

М.И. Баранов, Н.В. Веселова

**АНТОЛОГИЯ ВЫДАЮЩИХСЯ ДОСТИЖЕНИЙ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ.  
ЧАСТЬ 6: ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ***Надано короткий науково-історичний нарис про основні за останнє сторіччя вітчизняні і зарубіжні досягнення в галузі техніки високих напруг.**Приведен краткий научно-исторический очерк об основных за последнее столетие отечественных и зарубежных достижениях в области техники высоких напряжений.***ВВЕДЕНИЕ**

История становления и бурного развития такой важной для человеческого общества технической области как техника высоких напряжений (ТВН) неразрывно связана с периодом активного роста в мире в начале 20-го столетия объемов производства и передачи на расстояния электрической энергии и обусловленным всем этим процессом формирования научных школ ТВН, главным образом, в России (в бывшем СССР), Германии (в бывших ГДР и ФРГ), Австрии, Англии, США, Канаде, ЮАР, Японии и Австралии [1-4]. Считается, что датой "рождения" ТВН является 1911 год, когда впервые в мире по ТВН была издана книга – учебник В. Петерсена "Техника высоких напряжений" [2]. В России (СССР) научные школы ТВН были связаны нерушимыми научно-техническими узами с высшими техническими учебными, отраслевыми и академическими институтами. Среди отечественных научных центров в области ТВН, на взгляд автора, можно выделить следующие сформировавшиеся там за многие годы научные школы ТВН: Московская школа ТВН (Московский энергетический институт (МЭИ); Энергетический институт (ЭНИИ) АН СССР; Всесоюзный научно-исследовательский институт электроэнергетики (ВНИИЭ); Всесоюзный электротехнический институт (ВЭИ)); Ленинградская школа ТВН (Ленинградский электротехнический институт (ЛЭТИ); Ленинградский политехнический институт (ЛПИ); Северо-западный заочный политехнический институт (СЗПИ); НИИ электрофизической аппаратуры (НИИЭФА)); Томская школа ТВН, включающая новосибирских и свердловских ученых (Томский политехнический институт (ТПИ); Институт сильноточной электроники (ИСЭ) СО АН СССР; Новосибирский государственный университет (НГУ); НИИ высоких напряжений (НИИВН) при ТПИ; Институт электрофизики (ИЭФ) УО АН СССР); Киевская школа ТВН (Киевский политехнический институт (КПИ); Институт электросварки АН УССР; Институт электродинамики (ИЭД) АН УССР); Харьковская школа ТВН (Харьковский электротехнический институт (ХЭТИ); Украинский физико-технический институт (УФТИ) АН УССР, Харьковский политехнический институт (ХПИ)); Донецкая школа ТВН (Славянский НИИВН); Николаевская школа ТВН (Институт импульсных процессов и технологий (ИИПТ) АН УССР, Николаевский государственный аграрный университет (НГАУ)). Согласно высказыванию выдающегося советского ученого-химика, академика АН СССР (с 1932 года) Николая Николаевича Семенова (1896-1986 гг.), создавшего общую теорию цепных химических реакций в веществе и ставшего лауреатом Нобелевской премии по химии за 1956 год, для любой научной школы характерно следующее [5]: "Научная школа это своеобразный образ мышления и

действия в науке, в подходе к решению любых научных проблем". Что касается Германии, то ее научные школы в области ТВН также тесно связаны с высшими немецкими учебными заведениями [2, 3]: Дрезденской высшей технической школой (с ныне Дрезденским техническим университетом (ДТУ)) и Высшей технической школой г. Карлсруэ (с ныне Карлсруэским техническим университетом). Кстати, в 1991 году на базе ДТУ проводился 7-ой международный симпозиум по высоковольтной импульсной технике (ВИТ), в работе которого принял участие и автор этой статьи [6]. В Австрии научным центром в области ТВН стал Грацский технический университет, ставший в 1995 году местом проведения 9-го международного симпозиума по ВИТ [7]. В Англии одними из ведущих научных центров в области ТВН стали Кембриджский, Стаффордский и Лондонский университеты [5, 8]. В США становление и развитие ТВН связано, прежде всего, с фирмой "High Voltage Engineering Corporation" и электротехнической компанией "Westinghouse Electric Corporation" [4, 9]. Основными научными центрами в США по изучению молнии стали Майямский (штат Флорида) и Миссисипский университеты [10]. В Канаде активное развитие научной проблематики ТВН и молниезащиты проводится в Торонтском университете и Квебекской электроэнергетической компании IREQ [4, 11]. В ЮАР с ее активной грозовой деятельностью вопросам ТВН и молниезащиты уделяется большое внимание в Йоханесбургском университете [12]. В Японии передовые позиции в области ТВН и изучения эффектов молнии занимают Йокогамский, Нагойский и Токийский университеты [13]. В Австралии ведущим научным центром по ТВН и исследованию молнии стал Кюнслендский университет [14].

