяли по конструкции и способу охлаждения (косвенное, с поверхности) статоры турбогенераторов серии ТВ2.

В серии ТВФ удалось резко увеличить использование активных материалов машины по сравнению с серией ТВ2. Максимальная мощность турбогенераторов, реализованная с этим типом охлаждения, достигала 200 МВт. Таких машин было выпущено всего две, после чего завод перешел на выпуск серии ТВВ, отличающейся от серии ТВФ тем, что обмотки статора охлаждаются водой.

Серия ТВВ оказалась весьма перспективной: мощность турбогенераторов удалось довести до 1200 МВт. Использование активных материалов в этой серии в 2,2—2,3 раза превысило аналогичный показатель в турбогенераторах серии ТВ2.

С середины 50-х годов производство турбогенераторов с непосредственным газовым (водородным) охлаждением обмоток статора и ротора было освоено и на заводе «Электротяжмаш». В большинстве харьковских машин охлаждение статора и ротора осуществлялось по продольной схеме с помощью специальных полых проводников, вмон-

тированных в обмотки статора и ротора. В 1965 г. завод изготовил турбогенератор мощностью 500 МВт с непосредственным водяным охлаждением статора и ротора.

В эти годы специалисты завода «Сибэлектротяжмаш» эффективно решили проблему непосредственного охлаждения обмотки статора с помощью масла, омывающего статор, и воды, охлаждающей ротор. Используя этот тип охлаждения, они построили турбогенератор мощностью 300 МВт. Большие исследования по проблемам, связанным с разработкой и созданием турбогенераторов новейших прогрессивных серий (в том числе серии ТЗВ), велись и в Институте электромеханики под руководством М. П. Костенко.

Анализ наиболее современных конструкций турбогенераторов показывает, что увеличение их мощности наталкивается на ряд серьезных трудностей. Если исключить из рассмотрения чисто технические сложности, связанные, например, с обеспечением водяного охлаждения ротора, со снижением вибрации, местных нагревов и т. п., то при создании перспективных машин необходимо отметить и принципиальные трудности⁵.

Одна из них — необходимость при создании машин большей мощности «укладываться» в диаметр ротора, не превышающий 1300 мм. Это связано, во-первых, с возможностями металлургической промышленности (трудности изготовления цельной поковки таких размеров) и, во-вторых, уже сейчас достигнутым пределом роторов по механической прочности (при $n=3000$ об./мин). Кроме того, длину ротора при заданном диаметре невозможно увеличить и вследствие возникновения недопустимого прогиба вала и резонансных явлений при излишней гибкости ротора.

Не меньшая проблема — создание бандажей лобовых частей обмотки ротора (кашп) большого диаметра из немагнитных материалов. Составные роторы и бандажи, рассчитанные на частоту вращения $n=3000$ об./мин, не получили распространения из-за их низкой эксплуатационной надежности.

С ростом мощности изменяются и показатели турбогенераторов. Так, рост мощности и интенсификации охлаждения увеличивают линейную нагрузку AS при срав-

⁵ Казовский Е. Я. О предельной мощности турбогенераторов. — Изв. АН СССР. Энергетика и автоматика, 1973, № 6.

нительно мало изменяющейся B_2 (последняя ограничена магнитными свойствами материалов и не может быть существенно повышена). Сильно снижается удельный расход материалов, но несколько растет КПД. Возрастают также значения синхронных, переходных и сверхпереходных реактивностей x_d и x'_d и снижается значение ОКЗ, что свидетельствует о соответствующем снижении ударных, переходных и установившихся значений токов короткого замыкания.

Интенсификация охлаждения, рост мощностей в заданных габаритах и увеличение AS несут с собой и ряд нежелательных последствий. Так, увеличение синхронной и переходной реактивностей приводит к снижению пределов статической и динамической устойчивости работы генератора, что в свою очередь определяет более жесткие требования к системам автоматического регулирования, линиям электропередачи и другому оборудованию энергосистем.

С ростом мощности генератора при практически постоянном диаметре и массе активной части ротора уменьшается относительная механическая инерционная постоянная генератора $\frac{GD_2^2}{P}$ (где G — масса ротора), следствием чего также является снижение динамической и статической устойчивости. Предельное использование материалов (как по электромагнитным, так и по механическим свойствам) приводит к резкому снижению запасов надежности и механической прочности, что требует крайне осторожной эксплуатации. Возникает проблема местных перегревов и потерь, для снижения которых приходится использовать весьма редкие и дорогостоящие материалы. Например, крайние пазовые клинья приходится изготавливать из немагнитных материалов, чтобы увеличить надежность контакта носика бандажа с телом ротора, поверхность контакта клин — зубец и бандаж — ротор целесообразно покрывать слоем серебра или золота.

Теперь попробуем спрогнозировать перспективы строительства мощных турбогенераторов на 10—15 лет. Ввиду того, что в ближайшие годы предельный диаметр ротора при сохранении прежних прочностных характеристик стали, по-видимому, не превысит 1300 мм, а соотношение l_2/D_2 по условиям прогиба ≤ 10 —12, длина ротора достигнет 14—15 м. Если учесть, что «повышение AS ограничено со стороны x_d по соображениям статической и динамиче-

ской устойчивости даже в случае применения наиболее перспективных видов охлаждения, то наибольшая мощность двухполюсных генераторов традиционных типов, которую, по-видимому, удастся реализовать в ближайшие 15 лет, будет 1,5—2,0 млн. кВт»⁶. Этот предел может быть превзойден лишь при использовании четырехполюсных турбогенераторов. Начиная с 1966 г. в Институте электромеханики существенное внимание уделяется разработке мощных четырехполюсных турбогенераторов для атомных электростанций (АЭС). При этом создатели машин стремятся к значительному уменьшению массы ротора, что позволяет сделать его монолитным, а не составным [72]. Это была одна из последних научных работ М. П. Костенко.

17—21 декабря 1958 г. в Ленинграде, на заводе «Электросила» состоялась Всесоюзная конференция, посвященная вопросам охлаждения турбо- и гидрогенераторов. Доклады, сделанные на ней, и их обсуждение позволили получить полную картину состояния проблемы как у нас в стране, так и за рубежом⁷. В основных обзорных докладах было четко сформулировано главное перспективное направление развития систем охлаждения крупнейших энергетических машин — переход на непосредственное охлаждение проводников обмоток водой, маслом или водородом. В докладе Ю. В. Петровского отмечалась как возможная система охлаждения машин с применением искусственного холода при прежнем материале обмоток (медь)⁸. На конференции ни разу не было сказано об использовании сверхпроводниковых материалов: известные на 1958 г. сверхпроводники обладали крайне низкими физическими характеристиками, не позволявшими непосредственно применять их в крупном энергетическом оборудовании.

Такой же точки зрения по этому вопросу придерживались, по-видимому, инженеры и ученые крупнейших зарубежных фирм, производящих турбо- и гидрогенераторы. Так, в сентябре 1959 г. главный конструктор ведущей зарубежной фирмы, изготавливающей турбо- и гидрогенераторы, «Броун — Бовери» (Швейцария — ФРГ) про-

⁶ Там же.

⁷ Охлаждение турбо- и гидрогенераторов: Материалы научно-технической конференции ВИНТИ. М.: ВИНТИ, 1959.

⁸ Там же, с. 110.

фессор Видеман в беседе с инженерами «Электросилы», подчеркивая «особую актуальность применения непосредственного водяного охлаждения обмоток и других активных элементов турбогенераторов, не упомянул сверхпроводимость даже в числе хотя бы отдельных проблем, стоящих перед фирмой»⁹.

Заметим, что тенденция к «техническому игнорированию» сверхпроводимости оставалась сильной достаточно долго¹⁰. Техническое применение явления сверхпроводимости стало возможным после того, как в 1961 г. американский физик Кунцлер в соответствии с теоретическим прогнозом члена-корреспондента АН СССР А. А. Абрикосова (1957, 1961 гг.) открыл сверхпроводящий сплав ниобия с оловом, обладающий крайне благоприятными физическими характеристиками. Так, этот сплав при протекании тока плотностью 1000 А/мм^2 не выходил из состояния сверхпроводимости в полях до 8,8 Т. Для сравнения укажем, что плотность тока в обмотках самых современных турбогенераторов обычно не превышает величины порядка $10\text{—}20 \text{ А/мм}^2$, а индукция — порядка $0,8\text{—}1,0 \text{ Т}$ ¹¹. Таким образом, применение подобных материалов после преодоления ряда трудностей технического порядка могло бы позволить существенно сократить размеры электрических машин и значительно повысить их КПД. В развитии электромашиностроения это был крайне перспективный путь. Группа молодых сотрудников поставила перед руководством ИЭМ вопрос о необходимости заниматься новой темой, принципиально отличной от традиционно разрабатываемых в институте, требующей специальных знаний, навыков, знакомства с методами низкотемпературных физических исследований, а также существенных материальных и кадровых затрат.

Руководители института, и в частности М. П. Костенко, встали перед необходимостью определить свое отношение к новой проблеме, перспективность которой выявить в то время в условиях дефицита информации с по-

⁹ Казовский Е. Я. Беседа с главным конструктором фирмы «Броун—Бовери». «Электросила», сентябрь 1959. — Архив автора.

¹⁰ Казовский Е. Я., Карцев В. П. О возможностях применения сверхпроводимости в электромашиностроении. — Электротехника, 1964, № 1; Казовский Е. Я., Карцев В. П., Шахтарин В. Н. Сверхпроводящие магнитные системы. Л.: Наука, 1967.

¹¹ Глебов И. А., Данилевич Л. Б. Научные проблемы крупного турбогенераторостроения. Л.: Наука, 1974.



М. П. Костенко с группой «ветеранов» Института электромеханики: слева направо: первый ряд — В. В. Рудаков, М. П. Костенко, Ю. А. Сабинин, А. А. Яковлев; второй ряд — С. Р. Глинттерник, К. И. Смирнова, Н. В. Ковалева, Г. Е. Бурцева, А. М. Кишкина, М. И. Самсонова; третий ряд — Е. М. Смирнов, Г. В. Карпов, А. С. Сирый, Ф. Н. Терехов (1967 г.)

мощью чисто логических методов было невозможно: не была известна даже ориентировочно степень трудности технического воплощения и возможный выигрыш после внедрения этой идеи. В то же время традиционная тематика института явно была актуальной, перспективной, социально-значимой, о чем свидетельствует анализ «патентной и публикационной активности тех лет»¹².

Проблема отношения к новому направлению решалась совместно директором института академиком М. П. Костенко и заведующим отделом профессором Е. Я. Казовским. Было решено, не меняя общей традиционной тематики исследований, начать развивать новую, с тем чтобы, построив модельные машины и получив первые результаты, решить, как быть дальше.

Нелегко было руководителю ИЭМ АН СССР принять решение о развитии нового в электроэнергетике направ-

¹² См., например: Добров Г. М. Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании. Киев: Наук. думка, 1972.

ления. М. П. Костенко сделал главным образом это в силу специфики своего стиля мышления и умения выбирать даже в крайне сложной ситуации единственно правильный путь. Сыграла свою роль и широта научного кругозора Костенко. Знакомый со многими областями науки и техники, которые традиционно не входят в сферу повседневной деятельности электромашиностроителей, он по мере сил старался донести до них идеи, которые могли в будущем послужить развитию электроэнергетики. Кандидат технических наук И. М. Рожнова рассказывает: «В бумагах Совета мне удалось найти несколько ученических тетрадей (примерно полтора десятка) с текстом перевода, сделанным лично М. П. Костенко со статьи М. Ferrier «Les propriétés essentielles des supraconducteurs et leur explication par la theorie de Ginzburg et Landau» (Electricite de France, 1967, N 4, p. 39—60). Перевод выправлен также Михаилом Полиевктовичем. Все аккуратно подшито в единый том. Вспоминаю, что Михаил Полиевктович говорил, что цель этой работы — «перевести сверхпроводимость с языка физиков на язык электротехников»¹³.

В 1965 г. Институт электромеханики перешел в подчинение Министерству электротехнической промышленности СССР. В марте следующего года М. П. Костенко оставил пост директора института и продолжал работать в нем в качестве научного руководителя и консультанта до 1976 г., почти до последних дней своей жизни.

Глава одиннадцатая

Последние годы. Работа в научных советах. Международная деятельность М. П. Костенко

К началу 60-х годов в СССР уже работали электропередачи переменного тока на напряжении 500 кВ и строилась первая очередь электропередачи постоянного тока Волгоград—Донбасс напряжением 800 кВ. Успехи науки и техники, а также технико-экономические сообра-

¹³ Научно-исследовательские интервью с представителями советской научной школы электромашиностроения. Магнитофонные записи и стенограммы. — Архив ИИЕТ АН СССР.

жения поставили на повестку дня задачу сооружения электропередач еще более высокого напряжения, которые смогли бы объединить энергетические мощности нашей страны в единую энергетическую систему. Эта задача породила, в свою очередь, массу новых физико-технических проблем. Часть их М. П. Костенко попытался сформулировать и разрешить в своих работах этого периода.

Ученый, например, считал необходимым исследовать физические явления при сверхвысоких напряжениях. Он выступал за развитие теории преобразования электромагнитной энергии с помощью статических ионных и полупроводниковых преобразователей, за разработку новых типов электрооборудования на базе использования принципиально новых решений и материалов. С этой целью, по его мнению, следовало активизировать поиски новых проводниковых, полупроводниковых, изоляционных, магнитных, конструкционных материалов с особо высокими электрическими, магнитными, изоляционными и механическими свойствами [64].

М. П. Костенко считал, что осуществление программы исследований, вытекающей из задачи построения невиданной по масштабам и сложности единой энергетической системы СССР, выдвигает и ряд *комплексных* научных проблем энергетики и электротехники. В частности, нужно было теоретически обосновать наилучшие сочетания в системе различных источников энергии (тепловых, гидравлических, атомных и др.), исследовать требования, предъявляемые к оборудованию станций и линий электропередач работой всей энергосистемы. Дальнейшее развитие должна была получить, по его мнению, теория устойчивости и надежности сложных энергетических систем. Ученый призывал исследовать вопросы регулирования и управления системой, мощность которой измеряется десятками миллионов киловатт, а протяженность — тысячами километров. Решение задач такого типа требовало применения кибернетических методов, использования ЦВМ, совместной работы представителей разных специальностей¹.

Эти свои идеи М. П. Костенко активно реализовывал, находясь на посту Председателя Научного совета по техническим и электрофизическим проблемам энергетики

¹ *Костенко М. П.* Энергетическо-космический взлет. — Известия, 1962, 27 дек., с. 3.

при Отделении физико-технических проблем энергетики АН СССР. Совет в какой-то мере являлся преемником образованной в 1961 г. секции энергетики, транспорта и топлива ОТН АН СССР. С 1962 г. Костенко руководил работами этой секции.

В своей деятельности секция прежде всего опиралась на институты, ранее входившие в систему АН СССР (Институт электромеханики — в Ленинграде, Энергетический институт им. Г. И. Кржижановского и Институт транспортных проблем — в Москве), а также на ряд научно-исследовательских институтов различных ведомств, госкомитетов и высшей школы (Всесоюзный электротехнический институт им. В. И. Ленина, Центральный котлотурбинный институт, Всесоюзный научно-исследовательский институт электроэнергетики, Ленинградский политехнический институт, Московский энергетический институт и др.). Члены секции под руководством Костенко разработали и обсудили тематику теоретических исследований, необходимых для осуществления генеральной перспективы развития народного хозяйства в области энергетики, топлива и транспорта. При этом были выделены следующие первоочередные научные проблемы: преобразование и совершенствование мощного энергетического оборудования — котлов, турбин и электрических генераторов; преобразование и передача энергии на дальние расстояния при сверхвысоких напряжениях переменного и постоянного тока; развитие транспорта, его электрификация, автоматизация перевозок. Для анализа состояния работ по этим проблемам и перспектив их развития при секции были сформированы бригады ученых.