Указав основные современные научные центры мира в области ТВН, базирующиеся на достижениях ученых их научных школ прошлого и настоящего, нам не следует забывать о тех великих исследователях электричества высокого потенциала из далекого прошлого, которые в 18-19 веках с помощью элементарных высоковольтных устройств и измерительных средств закладывали научно-технические основы этой области знаний человечества. В этом славном ряду знаменитых ученых-первопроходцев в области ТВН того далекого от нас периода, прежде всего, следует назвать российских физиков Георга Рихмана (1711-1753 гг.), Михаила Ломоносова (1711-1765 гг.) и американского физика Бенджамина Франклина (1706-1790 гг.) [5, 15]. Поэтому с их весьма значимого и поныне для специалистов-высоковольтников пионерского вклада в ТВН следует и начать это короткое научно-историческое повествование про данную важную для человечества область электричества.

## 1. ПЕРВЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА ВЫСОКОГО ПОТЕНЦИАЛА

Выдающиеся российские ученые-электрофизики Рихман Г. и Ломоносов М.В. (академики Петербургской Академии наук, ставшей впоследствии Российской Академией наук – РАН) и великий американский физик Франклин Б., заложив первые "кирпичи" в научные основы электростатики и атмосферного электричества сверхвысокого потенциала, установили идентичность электрической материи природной молнии (атмосферного сильноточного электрического разряда между облаком и землей) и искусственного электричества, получаемого на земле при помощи механического натирания тканью отдельных твердых изоляционных предметов (например, стеклянных или эбонитовых круглых стержней, а также более массивных плоских и сферических тел) или с применением в дальнейшем в лабораторных условиях более производительных (в части получения электрических зарядов) электризационных (электрофорных) машин [5, 8, 15]. В 1749 году Франклином Б. была разработана качественная "унитарная теория" электрической материи, согласно которой она (эта материя) представляет собой особо тонкую электрическую жидкость ("электрический флюид"), пронизывающую любые металлические и диэлектрические тела [5, 15]. При избытке такой жидкости в физическом теле оно заряжается положительно, а при ее недостатке в теле – отрицательно. Не имея возможности количественной оценки электрической материи в теле, он принял наугад, что наэлектризованное трением об шелковую ткань стекло заряжается положительно. Он в то далекое время писал [8, 15]: *"Электрическая материя состоит из частиц, крайне малых, способных пронизывать обычные вещества, такие плотные как металл, с такой легкостью и свободой, что они не испытывают заметного сопротивления"*. Чем не гениальное предсказание наличия в металле заряженных микрочастиц – свободных электронов с их элементарными зарядами? Заметим, что последние были открыты лишь в 1897 году выдающимся английским физиком Джозефом Томсоном (1856-1940 гг.) [5, 8, 15]. В указанной теории электричества Франклином Б. для большей определенности были впервые введены понятия положительного и отрицательного электрического заряда, которые с их обозначениями "+" и "-" и поныне применяются в электротехнике и ТВН всего мира. В 1750 году он изобрел молниеотвод для защиты различных объектов (например, зданий и находящихся в них людей) от вредного действия на них грозовых разрядов [15]. Принципиальные идеи этого простого и надежного грозозащитного средства (заостренного сверху металлического стержня, возвышающегося над объектом и хорошо электрически соединенного с землей) используются во всем мире и в настоящее время.