В марте 1962 г. в Ленинграде работала первая научная сессия секции, посвященная задачам создания и совершенствования энергооборудования. В ней приняли участие свыше 150 ученых — представителей АН СССР, академий наук союзных республик, ведущих отраслевых научно-исследовательских институтов, вузов и основных энерго- и электромашиностроительных заводов. На сессии были заслушаны доклады по основным направлениям развития паровых котлов, паровых и газовых турбин, гидротурбин, турбо- и гидрогенераторов. Докладчики и выступавшие в прениях подчеркивали целесообразность «резкого увеличения единичной мощности агрегатов при одновременном повышении параметров основных рабочих процессов, и соответственного изменения условий работы

материалов и требований к ним». Сессия определила основные научные задачи, стоящие перед специалистами в области энергооборудования. В частности, было признано необходимым вести теоретические и экспериментальные исследования процессов горения, изучать течения газа и пара, разрабатывать теорию и методы расчета конструктивной и динамической прочности элементов агрегатов. В качестве важнейших направлений исследований сессия назвала проблемы регулирования мощных турбин и генераторов, охлаждения машин, создания новых конструктивных, магнитных, электро- и теплоизоляционных материалов, в том числе синтетических. Основные материалы сессии были опубликованы в «Известиях АН СССР. ОТН»².

В декабре 1962 г. в Москве в Институте машиноведения состоялась вторая научная сессия секции. На этот раз на ней были рассмотрены задачи преобразования и передачи энергии. Участники (свыше 120 ученых — представителей 20 организаций) заслушали доклады по основным вопросам дальних передач переменного и постоянного тока, высоковольтной изоляции, устойчивости дальних передач и сильного регулирования. Выступавшие единодушно отмечали решающее значение передачи электроэнергии при сверхвысоком напряжении на дальние расстояния в деле создания Единой энергетической системы СССР. В докладах была продемонстрирована реальность сооружения передач переменного тока напряжением 1250 кВ и постоянного тока ± 1200 кВ и определены научные задачи и возможные участники работ в областях: теории преобразования электромагнитной энергии, теории устойчивости и надежности работы сложных энергетических систем (включающих передачи переменного и постоянного тока) и управления ими, теории электрического разряда при сверхвысоких напряжениях и т. п. Сессия также рассмотрела вопросы, связанные с изоляцией, повышением мощности и удешевлением электропередач постоянного и переменного тока, с исследованиями технико-экономических показателей и экономических зон применения различных передач в Единой энергосистеме СССР и др. Участники сессии впервые поста-

² Протоколы сессии. — Семейный архив М. П. Костенко. Ручкопись.

вили задачу использования явления сверхпроводимости для создания мощных электрических передач и электротехнических устройств. Все эти материалы сессии были опубликованы в «Известиях АН СССР. ОТН».

Решения, принятые на научных сессиях секции энергетики, транспорта и топлива ОТН АН СССР, были направлены Государственному комитету по координации научно-исследовательских работ и всем заинтересованным организациям. Таким образом, уже в начале 60-х годов секция, руководимая М. П. Костенко, успешно осуществляла роль научного координационного центра в области энергетики, топлива и транспорта. В первую очередь это касалось существа научных проблем, направления и характера работ, выработки научных рекомендаций и постановки новых задач как перед специалистами-техниками, так и перед представителями физико-математических и химических наук. «Широкое обсуждение важнейших вопросов, обмен мнениями и информацией о результатах работ на многолюдных сессиях секции, несомненно, способствовали повышению качества и эффективности научных исследований в целом ряде решающих направлений отечественной энергетики»³.

Деятельность Костенко в научных советах и секциях АН СССР позволила выявить одну из его наиболее ярких черт как ученого-руководителя — способность определять направления исследований целых научных отраслей или большого числа научно-технических учреждений, не отрываясь от реальных интересов народного хозяйства. Будучи уже в преклонном возрасте, М. П. Костенко из года в год наращивает уровень своих теоретических обобщений; при этом задачи, которые он ставит и решает в это время, имеют общегосударственный характер (а не заводской, отраслевой, как было прежде). Вступив в высшую фазу своего научного творчества, он формулирует ряд крупных исследовательских программ, рассчитанных на специалистов различных областей науки и техники.

В этой связи интересна его статья «Научно-технические задачи в области электроэнергетики». М. П. Костенко называет в ней серию научно-технических проблем

³ Костенко М. П. Выступление на Годичной сессии АН СССР, 5 февраля 1963 г. — Семейный архив М. П. Костенко. Стенограмма.

и намечает классификацию физико-технических направлений, подлежащих исследованию в результате быстрого развития электроэнергетики. При этом он указывает на процесс дифференциации технических наук энергетического и электротехнического цикла: «Возрастает сложность физико-технических проблем электроэнергетики, научные дисциплины в этой области все более дифференцируются. В качестве самостоятельных разделов развиваются теория и экспериментальные исследования электрических машин, теория преобразования и передачи электромагнитной энергии, инженерная электрофизика, теория электроэнергетических систем, теория электропривода, теория электрической тяги и др. . .» [66].

Развертывая этот тезис, Костенко видит пути решения основных проблем частных технических дисциплин в обращении к более общим физико-техническим категориям. По его мнению, «. . . следует провести широкие работы по созданию и применению новых электротехнических, изоляционных и конструкционных материалов. . . , сосредоточить внимание на физико-технических проблемах современного электроматериаловедения, на вопросах, связанных с изучением физики газового разряда, электрической дуги, молнии и грозозащиты, с получением и использованием высоких напряжений больших токов, интенсивных магнитных и электрических полей, с разработкой высоковольтных изоляционных конструкций, электрофизической и высоковольтной аппаратуры, импульсной техники». На базе этого общего положения он и формулирует ряд крупных исследовательских программ: «Научные проблемы создания Единой энергетической системы СССР» [51]; «Большая программа исследований по электромеханике» [56]; «Научные проблемы крупного электромашиностроения» [61]; «Программа теоретических исследований по энергетике и электрификации СССР» [64]; «Неотложные задачи электрификации транспорта» [65] и т. п.

В этом списке, разумеется, нет программы, рассчитанной на решение одним человеком, группой, отделом, даже институтом. Это своего рода «проблемное поле», предназначенное для разработки единым комплексом научных подразделений страны. По мнению специалистов, сформулированные Костенко программы содержат «между строк» перечень конкретных исполнителей, групп и институтов, сложившуюся и желаемую структуру взаимоотно-

шений, наличных возможностей, потенциальной государственной поддержки. Каждый пункт программы имеет четкий адрес. Каждый пункт программ, вытекающих из социальной потребности и логики развития техники, являясь порождением индивидуального ума, пронизан макро- и микросоциальнопсихологическими соображениями автора, диктуемыми его громадным жизненным, научным и производственным опытом.

Без этого разработка программы коллективных исследований невозможна».

Эти взгляды Костенко отстаивал и в Научном совете АН СССР по теоретическим и электрофизическим проблемам электроэнергетики (ТЭФПЭ), в котором он начал работать после реорганизации ОТН. Отметим, что Научные советы АН СССР являются научно-консультативными органами, объединяющими крупнейших ученых одного научного направления. По положению Советы ответственны за уровень и состояние научных исследований в стране независимо от ведомственной принадлежности организаций. Научные советы обязаны оценивать уровень работ данного научного направления, определять перспективные пути его развития, способствовать фундаментальным исследованиям, а также реализации их результатов, информировать Президиум АН СССР о неблагоприятном состоянии в решении тех или иных вопросов. В частности, Научный совет АН СССР по теоретическим и электрофизическим проблемам электроэнергетики был призван обеспечивать развитие важнейших проблем и направлений в области электроэнергетики, принимать участие в разработке научно-технических прогнозов и составлении планов на длительный период (10—15 лет и более). В его задачи входило изучение состояния и определение путей решения рассматриваемых проблем, перспектив применения результатов научных исследований в теории и практике электроэнергетики, содействие организации научной и научно-технической информации по связанным с ними вопросам⁴.

⁴ *Костенко М. П.* Об образовании и первом пленарном заседании Научного совета АН СССР по теоретическим и электрофизическим проблемам электроэнергетики (18—20 февраля 1969 г.). — Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1969, № 5, с. 20.

Создавая Совет, Отделение физико-технических проблем энергетики АН СССР пыталось в какой-то мере компенсировать отсутствие в Академии наук научных институтов электрофизического и электротехнического профиля. Совет должен был в основном координировать исследования (по решению основных теоретических проблем электротехники и электрофизики для задач «большой» энергетики) в основном в отраслевых НИИ Минэлектротехпрома и Минэнерго СССР, на соответствующих кафедрах крупнейших вузов страны и, в меньшей степени, в научно-исследовательских институтах союзных академий. Естественно, что влиять на отраслевые и вузовские исследования Совету было гораздо сложнее, чем на работы академических институтов. Возглавлять такой Совет мог лишь ученый, обладающий большим и заслуженным авторитетом, богатейшей эрудицией и широтой взглядов, опытом научно-организационной деятельности. Этот пост был предложен академику М. П. Костенко, несмотря на его преклонный возраст. Активными помощниками Михаила Полиевктовича в организации и работе Совета стали академики В. И. Попков и Л. Р. Нейман, член-корреспондент М. В. Костенко, доктор технических наук И. А. Глебов (ныне академик), К. С. Демирчян (ныне член-корреспондент АН СССР) и многие другие видные ученые страны. Предложенные М. П. Костенко структура, состав Совета, стиль и методы работы оказались очень удачными и действенными.

Формирование состава Совета, по-видимому, не представляло особых трудностей: сюда вошли многочисленные ученики Костенко; многие видные ученые считали за высокую честь приглашение работать в Совете. Таким образом, в его составе в период организации было около 100 крупнейших исследователей в области электротехники, электроэнергетики, электрофизики из многих организаций и городов страны (Е. Я. Казовский, И. М. Постников, Г. А. Сипайлов, А. И. Важнов, Е. Г. Комар, Г. Н. Алексенко, Э. А. Меерович, А. А. Аюдис, Н. А. Милых, И. М. Чижено и многие другие). При Совете функционировали следующие секции: теоретические проблемы генерирования электромагнитной энергии (председатель — академик М. П. Костенко, с 1974 г. — академик И. А. Глебов); проблемы теории электромагнитного поля в электроэнергетических и электрофизических устройствах (председатель — член-корреспондент Г. Н. Петров,

с 1977 г. — член-корреспондент К. С. Демирчян); проблемы теории нелинейных электрических цепей электромеханических и электроэнергетических систем (председатель — Л. Р. Нейман, с 1975 г. — доктор технических наук М. С. Либкинд); теоретические проблемы электрофизики высоких напряжений (председатель — член-корреспондент М. В. Костенко); электрофизические процессы в сжатых газах и их техническое использование (председатель — академик В. И. Попков); электрофизические проблемы переноса энергии и вещества в автономных электрогенерирующих устройствах (председатель — член-корреспондент Н. С. Лидоренко).

23 октября 1968 г. в Ленинграде, в здании Института электромеханики на Дворцовой набережной состоялось подготовительное заседание первой секции Совета. На нем были намечены основные научные проблемы деятельности секции на 1969—1975 гг. С предложениями по этому вопросу выступил М. П. Костенко. Академик наметил следующие направления научных исследований в секции:

«1. Электродинамическое моделирование установок, состоящих из турбин, генераторов, трансформаторов, выключателей и регуляторов. Внезапные короткие замыкания, устойчивость и вибрация.

2. Сверхпроводимость в применении к мощным электрическим машинам и системам возбуждения.

3. Сравнение двух- и четырехполюсных машин для атомных станций.

4. Изоляция и повышение напряжения.

5. Ударные генераторы как накопители энергии»⁵.

В обсуждении сообщения М. П. Костенко принял участие и Е. Я. Казовский. Он предложил в основу работы секции положить три важные темы:

«1. Создание турбоагрегата большой мощности для атомных станций.

2. Перспективы применения низких температур в крупном электромашиностроении.

3. Накопители энергии»⁶.

⁵ Костенко М. П. Черновик выступления на заседании первой секции Научного совета по теоретическим и электрофизическим проблемам электроэнергетики 23 октября 1968 г. — Семейный архив М. П. Костенко. Рукопись.

⁶ Там же.

В результате обсуждения М. П. Костенко составил окончательный вариант тематического плана работ первой секции (курсивом даны внесенные академиком дополнения):

«Основные научные проблемы на 1969—1975 гг.»

Секция I. Теоретические и конструктивные проблемы генерирования электромагнитной энергии.

1. Электродинамическое и математическое моделирование установок, состоящих из турбин, генераторов, трансформаторов, выключателей и регуляторов.

Внезапные короткие замыкания, устойчивость и вибрация (*совместно с котлотурбинным институтом*).

2. Сверхпроводимость в применении к крупным электрическим машинам, их системы возбуждения. *Перспективы применения низких температур в крупных энергетических и электрофизических машинах.*

3. Сравнение двух- и четырехполюсных машин для атомных электростанций.

4. Ударные генераторы. *Перспективы создания мощных электромагнитных накопителей энергии (индуктивные, электростатических и др.).*

5. Изоляция и повышенное напряжение»⁷.

Исправления, внесенные Костенко в первый вариант плана, весьма характерны. Так, чрезвычайно важна запись: «совместно с Котлотурбинным институтом». Она свидетельствует о том, что выбор научных направлений производился не только в соответствии с логикой развития науки и техники, но и с учетом конкретных исполнителей. Известно, что в то время М. П. Костенко вынашивал планы проведения совместных с ЦКТИ работ, считая этот институт, где на высоком научном уровне решаются многие вопросы механики, в частности устойчивости, вибрации, колебаний и др., и его сотрудников способными к выполнению поставленных задач.

Показательно и добавление в п. 2 слов «и электрофизических». Как видим, М. П. Костенко не замыкается в электромашинных представлениях, его интересуют общие проблемы в смежных областях. Это добавление по сути дела означает необходимость исследования возможностей применения низких температур и сверхпроводимости в таких установках, как ускорители атомных ча-

⁷ Там же.

стиц, пузырьковые камеры, термоядерные установки и прочие «крупные» электрофизические устройства.

Весьма примечательна и поправка к п. 4 — «и математическое». Она означает, что, кроме методологии, широко используемой в работе Института электромеханики и «олицетворяемой» в интеграции многих отраслей знания и различных методов исследования в электродинамическом моделировании, М. П. Костенко полностью приемлет и иные методы, в частности математическое моделирование. Этот «расширительный» принцип представляется чрезвычайно важным и ценным для ученого, призванного направлять работу не только научных подразделений, но и целых отраслей. Оставляя в неприкосновенности основные черты своей программы исследований, свои методы и принципы, М. П. Костенко открывает пути для развития новых важнейших отраслей науки и техники, новых методов исследования.

С первых своих шагов Научный совет ТЭФПЭ становится генеральным научным органом, высшей экспертной инстанцией, определяющей основные перспективы исследований в области электроэнергетики. В Совете сотрудничают ведущие ученые, крупные специалисты заводов и объединений, видные административные работники министерств и ведомств. Методами работы Совета являются регулярные тематические секционные и пленарные заседания, обсуждение текущей научной информации на расширенных заседаниях бюро Совета, рассмотрение планов работ и отчетов курируемых организаций. Очень эффективны выездные заседания бюро Совета с участием ведущих ученых страны, проводимые в научно-исследовательских институтах союзных академий наук. Результаты обсуждения направлений научной деятельности институтов обычно доводятся до сведения руководства местных академий наук. Выездные заседания способствуют концентрации усилий институтов на наиболее перспективных направлениях и своевременному «сворачиванию» тем, потерявших актуальность. Научный совет работает и над формированием тематических пятилетних планов работ АН СССР в электроэнергетике и следит за их выполнением.

М. П. Костенко постоянно уделял внимание совершенствованию стиля работы Совета. Бюро Совета в своей работе соблюдало следующие основные принципы: комплексное рассмотрение тем и проблем, доведение приня-

тых решений до реализации, принципиальность и корректность в работе, тщательная подготовка тематических заседаний, высокая ответственность за рекомендации в решениях и оценках уровня и состояния рассматриваемых проблем. Главным оружием Совета, ненаделенного никакими административными полномочиями, был высокий авторитет работающих в нем ученых и, следовательно, высокий авторитет мнений и рекомендаций Совета, большинство которых непременно принималось.

Так, по рекомендации Совета в нашей стране перешли на тиристорные преобразователи в линиях передач и вставках постоянного тока.

Первая секция, возглавляемая М. П. Костенко, внесла весомый вклад в формирование путей развития крупного отечественного электромашиностроения и, в частности, в создание мощных турбогенераторов в четырехполюсном исполнении на 1500 об./мин, особенно перспективных для атомных электростанций. Пятая секция во главе с В. И. Попковым существенно активизировала развитие в нашей стране исследований в области газоизолированных линий и т. д.

Много сил вложил М. П. Костенко в организацию, становление и работу Совета. В последние годы жизни ученого Совет был главным его детищем и занятием. Эрудиция, колоссальный опыт Костенко позволили выделить магистральные направления координирующей деятельности этого органа, вносящего заметный вклад в формирование технической политики в области электроэнергетики и в дело ее реализации. Сегодняшнее руководство Совета ТЭФИЭ следует традициям и принципам работы академика М. П. Костенко⁸.

В этой связи представляет интерес отрывок из научно-ведческого интервью с ученым секретарем Совета И. П. Рожновой:

«Вопрос. Как Вы думаете, изменилась бы тематика Совета, если бы его организация была поручена не Михаилу Полиевктовичу, а другому ученому-энергетику?

Ответ. Большинство считает, что личность Михаила Полиевктовича целиком определила и тематику, и состав Совета. В Отделении считают, что Совет с самого начала был намечен

⁸ См.: Попков В. И., Глебов И. А. Задачи Научного совета АН СССР по теоретическим и электрофизическим проблемам энергетики. — Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1975, № 5

Отделением как комплексный, и эта комплексность определялась теми направлениями в области электротехники и энергетики, которые выпали из поля зрения Академии из-за отсутствия в системе Академии наук СССР соответствующих организаций. Поэтому такие направления, как генерирование, транспорт и преобразование энергии, были предписаны Отделением и напрашивались довольно естественно. Это — традиционное деление. Поэтому, по-видимому, и другой руководитель ориентировал бы Совет на эти области исследования. Но мне кажется, что Михаил Полиевктович, ученый с очень широким кругозором, большим авторитетом и широкой сетью научных контактов, развивая свое основное направление — генерирование электромагнитной энергии, мог привлечь видных ученых, работающих в области передачи и преобразования энергии, и оказывал их работам всяческую поддержку. Боюсь, что при другом первом председателе Совета, его рамки могли бы сузиться. Кроме того, нужно учесть то обстоятельство, что Михаил Полиевктович, когда возглавил Совет, был уже на пенсии. Совет стал его главным делом, и он уделял ему столько внимания и времени, сколько вряд ли смог бы уделить кто-нибудь другой. Его ничто не отвлекало от работы, и он задал в работах Совета высокий темп. Он просматривал огромное количество зарубежной и советской технической литературы, следил за планами и постановлениями директивных органов, у него рука постоянно была на пульсе современного состояния энергетической науки и техники, и он довольно часто бил тревогу, когда обнаруживал прорехи в самых различных областях энергетики, а обнаруживал он их довольно часто»⁹.

М. П. Костенко возглавлял и активно участвовал в проведении работ Научного совета ТЭФПЭ вплоть до 1976 г. После этого руководство Совета принял академик В. И. Попков.

Работа в Научном совете ТЭФПЭ была далеко не единственной «общественной» нагрузкой М. П. Костенко. Он являлся членом Бюро секции электромашиностроения Научно-инженерного общества энергетиков (ВНИТОЭ), руководил подсекцией электромашинотехнической секции Ленинградского отделения Общества по распространению политических и научных знаний, входил в редколлегия журнала «Электричество».

В 1968 г. М. П. Костенко возглавил Северо-Западное отделение Научного совета по комплексным проблемам энергетики АН СССР (СЗО НС). Созданное в конце

⁹ Научковедческое интервью с представителями советской научной школы электромашиностроения. Магнитофонные записи и стенограммы. — Архив ИИЕиТ АН СССР.

1961 г. по решению бюро Отделения физико-технических проблем энергетики АН СССР, это Отделение сразу же приступило к выполнению и решению важных задач, среди которых в первую очередь следует выделить:

организацию постоянной связи учреждений АН СССР, республиканских академий наук, вузов, научно-исследовательских и проектных институтов министерств и ведомств районов Северо-Запада, работающих в области региональных проблем топливно-энергетического комплекса;

координацию планов НИР, налаживание обмена взаимной информацией;

подготовку обсуждения научных проблем, методических разработок и законченных работ (или крупных этапов исследований);

разработку научных и методических рекомендаций по рассматриваемым вопросам.

Ведущими направлениями научных исследований в научно-исследовательских и проектных институтах, объединяемых СЗО НС, были проблемы развития объединенной энергосистемы Северо-Запада и оптимизация топливно-энергетического баланса этого региона. В соответствии с этим строилась работа пленумов СЗО НС, которые созывались дважды в год, и заседаний рабочих групп.

На пленумах и заседаниях обсуждались планы работ этих институтов по проблемам, координируемым СЗО НС, а также методические разработки, предназначенные для внедрения в практику их деятельности. Большое место в работе президиумов СЗО НС и заседаний рабочих групп занимал анализ результатов исследований, проводимых в институтах.

М. П. Костенко руководил СЗО НС до конца своей жизни. Он принимал непосредственное участие в подготовке, проведении заседаний Совета, включая и выездные (Рига, Минск). Широкие энергетические интересы Костенко, его научная эрудиция в значительной мере определяли успех работы СЗО НС. Благодаря деятельности Совета в СССР впервые на основе общей методике и в тесной увязке с планами развития топливно-энергетического комплекса страны была проведена оптимизация

топливно-энергетического баланса (ТЭБ) районов Северо-Запада. В результате была сформулирована проблема маневренности топливно-энергетического баланса, которая в настоящее время включена в научные планы ряда академических институтов.

По тематике работ СЗО НС вышло несколько сборников статей, написанных специалистами научно-исследовательских и проектных институтов Северо-Западного региона.

Большая научная, педагогическая, организаторская и общественная деятельность М. П. Костенко были высоко оценены партией и правительством. Он был удостоен звания Героя Социалистического Труда, награжден четырьмя орденами Ленина, двумя орденами Трудового Красного Знамени и медалями.

Научное направление, методологические основы и нравственные принципы ленинградской школы электромашиностроения широко распространились в Советском Союзе. Десятки докторов, сотни кандидатов наук, тысячи инженеров — воспитанников, представителей и последователей этой школы, работая в разных уголках СССР, бережно сохраняют, упрочняют и развивают ее славные традиции.

Идеи и методы Ленинградской школы электромашиностроения уверенно перешагнули и государственные границы. Начиная с 50-х годов на кафедре электрических машин ЛПИ обучаются студенты-иностранцы. Среди выпускников и аспирантов, инженеров, кандидатов и докторов наук, воспитанных кафедрой, есть представители Афганистана, НРБ, ВНР, Гвинеи, Ирана, КНДР, КНР, Ливана, ПНР, СРР, Судана, Эфиопии. Многие из них, вернувшись домой, стали ведущими специалистами в различных областях науки и техники. Так, Д. Романов является одним из руководителей электротехнической промышленности НРБ; в СРР успешно работают выпускники кафедры Я. Сугу (профессор, заведующий кафедрой), С. Саид (директор научно-исследовательского института), Ф. Илиеш (начальник отдела гидрогенераторов на крупнейшем машиностроительном предприятии республики). В одну из поездок в СРР М. П. Костенко встретился со своим бывшим аспирантом П. Апетреем — заместителем директора Энергетического института АН СРР по научной работе и с инженерами электромашиностроительного завода в г. Крайнова — Ликулеску и Крецу. Для Михаила

Полиевктовича эти встречи были очень радостны. Он реально ощутил, что его труд ученого и педагога дает многое не только Родине, но и другим странам.

Международные связи М. П. Костенко были весьма широки. Он представлял Советский Союз на заседаниях Всемирного энергетического конгресса в Париже; был в ЧССР в связи с празднованием 250-летия политехнической школы; в качестве представителя АН СССР заключал договор о совместных работах с АН СРР; посетил Канаду и Швецию и ряд других стран.

Успешная работа на международной арене в области науки и техники требует глубоких и разносторонних знаний, свободного владения одним или несколькими иностранными языками, длительной и тщательной подготовки к зарубежным поездкам, концентрации сил во время работы на международных форумах, публикации работ в зарубежных изданиях, а также умения подготовить и провести международные совещания у себя в стране. Ученый должен четко показать достижения и преимущества отечественной экономики и культуры и наряду с этим получить наиболее полные и достоверные данные о новейших зарубежных научных и технических достижениях. Все это в наиболее полной форме воплотилось в международной деятельности М. П. Костенко. Высокого уровня работ в этой области он достиг не сразу. Для этого потребовались многие годы напряженной творческой работы.

Как уже говорилось, с 1922 по 1924 г. М. П. Костенко находился в командировке в Англии, где занимался приемкой оборудования для советских электромеханических заводов. Здесь им были запатентованы несколько изобретений. В частности, совместно с П. Л. Капицей он разработал конструкцию первого в мире ударного генератора.

В 1929 г. немецкий электротехнический журнал «Archiv für Elektrotechnik» поместил статью М. П. Костенко «Многофазные коллекторные и индукционные машины», получившую в дальнейшем широкую известность и ставшую классической [16].

В 1931 г. в австрийском электротехническом журнале были опубликованы две его основополагающие статьи «Экспериментальные и теоретические круговые диаграммы многофазных коллекторных машин по методу всеобщего трансформатора» (совместно с Д. А. Завали-

пиным) и «Косвенный метод теплового испытания асинхронных машин» [18, 24].

В 1956 г. М. П. Костенко в составе делегации АН СССР посетил Швецию, где ознакомился с постановкой дел в высших технических учебных заведениях, а также с деятельностью электротехнических фирм и выступил с рядом докладов.

В 1958 г. в английском журнале «SCR Bulletin» появилась статья М. П. Костенко и И. А. Глебова «Электродинамическое моделирование, как метод научного исследования электроэнергетических проблем», в которой устанавливались решающие преимущества этого метода в разработке устройств регулирования и защиты мощных синхронных генераторов, а также в определении требований к их параметрам и характеристикам [53].

С 10 сентября по 9 октября 1960 г. М. П. Костенко был в Канаде. Здесь он детально ознакомился с электроэнергетикой, организацией высшего образования, посетил ряд электростанций, прочел цикл лекций в университетах на английском и французском языках. После возвращения из Канады ученый подготовил три тома материалов, которые были доложены на ряде совещаний работников проектных и исследовательских организаций, а также вузов.

В 1961 г. М. П. Костенко возглавил делегацию АН СССР в Индии и принял участие в 48-й сессии Индийского научного конгресса, а также в торжествах по поводу «серебряного» юбилея Национального института наук Индии. М. П. Костенко выступил на Индийском научном конгрессе с обширным докладом, посвященным развитию больших энергетических систем в СССР и исследованию вопросов их устойчивости и регулирования на основе метода электродинамического моделирования с использованием специальных установок Института электромеханики АН СССР. Доклад вызвал большой интерес и был опубликован в трудах 48-й сессии Индийского научного конгресса¹⁰.

В 1963 г. в английском журнале «Electrical Times» был помещен подробный обзор научно-исследовательских работ, выполненных под руководством М. П. Костенко с использованием электродинамической модели, установ-

¹⁰ 25-летие Национального института наук Индии. — Вестн. АН СССР, 1961, № 6, с. 81—82.

ленной в Институте электромеханики АН СССР в Ленинграде¹¹.

Особенно значительной и плодотворной была деятельность М. П. Костенко в международной электротехнической организации по большим электроэнергетическим системам (СИГРЭ). Эта международная организация ведет работу в области научных исследований, связанных с электроэнергетикой. Поэтому участие в ее работе имеет особое значение для научных учреждений. СИГРЭ имеет в своем составе несколько научно-исследовательских комитетов, в том числе Комитет по электрическим машинам. В нем действуют несколько рабочих групп по важнейшим проблемам электромашиностроения. Каждый четный год проводится Генеральная сессия СИГРЭ в Париже, а по нечетным годам — заседания комитетов в разных странах.

Впервые М. П. Костенко выступил на сессии СИГРЭ в Париже в 1948 г. с докладом «Электромагнитные процессы в мощных выпрямителях и их связь с параметрами энергоснабжающей системы». Этот доклад базировался на работах М. П. Костенко и Л. Р. Неймана, выполненных в Узбекской ССР в годы Великой Отечественной войны. В нем были обоснованы «глубокие» режимы работы выпрямителей вплоть до короткого замыкания и показана ошибочность некоторых опубликованных работ в этой области. Доклад вызвал большой интерес и дискуссию.

В 1960 г. М. П. Костенко совместно с рядом советских ученых представил на сессию СИГРЭ в Париже доклад «Сильное регулирование в электрических системах Советского Союза». В этом же году на сессии Международной организации по автоматическому управлению (ИФАК) М. П. Костенко совместно с его сотрудниками был сделан доклад на тему «Сильное регулирование возбуждения и новые проблемы устойчивости работы электроэнергетических систем». Публикация этих докладов закрепила на международном уровне признание достижений СССР в области разработки новых принципов автоматического регулирования турбо- и гидрогенераторов с использованием в системах регулирования не только отклонений режимных параметров, но и производных от этих откло-

¹¹ *Adkins B. A. Systems Development by Models in USSR. — Electrical Times, 1964, 16 jan., p. 83—87.*

нений. Внедрение новых принципов в практику регулирования электроэнергетических систем позволило существенно повысить величину мощности, передаваемой по линиям электропередач.

В 1961 г. М. П. Костенко участвовал в заседании Комитета по электрическим машинам СИГРЭ в Лондоне. По результатам поездки был составлен подробный отчет, в котором были рассмотрены основные характеристики турбогенераторов большой мощности, статические системы возбуждения и другие вопросы.

При непосредственном участии М. П. Костенко были подготовлены доклады от Советского Союза и на следующей сессии СИГРЭ в 1962, 1964, 1966 и 1968 гг.

В 1962 г. М. П. Костенко совместно с Е. Я. Казовским и Г. В. Карповым представил на сессию СИГРЭ в Париже доклад «Определение параметров мощных гидрогенераторов Нижне-Волжской ГЭС», вызвавший большой интерес и широкую дискуссию. Впервые за рубежом поступили материалы о новых методах экспериментального определения совокупности электромагнитных параметров и частотных характеристик крупных генераторов. В результате обсуждения доклада М. П. Костенко было предложено возглавить рабочую группу по новым методам экспериментального исследования крупных синхронных машин, включая метод частотных характеристик, и по аномальным режимам работы машин в энергосистемах. Группа получила название «Параметры и аномальные режимы крупных синхронных машин».