Рихман Г. первым в России наблюдал и описал явление электростатической индукции (процесс электризации незаряженного физического тела на расстоянии от электрически заряженного тела) [8, 15]. Он с помощью изобретенного им в 1752 году электрического указателя и сконструированной совместно с Ломоносовым М.В. "громовой машины" (большого электроскопа, улавливающего во время грозы электрические заряды от длинных искровых разрядов молнии) провел натурные опыты по исследованию природы атмосферного электричества [8, 15]. Используя идеи Франклина Б., первый российский электрофизик Рихман Г. разработал несколько конструкций молниеотводов и испытал их действие в реальной грозовой обстановке. Он в

изучении молнии и защите от нее наземных сооружений и людей видел научную-техническую задачу большой важности. В подтверждение большой опасности молнии для человека следует сказать о трагической судьбе одного из первых ее исследователей – Рихмана Г.: он погиб 6 августа 1753 года во время проведения им опыта из-за прорыва на него канала разряда от прямого удара молнии в "громовую машину" [4, 8, 9]. В 1753 году Ломоносов М.В. разработал теорию атмосферного электричества, возникновение которого связывал с восходящими и нисходящими в атмосфере потоками насыщенного водяными парами воздуха [5, 8, 15]. Эта теория, основанная на процессе электризации движущихся микрочастиц атмосферного воздуха, не претерпела принципиальных изменений и по сей час. Первый молниеотвод Франклина в России был установлен Ломоносовым М.В. на своем жилом доме в г. Петербурге [8, 15].

## 2. ДОСТИЖЕНИЯ МОСКОВСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ТВН

Учеными этой широко известной в мире научной школы ТВН был внесен крупный вклад в развитие отечественной и мировой электрофизики и электроэнергетики. В начале 20-го века в дореволюционной России в Народном университете им. Шанявского работавшим там известным российским физиком Владимиром Константиновичем Аркадьевым (рис. 1) был разработан и создан первый российский высоковольтный генератор импульсных напряжений (ГИН), получивший название "генератора молнии" [5, 8, 15]. Данный ГИН являлся многокаскадным генератором импульсов напряжения, построенным на основе высоковольтных конденсаторов, расположенных на полках этажерочной конструкции и запаасающих от зарядного устройства электрическую энергию. В историю ТВН и ВИТ этот генератор на выходное напряжение в сотни киловольт вошел как ГИН этажерочного типа, построенный по ставшей классической схеме Аркадьева-Маркса [2, 16, 17]. С помощью "генератора молнии" Аркадьевым В.К. и его сотрудниками были успешно проведены многолетние экспериментальные физико-химические исследования поведения твердого вещества в условиях ударного действия на него сильного электромагнитного поля, возникающего в зоне прямого удара сильноточной воздушной искры от созданного ими ГИН в испытываемый объект [15, 17].



Рис. 1. Российский физик В.К. Аркадьев (1884-1953 гг.)

Важный вклад в формирование этой школы ТВН (например, в решение задач выбора изоляции электроэнергетических установок высокого напряжения и определения их электрической прочности) был внесен известными российскими учеными, д.т.н., проф. Сиrotинским Л.И. и д.т.н., проф. Стекольниковым И.С., долгие годы проработавшими в МЭИ и ЭНИН АН