В 1964 г. М. П. Костенко совместно с Е. Я. Казовским, Н. П. Ивановым, Л. Я. Станиславским и К. Ф. Потехиным подготовил для сессии СИГРЭ в Париже доклад «Мощные современные высокоиспользуемые турбо- и гидрогенераторы, их системы охлаждения, характеристики и параметры». В последовавшей дискуссии М. П. Костенко сделал ряд весьма существенных дополнений к докладу, касавшихся практики создания в СССР мощных турбо- и гидрогенераторов и их испытания, а также результатов научно-исследовательских работ, связанных с созданием таких машин.

В июне 1966 г. М. П. Костенко совместно с Н. П. Ивановым, Е. Я. Казовским, И. Д. Урусовым и Ю. М. Элькингом представил на сессию СИГРЭ в Париже обширный доклад «Проблемы механической прочности мощных современных турбо- и гидрогенераторов». Эта проблема,

важнейшая в современном крупном электромашиностроении, явилась темой многочисленных дискуссий на международном уровне.

В июне 1968 г. М. П. Костенко совместно с И. А. Глебовым, Г. И. Дьяченко, Е. Я. Казовским, Л. Г. Мамиконяном, Л. Я. Станиславским и А. П. Чистиковым подготовил для очередной сессии СИГРЭ в Париже капитальный доклад «Основные размеры, рабочие характеристики мощных турбогенераторов и их системы возбуждения в СССР» [69]. Встреченный с интересом доклад вызвал большую дискуссию.

Многолетняя работа М. П. Костенко, начиная с 1962 г. и до конца жизни, в качестве руководителя рабочей группы «Параметры и аномальные режимы крупных синхронных машин» имела большое значение для обобщения достижений ведущих стран в области крупного электромашиностроения и обоснования дальнейших задач в развитии данной отрасли. В этой трудной и ответственной работе большую помощь М. П. Костенко оказали Л. Г. Мамиконянц, Е. Я. Казовский, Я. Б. Данилевич и др. Материалы работы группы ежегодно обобщались в виде обстоятельных докладов, которые рассылались в 20 стран, занимающих ведущее положение в мире в области электроэнергетики. Эти доклады подробно обсуждались на заседаниях Научно-исследовательского комитета по электрическим машинам в Париже, Токио, Ленинграде, Бухаресте, Бадене, Вене, Бостоне и Женеве, а результаты деятельности рабочей группы и материалы дискуссий публиковались в журнале «Electra». Деятельность рабочей группы всегда высоко оценивалась в Комитете и в СИГРЭ в целом.

В связи с невозможностью подробно описать все этапы этой важной и многогранной деятельности М. П. Костенко, кратко рассмотрим его участие лишь в одном из заседаний Научно-исследовательского комитета по электрическим машинам, проходившем в 1965 г. в Японии. Об этом рассказывает И. А. Глебов, участвовавший вместе с М. П. Костенко в этой поездке:

«Подготовка к поездке началась с начала 1965 г. Было известно, что М. П. Костенко должен будет выступать на заседании Научно-исследовательского комитета в Токио с докладом по проблеме аномальных режимов турбогенераторов. В связи с производством в ряде стран турбогенераторов больших мощностей и применением непосредственного охлаждения обмоток их проекти-

рование уже не могло ограничиваться рассмотрением их длительных режимов работы, а требовало учета аномальных режимов из-за возможных недопустимо высоких местных нагревов машин. В этих условиях стало обстоятельной необходимостью обобщение международного опыта и прогнозирование путей дальнейшего развития конструкций турбогенераторов. Для этого был подготовлен и разослан во многие страны вопросник, который охватил режимы перегрузок, форсировок и несимметричных режимов. На основе полученных ответов был сделан анализ и обобщение полученных материалов, подготовлены демонстрационные плакаты для доклада. Вся эта работа проводилась Михаилом Полиевктовичем с присущей ему настойчивостью и энергией. Помимо ответов, полученных из ряда стран, он тщательно изучал многочисленные публикации в зарубежной и отечественной литературе, относящиеся к данной проблеме.

Поездка в Японию не прошла без мелких и больших трудностей. Увлечшись обсуждением наиболее сложных вопросов, которые были в повестке дня заседания Научно-исследовательского комитета, мы забыли в поезде Ленинград—Москва демонстрационные материалы. Вспомнили об этом, когда поезд уже отошел от платформы Ленинградского вокзала в Москве. Пришлось разыскивать железнодорожный состав и «выручать» чертежи...

Сразу же после приезда в Токио и размещения в отеле «Принц» встретились с выдающимся электротехником — президентом Научно-исследовательского комитета по электрическим машинам П. Лораном и обсудили с ним детали работы Комитета.

Доклад М. П. Костенко на заседании Комитета вызвал большой интерес. Докладчик обратил внимание, в частности, на то, что нормированные перегрузочные способности турбогенераторов разных стран сильно отличаются друг от друга, и предложил обсудить причины таких расхождений. Последовавшая дискуссия позволила разобраться в этом сложном и важном для конструкторов вопросе. М. П. Костенко обосновал целесообразность использования частотных характеристик для расчета асинхронных режимов турбогенераторов. Дискуссия по аномальным режимам турбогенераторов проходила по просьбе президента комитета под руководством М. П. Костенко.

Во время бесед со специалистами в области электромашиностроения М. П. Костенко выяснил тенденции зарубежных фирм в выборе числа пазов статоров турбогенераторов мощностью 200—300 МВт. Было высказано мнение, что число пазов около 30 является наиболее целесообразным по экономическим показателям. Этот вопрос не потерял своего значения и на сегодняшний день.

Существенный интерес представил синхронный воздушный выключатель фирмы «Фудзи» с временем отключения, составляющим один период переменного тока при разрывной мощности 25 000 МВА на напряжение 500 кВ. Эта интересная работа фирмы, к сожалению, в дальнейшем не получила практической реализации. Однако актуальность проблемы и полученные М. П. Костенко материалы о конструкции выключателя и его испытаниях сохраняют свою значимость и сегодня.

В связи с вводом в эксплуатацию преобразовательной подстанции Сакума мощностью 300 МВт и КПД 90,2% имелась воз-

возможность познакомиться с рядом интересных технических решений. Эта установка связывает и энергосистемы разных частот (50 и 60 Гц) и позволяет снизить токи короткого замыкания в объединенной энергосистеме. Полученные материалы продолжают сохранять свое значение в связи с работами, ведущимися в настоящее время по так называемым вставкам постоянного тока.

28 октября в Токио состоялось совещание со специалистами Японии в области электромашиностроения, на котором М. П. Костенко сделал доклад о крупном электромашиностроении СССР.

Основные технические результаты поездки в Японию изложены в опубликованной работе «Энергетика и крупное электромашиностроение Японии»¹².

Большое впечатление оставили яркие выступления М. П. Костенко на официальных приемах японских электротехнических организаций. Здесь он широко и умело использовал подробные и обширные сведения о японском народе, полученные от своего брата Владимира Полиевктовича Костенко, бывшего в плену в Японии после Цусимского боя.

После окончания работы Научно-исследовательского комитета по электрическим машинам М. П. Костенко принял участие в работе сессии МЭК в Токио, в частности, в заседаниях Комитета-2 (электрические машины).

Несмотря на свой преклонный возраст (в то время 76 лет), он много ходил пешком. Наши пешеходные маршруты охватили не только центральную часть Токио, но и некоторые более отдаленные места, в частности район Шинюку, который был расположен почти на расстоянии 10 км от отеля.

В Токио, в бывшей столице Японии Киото, на национальном празднике, в г. Никко, а также на ряде электростанций М. П. Костенко снял очень интересный цветной фильм и сделал много фотоснимков.

Вспоминается еще один интересный эпизод. Когда на обратном пути наш теплоход вышел из порта Иокогама в Тихий океан, была штормовая погода. «Морская болезнь» вывела из строя почти всех пассажиров на двое суток. Михаил Полиевктович в это время с удовольствием читал в зале отдыха теплохода книги на французском языке, взятые из судовой библиотеки¹³.

Рассматривая деятельность М. П. Костенко в области международных научных связей, следует отметить успешную организацию им международных совещаний в СССР. Подготовка и проведение таких совещаний потребовали от него больших творческих и организаторских усилий. Высокую оценку получили проведенные под его руководством совещания двух научно-исследовательских комитетов СИГРЭ по проблемам устойчивости и по проблемам

¹² Глебов И. А., Костенко М. П., Линддорф Л. С., Мамиконянц Л. Г. Энергетика и крупное электромашиностроение в Японии. Л.: ВНИИЭМ, 1967.

¹³ Глебов И. А. О поездке в Японию. — Архив автора. Рукопись.

электрических машин, а также нескольких заседаний рабочей группы по параметрам и аномальным режимам крупных синхронных машин. В этих международных встречах участвовали как зарубежные, так и ведущие отечественные специалисты. Вся эта работа проходила во ВНИИэлектромаше с 1963 по 1976 г.

Даже на склоне лет, когда физические возможности Михаила Полиевктовича были уже в большой мере ограничены, он внимательно следил за состоянием дел в ВНИИэлектромаше. Особенно ценна была его помощь исследователям, работавшим на электродинамической модели. Активно владея иностранными языками и выписывая основные зарубежные технические журналы, умея обобщить прочитанное, выделить главное и выявить перспективы, Костенко держал своих учеников в курсе всех новейших технических событий в мире по интересующим их вопросам. Наиболее интересные статьи он даже сам переводил.

В 1969 г., в день 80-летия, академику М. П. Костенко было присвоено звание Героя Социалистического Труда. Это был большой праздник для всех сотрудников института. Коллектив гордился тем, что его организатор и руководитель удостоен высшей награды Родины.

Чествование М. П. Костенко по просьбе юбиляра не проводилось, однако поток поздравлений был неиссякаем. В этот день Михаил Полиевктович получил поздравительную телеграмму от Президиума АН СССР, подписанную академиками М. В. Келдышем, М. Д. Миллионщиковым, В. А. Котельниковым и Я. В. Пейве. В телеграмме отмечались многие важные заслуги М. П. Костенко и в особенности — создание и руководство научной школой электромашиностроения:

«... Ваше имя неразрывно связано с той главной когортой ученых, которые своей энергией, самоотверженной научной и инженерной деятельностью внесли неоценимый вклад в исторический процесс создания индустриальной базы нашей Родины. Создатель и руководитель крупнейшей в СССР школы электромашиностроителей, которая на решающих участках формировала отечественное электромашиностроение, Вы основали новое научное направление в области электрических машин и вложили много труда в подготовку инженеров и научных работников этого профиля. Велики Ваши заслуги в области теоретических и практических вопросов преобразователь-



М. П. Костенко в группе награжденных высокими правительственными наградами СССР (январь 1970 г.)

ной техники, в создании прогрессивной электрической тяги на однофазном токе промышленной частоты и создании методов физического моделирования электроэнергетических систем и в решении многих других теоретических и инженерных проблем отечественной электроэнергетики.

... Вы создали ведущий научно-исследовательский институт в области электротехнической промышленности — Институт электромеханики.

Широко известна Ваша деятельность на посту Уполномоченного АН СССР по Ленинграду, члена Президиума АН СССР, члена бюро Отделения физико-технических проблем энергетики АН СССР, Председателя Научного совета по теоретическим и электрофизическим проблемам электроэнергетики, члена редколлегии ряда журналов...»¹⁴.

В один из январских дней 1970 г. М. П. Костенко в Кремле вручили орден Ленина и Золотую Звезду Героя Социалистического Труда. В этот же день награждали и всемирно известную балерину Галину Сергеевну Уланову.

Для Костенко это была памятная встреча. Летом 1934 г. профессор М. П. Костенко с семьей лечился в одном

¹⁴ Телеграмма хранится в семейном архиве М. П. Костенко.

из санаториев в Ессентуках. Там в это время отдыхала и Галина Уланова, совсем еще молодая артистка Ленинградского Государственного Академического театра, находившаяся тогда еще в самом начале своей громкой славы. В санатории должен был состояться вечер, выступить на котором попросили молодую балерину. Когда собрались, внезапно погас свет. Но балерина танцевать не отказалась. Принесли свечи, и танец состоялся при свечах.

На Михаила Полиевктовича, и раньше ценившего балет, этот вечер произвел неизгладимое впечатление. Он часто потом рассказывал об этом необычном концерте, о поэзии танца в трепетном свете свечей, о чарующей музыке, доносившейся откуда-то из окружающей темноты. Он был несказанно рад этому соприкосновению с высоким искусством в столь необычном месте и при столь необычных обстоятельствах. Память об этом событии он пронес через всю жизнь, хотя не мог пожаловаться на недостаток событий и интересных встреч за долгие годы своей жизни: рядом с ним прошла целая вереница интереснейших людей, олицетворяющих эпоху. Костенко часто посещал и спектакли Улановой, сначала в Ленинграде, потом в Москве, и даже в Лондоне на ее гастролях, когда английские газеты присвоили балерине вполне заслуженный исключительный титул «The Ballerina Absolute»...

После торжественной церемонии награжденные сфотографировались, и Михаил Полиевктович спросил Галину Сергеевну, помнит ли она вечер в Ессентуках почти 40 лет назад? Оказалось, что балерина тот вечер тоже запомнила на всю жизнь.

Несмотря на преклонный возраст, М. П. Костенко продолжал в эти годы обширную деятельность по подготовке собственных научных трудов: в частности, по четырехполюсным генераторам для атомных электростанций [72], готовил для переиздания на английском, французском, испанском и португальском языках свой капитальный труд «Электрические машины», консультировал сотрудников ВНИИэлектромаша и ЦКТИ и вел другую научную, научно-организационную и общественную работу.

28 декабря 1974 г. М. П. Костенко исполнилось 85 лет, но он еще продолжал в меру своих сил активно работать в институте: ежедневно, хотя и не на полный



*Празднование 85-летия М. П. Костенко во ВНИИЭлектромаше.
Слева направо: И. А. Глебов, М. П. Костенко, О. В. Костенко,
А. И. Важнов*

день, приезжал на работу, интересовался делами, давал советы, консультации. От публичного чествования в этот день он категорически отказался, но с удовольствием согласился встретиться с ветеранами института и с молодежью.

Встреча эта, как вспоминал В. Е. Каштелян, прошла в чрезвычайно теплой обстановке и имела большое воспитательное значение для молодых научных сотрудников. Ветераны рассказали молодежи, как они около 25 лет тому назад вместе с М. П. Костенко начинали строить институт, с каким энтузиазмом это делалось, какие трудности пришлось преодолеть. Поделились они и своими впечатлениями о Михаиле Полиевктовиче как человеке, товарище по работе, ученом, руководителе большого коллектива. В свою очередь, молодые сотрудники института говорили о своей работе, планах на будущее, учебе, занятиях спортом, общественных делах.

С очень интересным рассказом о некоторых этапах своей жизни и научно-технической деятельности выступил Михаил Полиевктович. Поразительно было видеть, как он в 85 лет легко вспоминал мельчайшие подробно-

сти событий, которые ему пришлось пережить; как умело отбирал именно те события, о которых наиболее полезно рассказать сегодняшней молодежи; как продуманно строил свое выступление. И молодые сотрудники, и ветераны слушали его рассказ с огромным интересом.