СССР [1]. В 1950 году под научным руководством будущего академика АН СССР Попкова В.И. в ЭНИН АН СССР на основе электрической схемы Вальтера-Синельникова (особенности работы этой оригинальной схемы харьковских ученых-физиков будут приведены ниже в разделе б), относящейся к каскадным генераторам высокого постоянного напряжения, был создан уникальный шестикаскадный генератор на напряжение  $\pm 600$  кВ [4]. В качестве выпрямителей в каскадной схеме Попкова были использованы рентгеновские кенотроны марки КР-220 с обратным напряжением в 220 кВ. Отличительной особенностью данного генератора было то, что интенсивный нагрев катодов его кенотронов выполнялся ламповым генератором с током высокой частоты в 375 кГц [4]. Этот мощный генератор сверхвысокого напряжения был использован Попковым В.И. при исследовании биполярной электрической короны на проводах воздушных линий электропередачи (ЛЭП) постоянного тока. Важных для практики создания и молниезащиты ЛЭП сверхвысокого напряжения и теории пробоя воздушных промежутков большой длины и грунта добились в конце прошлого века ученые научной группы, возглавляемой известным российским электрофизиком-энергетиком, д.т.н., проф. Эдуардом Мееровичем Базеляном [18, 19]. Значительное развитие в СССР вопросов ТВН (например, в области коронного разряда на проводах воздушных ЛЭП при постоянном и переменном напряжениях, теории волновых процессов в воздушных ЛЭП и обмотках мощных электрических машин и грозозащиты воздушных ЛЭП высокого и сверхвысокого напряжения) было осуществлено известным российским ученым, д.т.н., проф. Даниилом Всеволодовичем Разевигом, возглавлявшим с 1958 по 1972 годы кафедру "Техники высоких напряжений" МЭИ и пробывшим ряд лет директором ЭНИН АН СССР [20]. Внезапный уход его из жизни, наступивший 5 июня 1973 года, прервал его активную творческую работу над актуальными проблемами ТВН.

Дальнейшее развитие и эффективное решение проблем ТВН в МЭИ получило в работах известного российского ученого, д.т.н., проф. Владимира Петровича Ларионова [21], долгие годы возглавлявшего в этом институте кафедру "Техники высоких напряжений", и его учеников: д.т.н., проф. Верещагина И.П. (теория электрофизических процессов в воздушных движущихся микровключениях, аэрозолях и облаках земной атмосферы [22]), д.т.н., проф. Колечицкого Е.С. (методы расчета электрических полей в высоковольтных устройствах [23]), д.т.н., проф. Анненкова В.З. (методы расчета характеристик заземлителей ЛЭП с токами короткого замыкания и молнии [24]), к.т.н. Кужекина И.П. (методы измерения импульсных токов и напряжений в высоковольтных испытательных установках [25]), к.т.н. Прохорова Е.Н. (методы молниезащиты технических объектов [26]), к.т.н. Борисова Р.К. (методы диагностики заземляющих устройств ЛЭП и подстанций, оценки грозозащиты самолетов и электромагнитной совместимости объектов электроэнергетики [27,28]) и др. Важных результатов в ТВН добился д.т.н., проф. Комельков В.С. (в изучении механизмов импульсного пробоя жидкостей [29]).

Заметный научный след в деятельности данной школы ТВН оставил известный российский ученый из московского ВНИИЭ д.т.н., проф. Владимир Владимирович Бургдорф. Здесь Бургдорфом В.В. была организована крупная лаборатория для решения проблем по созданию и освоению в СССР, а затем и в России, воздушных ЛЭП сверх- и ультравысокого

напряжения [30]. Им были исследованы условия возникновения в электрических сетях грозových, коммутационных и феррорезонансных перенапряжений и разработаны мероприятия по их ослаблению. Определены условия самопогасания мощных электрических дуг в воздушных промежутках высоковольтных ЛЭП для оценки длительности паузы при их повторных включениях под напряжение. Были изучены влияния климатических факторов на надежность функционирования высоковольтных ЛЭП и определены расчетные климатические нагрузки на их элементы. Проведены важные исследования в области механики и нагрева проводов ЛЭП высокого, сверх- и ультравысокого напряжения. Развита теория динамики проводов таких ЛЭП. Разработаны методы и устройства для борьбы с вибрацией и пляской проводов высоковольтных ЛЭП. Предложены методы оценки потерь от электрической короны и создаваемых ею помех на воздушных линиях и подстанциях высокого, сверх- и ультравысокого напряжения и разработаны рекомендации по их ограничению. За большой научный вклад в создание в бывшем СССР первых ЛЭП классов напряжения 500 и 750 кВ Бургдорф В.В. был удостоен Ленинской премии и премии СМ СССР. На основе результатов его многолетних теоретических и экспериментальных исследований были разработаны нормы и правила проектирования и эксплуатации высоковольтных электроэнергетических систем и объектов в сильно гололедных районах, широко используемые в России на практике и до настоящего времени.

Весомые научные результаты в области ТВН были получены учеными московского ВЭИ: д.т.н., проф. Бондалетовым В.Н. (в разработке и создании мощных мегавольтных ГИН, испытательных трансформаторных каскадов, уникальных обострителей наносекундных импульсов сверхвысокого напряжения и индукционных ускорителей металлических проводников до гиперзвуковых скоростей порядка 1 км/с [31]), д.т.н., проф. Никифоровым М.Г. (в создании высоковольтных испытательных высокочастотных средне- и малогабаритных установок, мощных ГИТ и нестандартных измерительных средств к ним [32]) и др.

### 3. ДОСТИЖЕНИЯ ЛЕНИНГРАДСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ТВН

Начало процесса формирования этой всемирно известной российской школы ТВН было связано с именами таких ученых как д.т.н., проф. Смурова А.А. (ЛЭТИ, 1910 год) и электротехника-физика, академика АН СССР (с 1929 года), д.т.н., проф. Владимира Федоровича Миткевича (рис. 2), много лет проработавшего в ЭНИН АН СССР, Санкт-Петербургском политехническом институте и его правопреемнике в советское время ЛПИ на кафедре "Техники высоких напряжений" [33]. В первые десятилетия 20-го века в мире уже находились в эксплуатации ряд воздушных ЛЭП на переменное напряжение 110 кВ (например, в американском штате Мичиган длиной 80 км и мощностью 10 МВт), а также строились новые ЛЭП на 110 кВ (например, в канадском штате Онтарио длиной 500 км и мощностью 40 МВт) и проектировались более мощные по передаваемой электроэнергии воздушные ЛЭП (например, в США разрабатывалась ЛЭП на 150 кВ) [2, 33]. Создатели этих зарубежных высоковольтных ЛЭП столкнулись с острой проблемой ограничения в них коронного электрического разряда, возникающего на их металлических проводах и приводящего к значительным потерям электрической энергии.



Рис. 2. Российский ученый В.Ф. Миткевич (1872-1951 гг.)

В 1910 году (фактически 100 лет тому назад!) Миткевичем В.Ф. в известной электротехнической лаборатории проф. Шателена Санкт-Петербургского политехнического института был изобретен расщепленный провод для воздушной ЛЭП высокого, сверх- и ультравысокого напряжения [33, 34]. Идея создания такого металлического провода ЛЭП заключалась в пространственном разнесении его одинаковых жил и расположении их в вершинах правильного многоугольника (например, на общей окружности радиусом  $R_p$ , называемым радиусом расщепления [33, 34]). Сам автор этого выдающегося изобретения в области ТВН о таком проводе написал следующее [33, 34]: *"Применение повышенного рабочего напряжения налагает известные условия на выбор диаметра проводов, заставляет увеличивать этот диаметр. Здесь мы, конечно, не можем идти сколь угодно далеко, если только будем держаться обычных типов проводов. Одно из многих возможных решений этой задачи состоит в следующем. Провод состоит из ряда отдельных жил, отстоящих одна от другой и расположенных по некоторой цилиндрической поверхности в качестве образующих этой поверхности"*. Дальнейшее развитие мировой электроэнергетики показало, что эта революционная научно-техническая идея стала важнейшим принципом конструирования воздушных ЛЭП сверх- и ультравысокого напряжения.

Необходимо указать, что в 1937 году ленинградский электротехник, проф. Горев А.А. предложил использовать высоковольтные конденсаторные батареи большой мощности для моделирования процессов в высоковольтных выключателях электроэнергетических систем промышленной частоты 50 Гц в режиме их (этих систем) отключения [15, 35]. На основе этой важной научно-технической идеи в бывшем СССР впервые в мире были разработаны и созданы уникальные так называемые "контура Горева", обеспечивающие получение эквивалентных трехфазных мощностей до 400 МВт (при ЛПИ) и выше 1000 МВт (при ВЭИ, г. Москва) для проводимых натурных испытаний мощных высоковольтных электроэнергетических устройств на экспериментальную оценку их отключающих характеристик [15, 35]. Им на основе каскада трансформаторов была разработана и оригинальная схема мощной выпрямительной установки для получения сверхвысоких постоянных напряжений [4, 36].