На встрече выступила и Ольга Васильевна Костенко. Даже тот, кто не очень близко знал семью Михаила Полиевктовича, мог видеть большую роль этой умной и обаятельной женщины и в его жизни, и в его деятельности. Ольга Васильевна была, если можно так выразиться, и научным, и хозяйственным, и общественным руководителем семьи. Все заботы по семье она добровольно и сознательно взяла на свои плечи и тем самым полностью освободила от них Михаила Полиевктовича. Хорошо зная характер мужа, она исключительно умело создавала все необходимые условия для его плодотворной работы. И кто знает, как сложилась бы жизнь и судьба Михаила Полиевктовича, если бы рядом с ним не было такого умного, преданного и заботливого друга...

Всех, кто посещал дом Костенко, восхищал высокий интеллектуальный уровень жизни этой семьи. Дело тут, конечно, не только в степени ее научной квалификации, хотя в семью Михаила Полиевктовича входили крупные ученые (например, член-корр. АН СССР М. В. Костенко, сын Владимира Полиевктовича Костенко; проф. П. Ю. Каасик, муж дочери М. П. Костенко — Елены Михайловны). Большую роль играли начитанность и общая образованность этой дружной семьи. Будучи выдающимся ученым в области электротехники и электроэнергетики, Костенко хорошо разбирался и в других областях науки. Михаил Полиевктович перечитал массу книг и помнил содержание даже тех из них, с которыми знакомился в детстве. В разговорах на технические темы он часто остроумно ссылался на примеры из художественной литературы. Чаще всего он приводил цитаты из А. П. Чехова, которого любил страстно и безгранично. Любил он и А. С. Пушкина, Т. Г. Шевченко. В семье Михаила Полиевктовича говорили по-английски, по-французски, по-немецки.

Михаил Полиевктович и Ольга Васильевна очень ценили русскую классическую музыку и живопись. Интересовался Костенко и художниками начала XX в. В его небольшой домашней коллекции имеются работы Коровина, Бенуа, Кустодиева, Судейкина. Свой интерес к жи-

вописи, к русскому искусству, супруги Костенко передали своим детям. Их младшая дочь Елена окончила Академию художеств и стала известным мастером.

Будучи человеком жизнерадостным и остроумным, Михаил Полиевктович любил шутку и часто рассказывал веселые истории... Имея высокие ученые звания и занимая ответственные административные посты, он оставался очень простым человеком и никогда не показывал своего превосходства в знаниях, в эрудиции, наконец, в положении. В разговорах Костенко часто употреблял такие выражения: «Как мы с Вами показали...», «Мы с Вами установили, что...» и т. п. Этим он отмечал причастность собеседника (или собеседников) к тому, что обсуждается, подчеркивая, что излагаемые им соображения являются плодом не только его размышлений, но и в какой-то мере результатом коллективного труда.

Михаил Полиевктович всегда и всех называл на «Вы». Слово «ты» он использовал только иногда в частных разговорах со своими самыми близкими друзьями. Это обстоятельство также является штрихом его уважительного отношения к собеседнику, к человеку, кем бы тот ни был по должности, званию и т. п.

Простота, чуткость, отзывчивость и уважительность М. П. Костенко буквально притягивали к нему людей. Несмотря на огромную занятость ученого, к нему можно было обратиться по любому вопросу — личному, служебному, общественному. И если действительно какой-то вопрос мог быть решен только им самим, он не перекладывал решение на других. Забота о своих сотрудниках стояла у Костенко на одном из первых мест в перечне множества больших и мелких забот. Являясь членом Президиума АН СССР, Уполномоченным Президиума АН СССР по Ленинграду и депутатом Верховного Совета СССР, Михаил Полиевктович многим своим сотрудникам оказал помощь в улучшении жилищных условий, в предоставлении санаторного лечения и т. п.

В 1976 г. он чувствовал себя неважно, лето провел на даче в Комарово. Его по-прежнему навещали друзья, коллеги, соратники — среди них прежде всего И. А. Глебов, А. Е. Алексеев, Е. Я. Казовский. Летом его навестила М. М. Артюгина, ученый секретарь СЗО ИС АН СССР. Позднее она вспоминала: «В июне 1976 года я приехала к Михаилу Полиевктовичу в Комарово. Он

уже плохо себя чувствовал, но на рабочем столе, как всегда, лежали журналы, книги и томик стихов Т. Г. Шевченко. Мы заговорили о поэзии, и вдруг Михаил Полиевктович прочел мне «Заповит», прочел грустно, с теми неуловимо-мягкими украинскими интонациями, которые в его речи я услышала впервые. Стихи прозвучали грустно, прощально». . . 18 декабря 1976 г. Михаил Полиевктович Костенко скончался, не дожив всего 10 дней до своего 87-летия.

Мировая энергетическая и электротехническая общественность выражала свою глубокую скорбь по поводу кончины М. П. Костенко. Председатель и секретарь СИГРЭ в письме на имя Председателя советского комитета СИГРЭ Л. Г. Мамиконянца писал:

«Дорогой мистер Мамиконянец.

Из январского выпуска журнала «Электра», который, как обычно, несколько запоздал, мы лишь недавно узнали о кончине академика М. П. Костенко.

Мы хотели бы выразить Вам, Национальному комитету СИГРЭ и всем советским членам СИГРЭ наши соболезнования и глубочайшее личное сочувствие. Он дожил, правда, до глубокой старости, но всегда так неожиданно покидают мир выдающиеся люди исторической эпохи. Профессор Костенко был поистине великим пионером современной техники, и его кончина, мы думаем, — это потеря не только для Вашей страны, но и для всего мира.

Все то время, что мы знали его, он оставался для нас чистым, сердечным человеком с тонкой душой, и эти его качества никогда не будут нами забыты, как никогда не забудутся его большие достижения в качестве ученого, инженера и учителя».

В 1978 г. на сессии СИГРЭ в Париже президент Янке говорил о большой работе, проведенной М. П. Костенко в рамках СИГРЭ. Зарубежные специалисты вспоминали об интересных творческих дискуссиях по его докладам. И с особой теплотой многие из них отмечали встречи в кругу его семьи.

В октябре 1978 г. ВНИИЭлектромаш посетила группа зарубежных специалистов, которые хорошо знали Михаила Полиевктовича. Исключительно большое впечатление на них произвела картина, на которой изображен М. П. Костенко в своем рабочем кабинете. Эта картина написана его дочерью Еленой Михайловной и подарена Институту.

Сотрудники ВНИИэлектромаш увековечили память основателя и первого директора Института М. П. Костенко, оставив в неприкосновенности его личный кабинет и его личную библиотеку, переданную в институт семьей ученого. В кабинете вывешен и портрет М. П. Костенко, написанный его дочерью. По ходатайству Отделения физико-технических и теоретических проблем энергетики Академии наук СССР в Ленинграде на здании ВНИИэлектромаш (Дворцовая набережная, дом 18) и на доме, где ученый прожил более полувека (проспект Добролюбова, дом 26а), установлены мемориальные доски.

Глава двенадцатая

Ленинградская школа электромашиностроения в решении крупнейших научно-технических задач современности

Быстрая смена идей присуща эпохе научно-технической революции. Она привела и к некоторому изменению тематики работ ВНИИэлектромаша (бывшего Института электромеханики). Отдельные конкретные темы, над которыми работал М. П. Костенко, потеряли свою актуальность. Например, коллекторный генератор и вообще коллекторные машины, которым ученый посвятил так много лет, с развитием тиристорной техники, позволяющей осуществлять эффективное регулирование частоты вращения асинхронных электродвигателей без обращения к каскадным схемам, в значительной степени утратили ореол незаменимости, который окружал их в первую половину XX в. Совершенствовались и вышли на новую ступень и методы испытаний электрических машин. Большие шаги вперед были сделаны в теории электрических машин, в использовании достижений физики в электромашиностроении, в энергетике.

Счастлив тот, кто основал научную школу. Его замыслы и методы долго живут в делах учеников и последователей, часто перерастая судьбы отдельных технических достижений. Прекрасным примером является научная школа М. П. Костенко. Чтобы лучше понять это, попытаемся в самой общей форме представить себе, как участвуют представители этой школы в решении наиболее кардинальных проблем, поставленных научно-техни-

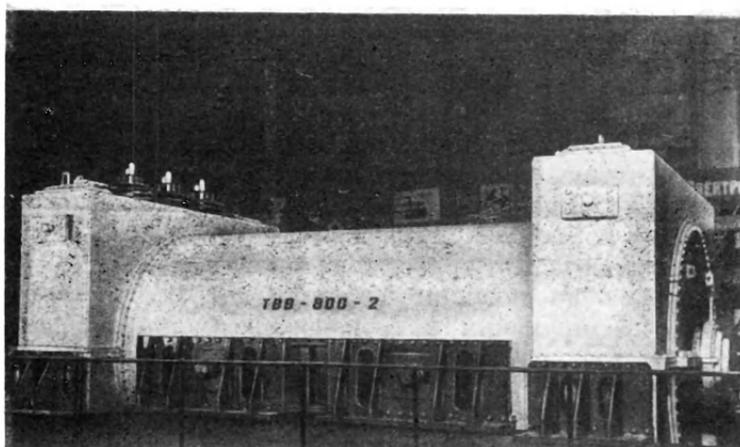
ческим прогрессом перед электротехниками страны уже после смерти М. П. Костенко.

В этом смысле весьма показательны состав докладчиков и тематика их выступлений на Всемирном электротехническом конгрессе (ВЭЛК), состоявшемся в Москве 24—25 июня 1977 г. Среди них было много членов Ленинградской научной школы электромашиностроения. Их участие в работе международного форума электротехников, обобщившего достижения мировой электротехники, весьма ярко показывает большое влияние М. П. Костенко на судьбы его научной школы.

Стержень исследовательской программы М. П. Костенко, как нам кажется, содержится в его выступлении на одной из годовых сессий АН СССР. В нем ученый останавливается на поисках предельных значений технических параметров, связывая эту проблему с конкретной задачей всемерного увеличения единичной мощности турбогенераторов, обусловленной экономическими соображениями:

«Нам необходимо, — подчеркивал М. П. Костенко, — быстро строить грандиозные электростанции, мощность которых измеряется миллионами киловатт. Необходимо добиться и резкого уменьшения удельной стоимости электроэнергии, а это нельзя обеспечить на основе уже освоенных технических решений. Необходимы качественно новые научно-технические достижения, построенные на принципе резкого повышения единичной мощности электрических агрегатов и создания установок с предельно высокими параметрами рабочих процессов в комплексном звене котел—турбина—генератор. Приведу пример. Перед Отечественной войной в СССР был построен первый в мире турбоагрегат мощностью в 100 тыс. кВт, в который входил генератор с воздушным охлаждением обмоток с предельным по механическим напряжениям диаметром ротора около 1 м и предельной по условиям критической скорости вращения ротора длиной около 6,5 м¹. В послевоенный период началась интенсивная работа как за рубежом, так и в СССР по созданию турбогенераторов повышенной единичной мощности. Была применена система водородного охлаждения обмоток, что дало возможность повысить мощность агрегата сначала до 150—200 тыс. кВт, 3000 об./мин, а затем до

¹ Речь идет о турбогенераторе типа Т2-100-2. — *Примеч. авт.*



Турбогенератор ТВВ-800-2 мощностью 800 МВт завода «Электросила» 1967 г.)

300 тыс. кВт, 3000 об./мин при тех же магнитных индукциях, но соответственно повышенных удельных токовых нагрузках. Затем началось реальное проектирование еще более мощных агрегатов — до 500 тыс. кВт, 3000 об./мин и одновременно начались технические изыскания и предварительное проектирование агрегатов мощностью в 750—800 тыс. кВт с дальнейшим повышением мощности единичного агрегата до 1 млн. кВт и выше при той же скорости вращения 3000 об./мин, но уже с непосредственно водяным и водородным охлаждением обмоток. Габариты этих грандиозных по мощности агрегатов остались практически теми же — диаметр ротора несколько больше 1 м, а длина около 6,5—7 м. Следующим шагом является повышение механических напряжений в материалах бочки ротора и роторных бандажей, защищающих лобовые части роторных обмоток. Это даст возможность дальнейшего повышения диаметров роторов, а вместе с тем и мощности генераторов, поскольку номинальная мощность генератора, грубо говоря, зависит примерно в 3-й степени от диаметра ротора. Номинальная мощность машины определяется произведением удельных токовой и магнитной нагрузок, из которых последняя пока оставалась практически на неизменном уровне. Магнитная индукция в воздушном зазоре достигла в настоящее время величины порядка 1 В, на 1 м², или, что одно

и то жё, 1 Т. Далее в перспективе должна придти на помощь сверхпроводимость, которая уже сейчас открыла возможность строить электромагниты с чрезвычайно большой напряженностью магнитного поля. С другой стороны, уже сейчас проектируются и строятся трансформаторы, соответствующие мощнейшим генераторам. При современных методах использования явления сверхпроводимости таких сплавов, как, например, ниобий—олово, предельная мощность трансформаторов, которая также ограничивалась до сих пор условиями нагревания существующих изолирующих материалов, возможно, поднимется выше реально необходимой для их практического применения.

Сверхпроводимость создает перспективу изготовления всех сильноточных устройств с магнитным полем — электромагнитов, трансформаторов, а затем и электрических генераторов практически без потерь. Следовательно, уже в обозримом будущем можно будет иметь генерирующие и трансформирующие агрегаты весьма большой мощности. Здесь все должно решаться не только техническими возможностями осуществления, но и экономической целесообразностью и надежностью в работе, ибо авария с генерирующими агрегатами миллионных мощностей приведет к неисчислимым бедствиям для промышленности и потребителя, связанного с генерирующими станциями»².

Таким образом, долгосрочной, устойчивой исследовательской программой, которой в основном придерживался М. П. Костенко, несмотря на все разнообразие своего научного творчества, являлось создание электротехнических устройств предельных параметров — электрических машин предельных мощностей.

Первая ветвь этого направления — разработка генераторов предельных мощностей для электрических станций — возникла у М. П. Костенко, как уже говорилось, в первые годы его работы на «Электросиле». Идеи в этой области он реализовал в многочисленных научных трудах, хронологически охватывающих почти полувековой период — с испытания Волховских генераторов [14] до разработки проблем создания четырехполюсных исполнских турбогенераторов для атомных станций [72]. Это

² Костенко М. П. Выступление на Годичной сессии АН СССР 5 февраля 1963 г. — Семейный архив М. П. Костенко.

направление исследований М. П. Костенко наиболее ярко проявилось в Ташкенте, где перед ученым стояла прямая задача — добиться от генераторов предельно возможной мощности [32]. Работы по созданию генераторов предельных мощностей продолжили сотрудники ВНИИ-электромаша и исследовательских подразделений завода «Электросила»³. Практическим воплощением их деятельности в этой области явилась постройка на «Электросиле» уникальных машин: турбогенератора мощностью 1 200 000 кВт для Костромской ГРЭС и гидрогенератора мощностью 640 000 кВт для Саяно-Шушенской ГЭС с первоклассными системами регулирования, высокой статической и динамической устойчивостью, а также разработка проектов еще более мощных машин, в том числе со сверхпроводниками.

Вторая ветвь главной исследовательской программы М. П. Костенко — разработка машин предельных импульсных мощностей. Она берет начало с изобретения М. П. Костенко (совместно с Н. С. Япольским) электромагнитного молота [2, 5, 6] и создания им (совместно с П. Л. Капицей и М. Уокером) ударного синхронного генератора для знаменитых кембриджских экспериментов Капицы в сверхсильных магнитных полях [11]. Эти работы Костенко легли в основу создания современных накопительных устройств и импульсных источников энергии для термоядерных и других энергетических установок.