Определенные успехи в изучении силовых электрических дуг, тепловых и электродинамических процессов в электрических аппаратах высокого напряжения и их коммутационных свойств были достигнуты известным российским ученым, д.т.н., проф. Осипом Борисовичем Броном (кстати, до отъезда в г. Ленинград много лет проработавшим в ХЭТИ) и его последователями на кафедре "Теоретических основ

электротехники" СЗПИ [37]. Рассматривая эту школу ТВН необходимо отметить значительный научный вклад в ее развитие известному российскому ученому, чл.-корр. АН СССР, д.т.н., проф. Михаила Владимировича Костенко, длительное время плодотворно трудившегося на упомянутой кафедре ЛПИ и многие годы возглавлявшего ее [36, 38]. Им были выполнены фундаментальные теоретические исследования грозовых и коммутационных перенапряжений в воздушных ЛЭП высокого и сверхвысокого напряжения. Он заложил теоретические основы и разработал новые методы расчета волновых процессов в указанных ЛЭП. Сформулировал основные принципы и методы молниезащиты электроэнергетических объектов. История развития ТВН вобрала в себя и весомые результаты теоретических и опытных исследований по выбору воздушных изоляционных расстояний на ЛЭП и подстанциях высокого и сверхвысокого напряжения и расчета в их конструкциях электростатических и переменных электрических (магнитных) полей, выполненные академиком АН СССР, д.т.н., проф. Николаем Николаевичем Тиходеевым и его учениками [39, 40].

В ЛПИ на кафедре "Техники высоких напряжений", начиная с середины 20-го столетия, был выполнен большой комплекс научных исследований по разработке и созданию конструкций высоковольтных малоиндуктивных конденсаторов различного назначения (работы д.т.н., проф. Кучинского Г.С. и др., например, [35, 41]) и мощных генераторов импульсных токов (ГИТ) на их основе (работы д.т.н., проф. Шнеерсона Г.А., к.т.н. Дашука П.Н., к.т.н. Зайнца С.Л. и др., [35]). Кроме того, ученые этой кафедры, ЛПИ совместно с учеными НИИЭФА (д.т.н. Бурцевым В.А., д.т.н. Глухих В.А., д.т.н. Калинин Н.В. и др. [42]) образовали известный в мире научный центр СССР по созданию мощных ГИТ и получению на основе разряда их высоковольтных емкостных накопителей энергии больших импульсных токов (БИТ), а также генерированию сильных (сверхсильных) импульсных магнитных полей (ИМП) в диэлектрических средах (работы д.т.н., проф. Шнеерсона Г.А. и др., [35, 43]), нашедших в сравнительно недалекий от нас советский период времени важное научно-прикладное использование (например, в изучении поведения материалов в условиях сверхвысоких давлений и высокотемпературной плазмы в условиях, характерных для протекания управляемых термоядерных реакций). На указанной кафедре ЛПИ были выполнены необходимые для решения задач по получению БИТ и сильных (сверхсильных) ИМП прикладные исследования по повышению срока службы и надежности работы высоковольтных кабелей, конденсаторов и разрядников, работающих в импульсном режиме в силовых цепях ГИТ (работы к.т.н. Пильщикова В.Е., к.т.н. Шилина О.В. и др., например, [35, 44]).

Здесь долго и успешно трудился видный российский ученый в области ТВН, чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. Георгий Николаевич Александров [33, 45]. В 60-х годах прошлого столетия под научным руководством Александрова Г.Н. (рис. 3) в ЛПИ при указанной выше учебной кафедре была создана уникальная научно-исследовательская лаборатория сверхвысоких электрических напряжений. В ее составе находились два сверхвысоковольтных каскада испытательных трансформаторов переменного тока частотой 50 Гц на выходное номинальное напряжение 2,25 МВ, ГИН на выходное номинальное напряжение 7 МВ и опытные пролеты воздушной ЛЭП на напряжение до 2 МВ [33, 45]. Наличие такого мощного высоковольтного обо-