Разработке электрических устройств предельных параметров тесны рамки дисциплинарной матрицы. Это направление вобрало в себя и социальные, и личностные компоненты. Постановка проблемы «предельная мощность электрической машины» стала возможной лишь после переосмысления конкретным индивидом — М. П. Костенко социальной задачи — выполнения плана ГОЭЛРО, который предусматривал постройку мощных гидрогенераторов для Волховской ГЭС. Такая программа исследования могла бы не появиться, если бы к моменту поступления социального заказа (1924 г.) М. П. Костенко в своем творчестве не прошел стадию изобретения электромагнитного молота, где необходимо было до-

³ См.: Карцев В. П. Электрические машины предельных мощностей. М.: Знание, 1977; Он же. Современные турбогенераторы. М.: Энергия, 1976.

биться предельно возможных значений ударного механического момента (1918—1923 гг.), а также стадию постройки ударного синхронного генератора для производства предельно больших токов для известных уже опытов П. Л. Капицы (1923—1924 гг.). В эти периоды творчества у М. П. Костенко сформировалась установка на достижение успеха путем приближения к предельным значениям параметров, движения к «сверхвеличинам» и использования «сверхявлений». В противоположность, например, «оптимизационному» пути, где ищутся оптимальные, не слишком высокие и не слишком низкие параметры для достижения экстремумов «посторонних» для электромагнитного процесса функций, подход Костенко рассчитан на глубокое проникновение в рамки «охватывающих», теоретических категорий, на базе которых становится возможным расширение актуализированного категориального аппарата. Поиск проблемы предполагает одновременное нащупывание и путей ее решения.

Путь решения технических проблем электромашиностроения, имеющих четко выраженный практический выход, видится ученому прежде всего в проведении теоретических математических и физических исследований в рамках «охватывающих» категорий. Эта ситуация совершенно нетипична для «оптимизационного» пути, решение проблем которого предполагает оперирование электротехническими (в рамках традиционной или нетрадиционной электротехнической методики расчета машины) категориями, привязанными к некоторым «выходным» практическим параметрам (вес, стоимость, габариты, коэффициент мощности и т. п.).

Выход на теоретические категории позволяет наметить направления, разработка которых может привести к наиболее значимым результатам. Характерно, что многие из этих направлений не охватываются традиционной электротехнической проблематикой: они лежат в областях анализа проблем, связываемых с математикой, физикой, химией и другими фундаментальными дисциплинами. Таким образом, представителям фундаментальных наук предлагаются те направления исследований, которые должны немедленно привести к важным практическим результатам.

В упомянутом выше выступлении на Годичной сессии АН СССР М. П. Костенко, намечая важнейшие, по его мнению, направления фундаментальных исследований,

которые могут непосредственно воздействовать на технический прогресс в энергетике, прямо назвал исследования сверхпроводимости⁴. Теперь уже всем известно, к каким плодотворным результатам привело использование результатов исследований в области физики в решении проблемы создания сверхпроводникового электрооборудования⁵.

Все изложенные выше соображения позволяют утверждать преимущество программы и методов исследований Ленинградской научной школы электромашиностроения. Как при создании в стране в конце 30-х годов генератора мощностью 100 000 кВт (3000 об./мин), так и при постройке на «Электросиле» в последние годы современного гигантского турбогенератора мощностью 1 200 000 кВт (3000 об./мин), был использован один и тот же научно-технический принцип приближения к возможному техническому пределу. Стабильным оставался и метод достижения поставленной цели: все разработки основывались на новейших физико-технических достижениях.

ВЭЛК-77 вскрыл резервы создания машин предельной единичной мощности. Так, в докладах подсекции «Турбо- и гидрогенераторы» отчетливо прозвучала мысль о том, что возможности постройки таких машин скрыты в более эффективном использовании процессов охлаждения и применения новых охлаждающих агентов, в отказе от некоторых ограничивающих дальнейший прогресс материалов, в создании новых систем регулирования и т. п.

В ряде докладов, прочитанных на заседаниях «термоядерной» подсекции ВЭЛК-77, отчетливо наблюдается возврат к старой идее М. П. Костенко об ударном генераторе. Дело в том, что современные установки для физических экспериментов во все возрастающих масштабах нуждаются в устройствах, предназначенных для накопления и высвобождения энергии в виде мощного электрического импульса⁶.

⁴ См.: *Костенко М. П.* Выступление на Годичной сессии АН СССР 5 февраля 1963 г.

⁵ *Глебов И. А.* Электромеханические преобразователи энергии. — Наука и человечество. М.: Знание, 1980.

⁶ *Глебов И. А., Кашарский Э. Г., Рутберг Ф. Г.* Проблемы создания мощных импульсных и трехфазных генераторов плотной плазмы, а также источников их энергопитания. — В кн.: Доклады ВЭЛК—77. М.: Информэнерго, 1977.



*М. П. Костенко. Бюст работы
М. К. Аникушина*

В трудах М. П. Костенко была разработана теория и методы расчета электрических машин для этих целей. Они стали основой создания нескольких поколений ударных генераторов различных типов [11]. Накопление энергии в маховых массах может проводиться при сравнительно небольшой мощности приводного двигателя. Сохранение энергии обеспечивается в течение достаточно длительного времени, а стоимость ее накопления оказывается наименьшей по сравнению с другими источниками. Ударные генераторы являются и наиболее удобной системой: они позволяют достаточно легко варьиро-

вать ток, напряжение и выходную мощность.

Идея, высказанная М. П. Костенко более 50 лет назад, переживает сегодня новый подъем. В энергопитании термоядерных установок, мощных генераторов плазмы, индуктивных накопителей энергии сегодня применяются ударные электрические машины. В работах учеников М. П. Костенко (во главе с академиком И. А. Глебовым) развиты вопросы создания и использования в различных режимах, в частности динамического торможения наиболее мощных ударных машин⁷.

Возможно, постройка в недалеком будущем сверхпроводниковых, а затем и термоядерных генераторов станет одним из крупных достижений в русле исследовательской программы М. П. Костенко, развиваемой его последователями. Но творческий метод ученого, воспринятый его школой, является вполне адекватным инструментом и для

⁷ См.: Глебов И. А., Кашарский Э. Г., Рутберг Ф. Г. Синхронные генераторы в электрофизических установках. Л.: Наука, 1977.

многих других задач, которые могут быть поставлены будущим. Не случайно его коллеги, ученики и последователи Д. В. Ефремов, Е. Г. Комар и К. Дьяченко писали М. П. Костенко в день его юбилея:

«Мы сердечно благодарим Вас за то, что Вы вооружили нас своим творческим методом, который оказался очень эффективным при разработке новых пластов научной и инженерной целины»⁸. Руководитель научной школы не может снабдить своих учеников рецептом для решения любых задач — он прежде всего оставляет им свою исследовательскую программу и свой творческий метод, которые в полной мере сохраняют свое значение и на современном этапе исследований в области электромашиностроения.

«Сейчас, когда все созданное Михаилом Полиевктовичем уходит в область прошлого, перед нами с особой силой встает его светлый, неумирающий образ. Нам — его ученикам и последователям — кажется прекрасным и неповторимым путь, которым прошел он и привел нас к высотам научного творчества. Каждый из нас несет в себе искру того большого огня, которым горел наш дорогой и незабываемый друг и учитель — академик Михаил Полиевктович Костенко»⁹.

⁸ Семейный архив М. П. Костенко.

⁹ Урусов И. Д. Воспоминания. — Архив автора. Рукопись.

Основные даты жизни и деятельности М. П. Костенко

- 1889 28 (16) декабря родился в с. Вейделевка Воронежской губ. (ныне Белгородская обл.).
- 1907 окончил гимназию и поступил на естественный факультет Петербургского университета.
- 1908 поступил в Петербургский электротехнический институт.
- 1910 арестован и выслан в Чердынский уезд (Пермской губ.) за участие в студенческих волнениях.
- 1911—1913 работал монтером телефонной сети Чердынского земства.
- 1913 поступил на электромеханическое отделение Петербургского политехнического института.
- 1918 окончил Петроградский политехнический институт (ППИ).
- 1918—1922 руководил работами Магнитофугального бюро Научно-технического отдела ВСНХ.
- 1920—1921 работал преподавателем-лаборантом ППИ по кафедре «Электрические машины».
- 1921 участвовал в работе VIII Всероссийского электротехнического съезда.
- 1922—1924 инженер по приему оборудования для заводов СССР и по реализации собственных изобретений (Англия).
- 1924—1927 преподаватель-лаборант кафедры «Электрические машины» Ленинградского политехнического института (ЛПИ); инженер по расчету специальных электрических машин на заводе «Электросила».
- 1927—1930 доцент кафедры «Электрические машины» ЛПИ.
- 1930 профессор кафедры «Электрические машины» ЛПИ; назначен заведующим Общезаводским бюро исследований завода «Электросила» (ОБИС).
- 1931—1941 заведующий кафедрой «Электрические машины» ЛПИ.
- 1933 утвержден в ученом звании профессора.
- 1935—1936 шеф-электрик Харьковского электромеханического завода (ХЭМЗ).
- 1936—1938 декан электромеханического факультета ЛПИ.
- 1937 утвержден в ученой степени доктора технических наук.
- 1939 избран членом-корреспондентом АН СССР по ОТН.
- 1941 эвакуирован в г. Ташкент.

- 1941—1944 профессор Среднеазиатского индустриального института по кафедре «Электрические машины». Заместитель директора Энергетического института УзФАН.
- 1944—1946 декан электромеханического факультета, профессор, заведующий кафедрой «Электрические машины» ЛПИ.
- 1944 удостоен звания Заслуженного деятеля науки и техники Узбекской ССР.
- 1945 награжден орденом Трудового Красного Знамени за выдающиеся заслуги в развитии науки и техники в связи с 220-летием Академии наук СССР.
- 1946 награжден медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941—1945 гг.».
- 1946—1950 заведующий лабораторией электромеханики, старший научный сотрудник Энергетического института им. Г. М. Кржижановского АН СССР.
- 1948 делегат СССР на Международную конференцию по крупным электрическим системам (СИГРЭ) в Париже.
- 1949 удостоен Государственной премии СССР за разработку конструкции и освоение производства электрических машин специальных типов.
- 1951 удостоен Государственной премии СССР за монографию «Электрические машины»; заведующий Ленинградским отделением Института автоматики и телемеханики АН СССР (ИАТ АН СССР); заместитель директора ИАТ АН СССР.
- 1953 награжден орденом Ленина за выслугу лет и безупречную работу; избран академиком АН СССР.
- 1955—1967 директор Института электромеханики АН СССР.
- 1955 командирован в составе делегации АН СССР в Китай.
- 1956 руководитель делегации АН СССР в Швеции.
- 1957 награжден орденом Ленина за заслуги в развитии науки в связи с 250-летием Ленинграда; избран членом Президиума АН СССР; Уполномоченный Президиума АН СССР по Ленинграду; член бюро ОТН АН СССР, член бюро Отделения физико-технических проблем энергетики АН СССР; руководитель делегации АН СССР в Чехословакии.
- 1958 удостоен Ленинской премии за создание электродинамических моделей для практических исследований мощных энергосистем, линий сверхдальних передач, электроустановок и аппаратуры электрических станций.
- 1958—1962 депутат Верховного Совета СССР
- 1958 руководитель делегации АН СССР в Румынии; делегат СССР на Международной конференции по крупным энергетическим системам (СИГРЭ) в Париже.
- 1959 избран почетным членом Научно-технического общества энергетической промышленности (НТОЭП) СССР.
- 1960 руководитель делегации АН СССР в Румынии; делегат СССР на очередную Международную конференцию по крупным энергетическим системам (СИГРЭ) в Париже; командирован в Канаду для ознакомления с энергетикой страны.
- 1961 руководитель делегации АН СССР на 48-й сессии Научного конгресса Индии; участвовал в работах На-

- учно-технического комитета по электрическим машинам СИГРЭ в Лондоне.
- 1962—1968 делегат СССР на Международных конференциях СИГРЭ по электрическим машинам в Париже.
- 1965 участвовал в работах Научно-технического комитета СИГРЭ по электрическим машинам в Токио.
- 1967—1976 Председатель Научного совета по теоретическим и физическим проблемам энергетики АН СССР. Научный консультант ИЭМ по турбо- и гидрогенераторам и электродинамическому моделированию энергосистем.
- 1968 возглавил Северо-Западное отделение Научного совета по комплексным проблемам энергетики АН СССР.
- 1969 удостоен звания Героя Социалистического Труда за заслуги в развитии науки в области электромашиностроения, многолетнюю работу по подготовке инженерных и научных кадров и в связи с 80-летием со дня рождения. Награжден орденом Ленина и золотой медалью «Серп и Молот».
- 1971—1976 консультант ИЭМ, ЦКТИ в области мощных четырехполюсных турбогенераторов для атомных электростанций.
- 1974—1976 работал над редактированием переводов общего курса электрических машин на английский, французский, испанский и португальский языки.
- 1975 награжден орденом Ленина в связи с 250-летием Академии наук СССР.
- 1976 18 декабря скончался в Ленинграде.

1. Краткое описание военно-полевых телефонных аппаратов: Походный справочник для воен. телефонистов. Пг.: Пг. ком. воен.-техн. помощи Объед. науч. и техн. орг., 1917. 75 с.
2. Получение переменных частот от коллекторного альтернатора постоянного числа оборотов.— В кн.: Бюллетени Организационного комитета VIII Всероссийского электротехнического съезда, 20 сентября 1921 г. Пг.: НТО ВСНХ, 1921, № 2, с. 60—61.
3. Трансформаторы-регуляторы.— В кн.: Сообщения о научно-технических работах в республике. М.: НТО ВСНХ, 1921, вып. 4, с. 235—236.
4. Телефон: Устройство телефонных аппаратов центральных коммутаторов и телефонных линий городских, сельских и домашних сетей. Пг.: Мысль, 1923. 123 с.
5. Kollektormaschine. (Коллекторная машина). Пат. 101700 (Швейцария)/ In Gemeinschaft mit N. Japolsky.
6. Installation életrone comprenant une machine mue électromagnétiquement, qui possède un organé travaillant par chocs. (Электрическое устройство, включающее машину, приводимую в движение электромагнитным путем и имеющую орган, работающий ударами). Пат. 100250 (Швейцария) /En collaboration avec N. Japolsky.
7. Systems controlling travel for a fixed distance. (Система, управляющая перемещением на определенное расстояние). Пат. 221041 (Англия) /In collaboration with N. Japolsky, V. Woronoff and C. Sabaneew.
8. Компенсированный коллекторный многофазный альтернатор с круговым вращающимся полем и независимым возбуждением переменного тока.— Электричество, 1925, № 7, с. 417—426; Работа многофазного асинхронного двигателя при переменном числе периодов.— Там же, № 2, с. 87—95.
9. Трехфазные компенсированные асинхронные двигатели.— Электричество, 1926, № 1, с. 12—25/ В соавторстве с Р. А. Лютером.
10. Устройство коллектора и щеток для коллекторных машин переменного тока. А. с. 1648 (СССР)/ В соавторстве с Р. А. Лютером.
11. Electrical impulse generator. (Электрический импульсный генератор). Пат. 254349 (Англия)/ In collaboration with P. L. Kapitza.

12. Многофазные коллекторные машины: Конспект лекций. Л.: ЛПИ, 1927. 274 с.
13. Теоретические обоснования схемы всеобщего трансформатора.— Электричество, 1928, № 23/24, с. 512—517.
14. Испытания главных волховских генераторов завода «Электросила». — Изв. Гос. электротехн. тр., 1928, № 5/6, с. 77—85/ В соавторстве с Р. Лютером.
15. Индукционные машины. — Техн. энцикл., 1928, т. 9, стб. 130—170.
16. Многофазные шунтовые коллекторные и асинхронные машины как частные случаи «всеобщего трансформатора». — Электричество, 1929, № 3/4, с. 51—56.
17. Теория и расчет двигателей Бушера. — В кн.: Электромашиностроение. Л.: НТО электр., 1930, с. 26—55.
18. Экспериментальные и теоретические круговые диаграммы по методу «всеобщего трансформатора». — Электричество, 1930, № 6, с. 269—277/ В соавторстве с Д. А. Завалишиным.
19. Круговая диаграмма и соответствующая ей эквивалентная схема асинхронной машины. — Вестн. электротехн., 1930, № 4, с. 53—61.
20. Агрегат для регулирования скорости асинхронного двигателя. А. с. 26378 (СССР)/ В соавторстве с Н. Ф. Перевозским.
21. Коллекторные машины переменного тока. Л.: Кубуч, 1933. Ч. 1. 473 с.
22. Двухслойная обмотка статоров и роторов трехфазных машин переменного тока. А. с. 32036 (СССР)/ В соавторстве с Г. К. Жерве.
23. Эквивалентные схемы и постоянные времени затухания симметричных составляющих токов внезапного короткого замыкания. — В кн.: Энергетический сборник Ленинградского областного энергетического комитета рабочей и научно-инженерной технической общественности. Л.: Облбюро ИТС ВСРЭ, 1934, вып. 1, с. 23—31.
24. Косвенный метод теплового испытания асинхронных двигателей. — Электричество, 1934, № 2, с. 17—22.
25. Результаты испытаний гидрогенераторов Дзорагэс. — Электропривод, 1935, № 3, с. 7—20/ В соавторстве с И. М. Постниковым.
26. К вопросу об единых сериях электрических машин. — В кн.: За единые серии электрических машин. М.: ОНТИ, 1936, вып. 1, с. 30—41/ В соавторстве с Б. М. Шматько.
27. Экспериментально-практический анализ коммутации машин постоянного тока. — В кн.: За единые серии электрических машин. М.: ОНТИ, 1936, вып. 2, с. 335—357.
28. Некоторые замечания о типе тягового коллекторного двигателя на 50 Нз: (К дискуссии между Л. М. Шильдинером и О. В. Бенедиктом). — Вестн. электропром.-сти, 1938, № 8/9, с. 35—41.
29. Турбогенераторы. Л.; М.: Госэнергоиздат, 1939, 348 с./ В соавторстве с А. Е. Алексеевым.
30. Схемы обмоток якорей машин переменного тока. Л.: ЛПИ, 1939. 405 с./ В соавторстве с Г. Б. Меркиным.
31. Схемы обмоток якорей машин постоянного тока. Л.: ЛПИ, 1940. 86 с./ В соавторстве с Г. Б. Меркиным.

32. Предельное использование генераторного оборудования электростанции. — В кн.: Научно-техническая конференция, посвященная 40-летию юбилею деятельности (Ленинградского политехнического) института: Тезисы докладов. Ленинград; Ташкент: УзФАН, 1943, с. 8—13.
33. Электрические машины: Часть общая М.; Л.; Госэнергоиздат, 1944. 815 с./ При участии А. В. Трамбицкого и Д. В. Ефремова.
34. Моделирование электрических машин при изучении устойчивости параллельной работы электрических систем. — В кн.: Тезисы докладов на II научно-технической конференции ЛПИ. Ленинград; Ташкент: ЛПИ, с. 22—27.
35. Электромагнитные процессы в системах с мощными выпрямительными установками. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1946. 107 с. /В соавторстве с Л. Р. Нейманом и Г. Н. Блаудзевичем.
36. Моделирование электрических машин и трансформаторов при экспериментальном исследовании устойчивости параллельной работы электрических станций. — Труды ЛПИ, 1946, № 1, с. 48—82./ В соавторстве с Е. Д. Трейвиш. Резюме на англ. яз.
37. Обсуждение статьи инж. Е. Я. Казовского «Теоретические вопросы современного электромашиностроения» (Электричество, 1945, № 7). — Электричество, 1946, № 3, с. 85—86.
38. Электромагнитные процессы в мощных выпрямителях и их связь с параметрами энергоснабжающей системы. — Электричество, 1947, № 1, с. 7—21/ В соавторстве с Л. Р. Нейманом.
39. Электрические машины: Специальная часть. Л.; М.: Госэнергоиздат, 1949. 712 с. Переведено на румын. и кит. языки.
40. Электродинамическая модель для исследования устойчивости. — Электричество, 1950, № 9, с. 5—16. Переведено на румын. яз.
41. Электромашинный усилитель. А. с. 82998 (СССР)/ В соавторстве с А. Г. Иосифьяном.
42. Устройство для управления электроприводом. А. с. 93169 (СССР) В соавторстве с А. А. Эфенди-заде.
43. Проблемы создания мощных гидрогенераторов для великих строек коммунизма и научно-исследовательские задачи. — Изв. АН СССР. ОТН, 1952, № 9, с. 1315—1321.
44. Вопросы развития современной теории синхронной машины. — Вестн. электропром-сти, 1952, № 2, с. 4—13/ В соавторстве с Р. А. Лютером и Е. Я. Казовским.
45. Электрификация железных дорог и ее перспективы. — Правда, 1955, 6 июня.
46. Задачи проектных, промышленных и научно-исследовательских организаций в области дальних электропередач. — В кн.: Межвузовская научно-техническая конференция по дальним электропередачам: Тезисы докладов. Л.: ЛПИ, 1956, с. 3—6.
47. Состояние и задачи развития электроприводов с частотным электронно-ионным и электронно-ионным управлением. — В кн.: Тезисы докладов на секционных заседаниях Сессии Академии наук СССР по научным проблемам автоматизации производства, 15—20 октября 1956 г. М.: Изд-во АН СССР, 1956, с. 67—70/ В соавторстве с Д. А. Завалишиным.
48. Регулируемый электропривод переменного тока. А. с. 106863 (СССР)/ В соавторстве с В. В. Рудаковым и Ю. М. Александровым.

49. Электрические машины: Ч. 1. Машины постоянного тока. Трансформаторы. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1957. 464 с./ В соавторстве с Л. М. Пиотровским.
50. Метод электродинамического (физического) моделирования при решении проблем единой энергетической системы СССР. — В кн.: Энергетика /Под ред. Л. А. Мелентьева. Л.: Госэнергоиздат, 1957, с. 78—102.
51. Научные проблемы создания единой энергетической системы СССР. — Вестн. АН СССР, 1957, № 10, с. 23—31. Переведено на кит. яз.
52. Электрические машины: Ч. 2. Машины переменного тока. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1958. 651 с./ В соавторстве с Л. М. Пиотровским.
53. Электродинамическое моделирование как метод научного исследования проблем энергетики. — Вестн. АН СССР, 1958, № 4, с. 13—24/ В соавторстве с И. А. Глебовым. Переведено на англ. и кит. языки.
54. Об укреплении связи школы с жизнью и о дальнейшем развитии системы образования в стране. — В кн.: Заседания Верховного Совета СССР пятого созыва. Вторая сессия (22—25 декабря 1958 г.). М.: Верх. Сов. СССР, 1959, с. 318—325.
55. Современные методы рассмотрения переходных процессов в электрических машинах переменного тока. — Изв. АН СССР. ОТН, 1959, № 4, с. 11—22/ В соавторстве с Е. Я. Казовским.
56. Большая программа исследований по электромеханике. — Вестн. АН СССР, 1959, № 7, с. 27—33.
57. Регулирование возбуждения и устойчивость при параллельной работе генераторов электростанций на две энергосистемы. — Электричество, 1959, № 12, с. 1—9/ В соавторстве с В. Е. Каштеляном, Н. С. Сирым и Г. Р. Герценбергом.
58. Экспериментальное исследование параметров синхронной машины новыми методами. — Изв. АН СССР. ОТН, 1960, № 4, с. 3—16/ В соавторстве с Е. Я. Казовским и Се Го-ляна.
59. Крупное электромашиностроение и трансформаторостроение как основа развития энергетики и электрификации. — Изв. АН СССР. ОТН, 1960, № 6, с. 10—14.
60. Экспериментальное исследование новых методов определения параметров машин переменного тока. — Электричество, 1960, № 6, с. 14—16/ В соавторстве с Е. Я. Казовским и Я. Б. Данилевичем.
61. Научные проблемы крупного электромашиностроения. — Вестн. АН СССР, 1961, № 2, с. 7—43/ В соавторстве с И. Д. Урусовым.
62. Задачи научного исследования в крупном электромашиностроении. — В кн.: Сборник работ по вопросам электромеханики. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1961/ В соавторстве с И. Д. Урусовым.
63. Автоматическое регулирование и устойчивость при параллельной работе генератора и электростанций на линии электропередачи переменного и постоянного тока. — Электричество, 1962, № 10/ В соавторстве с Л. Р. Нейманом, Н. С. Сирым, Г. Р. Герценбергом, В. Е. Каштеляном и С. Р. Глинттерником.
64. Развитие энергетики и современная наука. — Вестн. АН СССР, 1963, № 5, с. 20—23.

65. Неотложные задачи электрификации транспорта. — Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1963, № 5, с. 599—604.
66. Научно-технические задачи в области энергетики. — Вестн. АН СССР, 1964, № 11, с. 20—27.
67. Теория и расчет трехфазных коллекторных машин и каскадных систем. М.: Наука, 1964. 233 с./ В соавторстве с Л. П. Гнединым.
68. Задачи в области унификации конструкции и параметров турбо-и гидрогенераторов. — Электричество, 1966, № 2, с. 1—3/ В соавторстве с В. П. Анемподистовым, Я. Б. Данилеви-чем и Л. А. Сухановым.
69. Dimensionnement de base et caractéristique de service de grands turboalternateurs et leurs systemes d'excitation en URSS: Доклад на сессии СИГРЭ, 1968/ В соавторстве с Е. Я. Казовским, Л. Г. Мамиконянцем, И. А. Глебовым и др.
70. Научные задачи в области создания и совершенствования основного оборудования. — Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1968, № 2, с. 243.
71. Вопросы высокого удельного использования материалов в современных крупных турбогенераторах и аномальные режимы. М.: Наука, 1968/ В соавторстве с Е. Я. Казовским, Л. Г. Мамиконянцем, Г. М. Хуторецким и Л. Я. Станиславским.
72. Мощные генераторы для атомных электростанций. — Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1973, № 6, с. 18—25/ В соавторстве с Е. Я. Казовским.

Именной указатель

- Абдуллаева Ф. С. 153
Абрикосов А. А. 208
Аветов В. А. 163
Адкинс Б. 227
Акодис А. А. 217
Александров Г. П. 96, 105, 132
Александров Ю. М. 73
Алексеев А. Е. 6, 66, 67, 77, 84,
91, 96, 98, 101, 106, 119, 138,
165, 170, 237
Алексенко Г. Н. 217
Альперович М. 25
Андреев В. П. 158, 167
Андрианов Я. А. 102
Анемподистов В. П. 6, 135, 142,
146, 147, 148, 198
Аникушин М. К. 246
Апетрей П. 224
Арнольд Э. 15, 18
Артюгина И. М. 7, 237
Арутюнов В. О. 158
Басков Б. С. 7, 22, 23, 24, 48

Басов М. А. 153
Батырев К. П. 112
Бельдикос 195
Бенедикт О. В. 97, 130
Бергер А. Я. 96, 119
Бертинов А. И. 92
Бессель Ф. 89
Блавозевич Г. Н. 7, 107, 108,
109, 111, 112, 113, 116
Блондель А. 38

Бобров В. М. 160
Бобровский Л. С. 67
Боде Т. В. 153
Боклевский К. П. 28
Болотов В. В. 153
Болтенков И. 20
Бор Н. 54
Боргман И. И. 14, 15, 16, 24,
34, 37
Борисенко Н. И. 92
Борушко В. С. 92
Бриль И. И. 153
Брон О. Б. 92
Буданцев И. И. 96
Булгаков В. А. 92
Бурцева Г. Е. 153, 209
Бушера П. 46

Вавилов С. И. 5, 158, 159
Важнов А. И. 112, 113, 124, 235
Васильев И. В. 132
Васютинский С. Б. 132
Вегнер О. Г. 83
Веников В. А. 186, 187
Видеман 208
Видмар М. 82
Винтер А. В. 35
Витте С. Ю. 28
Войнаровский П. Д. 16, 17, 18,
19, 21, 23, 24
Волков Д. В. 107, 113
Вольдек А. И. 150
Воробьев Б. Е. 57

- Воронов А. А. — академик 6, 104, 105, 161, 162, 170
 Воронов А. А. — профессор 15, 37, 44, 45, 73
 Воронов Б. А. 46, 48, 52
 Ворошилов К. Е. 194
 Вульф А. В. 39, 40, 45
- Гагарин А. Г. 28
 Гасилов В. Б. 90
 Герасимов А. Н. 86
 Геронимус Е. Б. 77
 Гинзбург В. Л. 210
 Глебов И. А. 4, 6, 121, 170, 196, 208, 217, 221, 226, 229, 231, 235, 237, 245, 246
 Глинтерник С. Р. 141, 153, 209
 Гнедин Л. П. 60, 100
 Голубков Н. Е. 69
 Гольд В. В. 67
 Горев А. А. 32, 79, 89, 155
 Горелейченко В. К. 65
 Гохберг С. М. 132, 155
 Графтио Г. О. 16, 17, 19, 67
 Грузов Л. Н. 33, 96
 Грушкин Г. Ф. 107, 112, 113
 Гусев Б. Н. 141
 Гусев С. А. 32
- Давыдова Л. Г. 16, 18, 22
 Данилевич Я. Б. 121, 208, 229
 Дарманчев А. К. 153
 Дембо А. Р. 6, 7, 77, 124, 148, 166
 Демирчан К. С. 217, 218
 Дмитриев В. В. 19
 Добров Г. М. 209
 Доливо-Добровольский М. О. 28, 32, 73, 200
 Доманский Б. И. 32, 65
 Домелунгсен Г. М. 77
 Дорфман Я. Г. 60
 Дрейфус Л. 149
- Дурново Е. 20
 Дьяченко Г. И. 229, 247
- Егиазаров И. В. 17
 Егоров Н. Г. 28
 Елин М. 18
 Еремеев А. С. 101
 Ермолин Н. П. 107
 Ефремов Д. В. 42, 66, 67, 76, 77, 81, 83, 84, 88, 91, 96, 120, 247
- Жаков В. К. 77
 Жерве Г. К. 78
- Завалишин Д. А. 42, 70, 96, 138, 165, 196, 225
 Залесский А. М. 42, 45
 Заробян Я. Н. 92
 Зилитинкевич С. И. 45
 Зимин В. И. 77
- Иванов В. И. 132
 Иванов В. П. 158
 Иванов Н. А. 33
 Иванов Н. П. 81, 197, 198, 200, 228
 Иосифьян А. Г. 130
- Каасик П. Ю. 132, 133, 236
 Казовский Е. Я. 6, 7, 77, 82, 83, 84, 88, 89, 198, 205, 208, 209, 217, 218, 228, 229, 237
 Калантаров П. Л. 42, 45, 100
 Каменский М. Д. 38
 Каммерлинг-Оннес Г. 54
 Капица П. Л. 51, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 63, 86, 225, 243, 244
 Карасев В. Ф. 38
 Карасева О. В. см. Костенко О. В.
 Карпов Г. В. 6, 86, 161, 162, 196, 209, 228
 Карцев В. П. 3, 63, 198, 208, 243

- Карцев П. К. 7, 111, 112, 113, 114
 Кашарский Э. Г. 6, 172, 173, 198, 245, 246
 Каштелян В. Е. 6, 160, 162, 171. 172, 173, 176, 195, 235
 Келдыш М. В. 232
 Кинг М. 52
 Кишкина А. М. 209
 Ковалев Р. Н. 133
 Ковалева Н. В. 209
 Козичек К. 125
 Колоянцева Р. С. 113
 Комар Е. Г. 60, 81, 247
 Конкордиа Ч. 149
 Кононов В. П. 153
 Копняев П. П. 74
 Корнитенко Г. Г. 7, 174, 175
 Коровин К. А. 236
 Костенко В. П. 10, 11, 12, 13, 23, 38, 231
 Костенко Е. М. 7, 109, 236, 237, 238, 239
 Костенко М. И. 8, 9, 10
 Костенко М. В. 217, 218, 236
 Костенко М. П. 10
 Костенко О. В. 7, 8, 38, 40, 46, 48, 51, 54, 62, 111, 236
 Костенко П. И. 8, 9, 10
 Котельников В. А. 232
 Кочаровский Н. К. 23
 Красин Л. Б. 43, 51, 63, 65
 Красовский Б. Н. 60
 Кребер Б. 90
 Кремер 72
 Кржижановский Г. М. 35, 48, 49, 63, 97, 151, 186
 Кржывец Е. Б. 38
 Круг К. А. 74
 Крылов А. Н. 12, 13, 28
 Кузнецов Б. И. 77, 81
 Кузнецов И. Г. 8, 9
 Кузнецова И. М. см. Костенко И. М.
 Куйбышев В. В. 87
 Куликов Н. В. 81
 Кунцлер Дж. 208
 Кустодиев Б. М. 236
 Кутейкин Н. Е. 28
 Лакур И. Л. 18
 Ландау Л. Д. 210
 Лаплас П. С. 89
 Лапидус С. И. 112
 Латманизов М. В. 6, 77, 79, 96, 119, 124, 132
 Лебедев А. В. 42, 45
 Лебединский В. К. 50
 Левенталь Г. Б. 153
 Ленин В. И. 20, 41, 49
 Лернер Л. Г. 173
 Либкинд М. С. 218
 Лидоренко Н. С. 218
 Линдорф Л. С. 231
 Ломоносов М. В. 11, 143
 Ломоносова Л. А. 96
 Лоран П. 230
 Лулов Г. Р. 96, 113, 132
 Люст Г. А. 18, 33, 45, 74
 Лютер Р. А. 6, 17, 66, 67, 76, 83, 84, 85, 89, 91, 200
 Мавромати С. 20
 Мазур Ш. Я. 153
 Мамиконянц Л. Г. 229, 231, 238
 Максвелл Д. К. 14, 34
 Маркс К, 20
 Марлакбах М. Л. 26
 Меерович Э. А. 217
 Мелентьев Л. А. 153
 Менделеев Д. И. 28
 Меньшуткин Н. А. 28
 Меркин Г. Б. 96, 113, 132
 Микулинский С. Р. 90
 Миллионщиков М. Д. 232
 Милявская М. А. 32, 33, 42
 Милых Н. А. 217

- Миткевич В. Ф. 31, 33, 34, 35,
42, 43, 45, 74
- Мичурина К. И. 153
- Мозалевский А. В. 92
- Морозов А. А. 153
- Мосевич С. В. 66
- Набоков Д. П. 23, 24
- Науменко В. И. 90
- Нейман Л. Р. 100, 103, 107, 108,
113, 115, 116, 149, 153, 217, 218,
226
- Несговорова Е. Д. 7, 124, 132,
133, 142
- Несмеянов А. Н. 160, 171, 187
- Нечаева Н. И. 8
- Никитин В. П. 35
- Нитусов Е. 18
- Новиков-Прибой А. С. 12, 13
- Оберучев М. К. 20, 21, 24
- Обуховская Э. Я. 153
- Одинг И. А. 76, 77
- Оранский М. О. 96
- Орджоникидзе Г. К. 91
- Осадчий П. С. 18
- Паль Е. А. 96, 113, 120, 132
- Парк Р. 32, 79, 89
- Пейве Я. В. 232
- Перевозский Н. Ф. 71, 72
- Перегудов А. 13
- Петров Г. Н. 6, 18, 217
- Петровский Ю. В. 207
- Пиотровский Л. М. 32, 33, 42,
45, 61, 71, 96, 102, 113, 114,
115, 119, 132, 133, 145, 146,
147, 148, 149
- Писарев С. Е. 104
- Плеханов Г. В. 20
- Пономарев Н. Н. 45
- Попков В. И. 217, 218, 221, 222
- Попов А. С. 21, 23, 28
- Попов В. К. 42, 45
- Постников И. М. 6, 96, 100, 101,
103, 106, 113, 132, 145, 217
- Потехин К. Ф. 228
- Принцев А. А. 163
- Прусс-Жуковский В. В. 7, 113,
124
- Пуришкевич В. М. 22
- Пушкин А. С. 236
- Равдоник В. С. 153
- Радченко С. И. 19
- Рахимов Г. Р. 113
- Резерфорд Э. 54, 56, 57
- Ржонсницкий Б. М. 29, 31, 34, 36
- Ризова Р. А. 112
- Рихтер Р. 15, 102, 149
- Рожков С. М. 153
- Рожнова И. П. 7, 210, 221
- Розенберг Э. 129
- Романов Д. 224
- Романов В. В. 81
- Рудаков В. В. 6, 73, 155, 156,
161, 167, 209
- Рутберг Ф. Г. 245, 246
- Рутковский С. 20
- Рюденберг Р. 84
- Сабанеев А. А. 42, 45
- Сабанеев К. А. 48, 52
- Сабинин Ю. А. 6, 167, 168, 170,
196, 209
- Самсонова М. И. 209
- Самойлович Н. Я. 124
- Саид С. 224
- Сафоновский И. В. 60, 96
- Семенов В. В. 160
- Сиротко В. К. 160
- Сирый Н. С. 209
- Скобельцын В. В. 28
- Смирнов Е. М. 167, 209
- Смирнова К. И. 209
- Смуров А. А. 16, 18, 22
- Соколов Т. Н. 158
- Станиславский Л. Я. 228, 229

- Строльман А. Г. 67
Судейкин С. Ю. 236
- Тарасов Е. М. 19, 20, 21
Терехов Ф. Н. 209
Титов В. В. 60
Тиходеев П. М. 42, 45
Толвинская Е. В. 7
Толвинский В. А. 27, 32, 40, 41,
43, 45, 62, 63, 67, 95, 102, 117,
119, 155
Толстой Л. Н. 22
Трамбицкий А. В. 96, 120, 132
Трапезников В. А. 161
- Угримов А. И. 49
Уланова Г. С. 223, 224
Уокер М. 57, 243
Урусов И. Д. 6, 74, 85, 160, 169,
170, 198, 228, 247
Усатый С. Н. 32, 33, 37, 74, 119
Усов С. В. 162, 163
- Фазылов Х. Ф. 113
Фарадей М. 34, 50
Федорова Л. А. 32, 33, 42
Ферье М. 210
Фетисов В. В. 6, 124, 132, 140
Фесенко М. Т. 92
Фомин Б. И. 90
Фрейдвич З. М. 112, 113
Френель О. 88
Фридберг Е. Н. 18, 33
Фурье Ж. Б. Ж. 89
- Хвольсон О. Д. 14
Хейланд А. 63
Хоецкий С. Л. 20, 21, 23, 24, 77
Холуянов Ф. И. 74, 101
Христианович С. А. 171, 185
- Чеканов А. А. 29, 31, 34, 36
Черносвитов Н. Н. 33, 38, 39
Черток С. К. 86, 154
Чиженко И. М. 217
Чистиков А. П. 229
- Шателен М. А. 23, 28, 29, 31, 34,
36, 37, 42, 43, 48, 74, 107, 113,
114, 151, 153
Шахтарин В. Н. 208
Шварц А. С. 64, 65, 66, 67, 91
Швед Г. Г. 77
Шевалин В. А. 42, 45
Шевелева И. В. 112
Шевченко Т. Г. 236, 238
Шенфер К. И. 74
Шербиус 47, 62, 127
Шильдинер Л. М. 97
Шишков С. Н. 23
Шмырева М. М. 7
Шостын Н. А. 31
Шраге Г. 54, 63
Шрамков Е. Г. 42, 45
Шрейбер С. М. 45
Штейнметц Ч. П. 46
- Щекотов А. Н. 77
Щукин Б. К. 158
- Эйнштейн А. 54
Элькинд Ю. М. 228
Энгельс Ф. 20
- Юрухин И. Т. 96, 132
- Языков Н. Ф. 86
Яковлев А. А. 209
Япольский Н. С. 37, 44, 45, 47,
48, 50, 51, 52, 55, 60, 99, 125,
127, 243
Ярошевский М. Г. 90

Оглавление

От автора	5
Глава первая	8
Детские годы. Петербургский университет. И. И. Боргман. Электротехнический институт. Революционная работа. Ссылка. Начало трудовой деятельности	8
Глава вторая	27
Петербургский политехнический институт. Первые изобретения. Электрический молот. Кружок Толвинского. Магнитодугальное бюро. VIII электротехнический съезд	27
Глава третья	51
Командировка в Англию. Работа над изобретениями. Посещение заводов. Съезд Британской ассоциации в Ливерпуле. Знакомство с П. Л. Капицей. Разработка ударного генератора. Развитие работ по ударным генераторам	51
Глава четвертая	62
План ГОЭЛРО и «Электросила». ОБИС. Зарождение научно-технической школы электромашиностроения. Работа на ХЭМЗ	62
Глава пятая	94
Работа на кафедре в Ленинградском политехническом институте. Декан электромеханического факультета. Идеи связи обучения с производством и их практическое воплощение	94
Глава шестая	106
Годы войны. Эвакуация в Ташкент. Работа в Узбекском филиале АН СССР. Увеличение мощности энергосистемы Узбекэнерго. Начало работ по электродинамическому моделированию энергосистем	106
Глава седьмая	121
Творческое содружество кафедры, завода и института. Работы по восстановлению народного хозяйства страны. Ученники по курсу электрических машин	121

Глава восьмая	151
Начало работы в Академии наук СССР. Ленинградская группа отдела общей энергетики Энергетического института им. Г. М. Кржижановского АН СССР. Ленинградское отделение Института автоматики и телемеханики АН СССР. Создание Института электромеханики АН СССР	151
Глава девятая	177
Электродинамическое моделирование. Создание модели. Основные научные результаты, полученные на модели. Ленинская премия	177
Глава десятая	195
Головной институт в области крупного электромашиностроения. Проблемы реорганизации. Электрические машины предельной мощности. Начало работ в области применения сверхпроводниковых материалов в электрических машинах	195
Глава одиннадцатая	210
Последние годы. Работа в научных советах. Международная деятельность М. П. Костенко	210
Глава двенадцатая	239
Ленинградская школа электромашиностроения в решении крупнейших научно-технических задач современности . .	239
Основные даты жизни и деятельности М. П. Костенко . .	248
Основные труды М. П. Костенко	251
Именной указатель	256

Владимир Петрович Карцев
Михаил Полиевктович Костенко
1889—1976

*Утверждено к печати редколлегией
научно-биографической серии
Академии наук СССР*

Редактор издательства *В. П. Большаков*
Художественный редактор *Н. А. Фильчагина*
Технический редактор *Т. А. Калинина*
Корректоры *М. М. Баранова, А. Б. Васильев*

ИБ № 18441

Сдано в набор 30.07.80. Подписано к печати 15.04.81.
Т-08421. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага № 2.
Гарнитура обыкновенная. Печать высокая.
Усл. печ. л. 13,86. Уч.-изд. л. 15,3. Усл. кр.-отт. 13,86.
Тираж 4200 экз. Тип. зак. 1661
Цена 1 р. 10 к.

Издательство «Наука»
117864 ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90
Ордена Трудового Красного Знамени
Первая типография издательства «Наука»
199034, Ленинград, В-34, 9 линия, 12

Издательство «Наука»

Готовится к печати книга:

Чеканов А. А. ВИКТОР ЛЬВОВИЧ КИРПИЧЕВ (1845—1913).
10 л. 65 к.

В книге показана научная, педагогическая и инженерная деятельность замечательного ученого и педагога Виктора Львовича Кирпичева. Главное внимание уделено его научным исследованиям и работам по созданию широко известных курсов по сопротивлению материалов, графической статике, прикладной механике. Рассказано о большой организаторской деятельности ученого при создании крупнейших высших технических школ в стране — Харьковского технологического и Киевского политехнического институтов.

Книга рассчитана на широкий круг читателей.

Заказы просим направлять по одному из перечисленных адресов магазинов «Книга - почтой» «Академкнига»:

480091 **Алма-Ата**, 91, ул. Фурманова, 91/97; 370005 **Баку**, 5, ул. Джапаридзе, 13; 320005 **Днепропетровск**, проспект Ю. Гагарина, 24; 734001 **Душанбе**, проспект Ленина, 95; 252030 **Киев**, ул. Пирогова, 4; 277001 **Кишинев**, ул. Пирогова, 28; 443002 **Куйбышев**, проспект Ленина, 2; 197110 **Ленинград**, П-110, Петрозаводская ул., 7; 220012 **Минск**, Ленинский проспект, 72; 117192 **Москва**, В-192, Мичуринский проспект, 12; 630090 **Новосибирск**, Академгородок, Морской проспект, 22; 620151 **Свердловск**, ул. Мамина-Сибиряка, 137; 700187 **Ташкент**, ул. Дружбы народов, 6; 450050 **Уфа**, 59, ул. Р. Зорге, 10; 720001 **Фрунзе**, бульвар Дзержинского, 43; 310078 **Харьков**, ул. Чернышевского, 87,

Михаил Полиевктович КОСТЕНКО

В. П. Карцев



В. П. Карцев

**Михаил
Полиевктович
КОСТЕНКО**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»



ВЫХОДИТ ИЗ ПЕЧАТИ КНИГА:

Левшин Л. В., Тимофеев Ю. П.

Вадим Леонидович Левшин

(1896—1969)

10 л. 65 к.

Книга посвящена жизненному творческому пути известного советского ученого-физика, заслуженного деятеля науки РСФСР, дважды лауреата Государственной премии СССР профессора Московского университета Вадима Леонидовича Левшина. Особое внимание, наряду с изложением чисто биографических данных, уделено созданию В. Л. Левшиным совместно с академиком С. И. Вавиловым и А. Н. Терениным советской школы ученых, работающих в области люминесценции, рассмотрены его труды в области истории науки, а также деятельность по пропаганде и популяризации научных знаний.

Книга рассчитана на широкий круг читателей.

Заказы просим направлять по одному из перечисленных адресов магазина «Книга — почтой» «Академкнига»:

- 480091 **Алма-Ата**, 91, ул. Фурманова, 91/97
- 370005 **Баку**, 5, ул. Джапаридзе, 13
- 734001 **Душанбе**, проспект Ленина, 95
- 252030 **Киев**, ул. Пирогова, 4
- 443002 **Куйбышев**, проспект Ленина, 2
- 197110 **Ленинград**, П-110, Петрозаводская ул., 7-А
- 117192 **Москва**, В-192, Мичуринский проспект, 12
- 630090 **Новосибирск**, 90, Морской проспект, 22
- 620151 **Свердловск**, ул. Мамина-Сибиряка, 137
- 700029 **Ташкент**, Л-29, ул. К. Маркса, 28
- 450059 **Уфа**, ул. Р. Зорге, 10
- 720001 **Фрунзе**, бульвар Дзержинского, 42
- 310003 **Харьков**, Уфимский пер., 4/6.

Цена 1 р. 10 к.