рудования позволило небольшой научной группе Александра Г.Н. выполнить огромный комплекс экспериментальных натурных исследований, связанных с определением электрической прочности и выбором размеров конструкций основных длинномерных изоляционных элементов воздушных ЛЭП сверх- и ультравысокого напряжения (работы с участием д.т.н., проф. Иванова В.Л. и др., например, [46]). Исследования ученых ленинградской научной школы ТВН совместно с результатами второй половины 20-го столетия других научных центров мира в области ТВН позволили сделать важный вывод о том, что габаритные размеры воздушных ЛЭП (соответственно и их технико-экономические показатели) однозначно определяются уровнем внутренних коммутационных импульсных перенапряжений (причем, положительной полярности) в электроэнергетических системах и электрической прочностью воздушной изоляции при их (этих перенапряжений) воздействиях на элементы ЛЭП. В этот период здесь получило дальнейшее развитие математическое и физическое моделирование электрофизических процессов в воздушных ЛЭП с расщепленными проводами. Было достоверно установлено, что расщепленный провод линии значительно выравняет электрическое поле в воздушных изоляционных промежутках ЛЭП сверх- и ультравысокого напряжения и повышает из-за этого электрическую прочность их воздушной изоляции.



Рис. 3. Российский ученый Г.Н. Александров (1930-2008 гг.)

Ленинградцами были найдены эффективные технические решения по устранению возможного неблагоприятного воздействия сильных электрических полей на людей и животных (за счет оптимизации конструкции опор и применения зеленых низкорослых насаждений под ЛЭП), временно оказавшихся вблизи или под проводами воздушной ЛЭП сверхвысокого напряжения (работы к.т.н. Лисочкиной Т.В., к.т.н. Кашиной В.А. и др., например, [33]). В последние годы на кафедре "Энергетики и техники высоких напряжений" Санкт-Петербургского государственного политехнического университета (бывшего ЛПИ) были получены важные электрофизические результаты по созданию воздушных ЛЭП сверх- и ультравысокого напряжения повышенной пропускной способности и разработке новых способов их грозозащиты длинно-искровыми воздушными разрядниками (работы д.т.н., проф. Подпоркина Г.В. и др., например, [47]).

#### 4. ДОСТИЖЕНИЯ ТОМСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ТВН

В Сибири значимых успехов в области ТВН добились ученые ТПИ (ныне политехнического университета), НИИВН при ТПИ, ИСЭ СО АН СССР, ИЭФ УО АН СССР и НГУ. Формирование здесь научной школы ТВН началось в первой половине 20-го столетия с экспериментальных работ известного россий-

ского ученого, д.т.н., проф. Александра Акимовича Воробьева и его учеников [48]. Здесь в 70-е годы прошлого века важных результатов в области ВИТ и создания высоковольтных генераторов наносекундных импульсов достигла научная группа, возглавляемая д.т.н., проф. Геннадием Андреевичем Месяцем [49]. Особая концентрация творческих усилий Месяца Г.А. (рис. 4) и его коллег по работе в конце прошлого столетия была направлена в области сильноточной электроники на разработку и создание мощных источников сверхвысокого напряжения для электронных ускорителей, используемых в экспериментальной физике при изучении высокотемпературной плазмы и возможности получения управляемых импульсных термоядерных реакций [50]. В этот период ими были созданы мощные ускорители электронов с энергией до 10 МэВ при импульсном токе электронного пучка до 1 МА и при его длительности до 10 нс [15, 50, 51]. Отметим, что Месяц Г.А. в начале 21-го века стал академиком и вице-президентом РАН, лауреатом престижной международной премии по энергетике, а с 2004 года – директором всемирно известного Физического института им. П.Н. Лебедева РАН. Важные научные результаты учеными этой школы ТВН были получены в вопросах разработки и создания мощных наносекундных коммутаторов мегавольтного диапазона (работы д.т.н., проф. Ковальчука Б.М., д.т.н., проф. Поталицына Ю.Ф., д.т.н., проф. Коршунова Г.С., д.т.н. Евлампиева С.Б. и др., например, [52-54]).

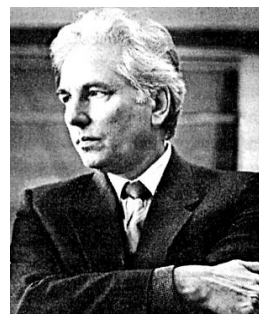


Рис. 4. Российский ученый-электрофизик Г.А. Месяц

Широко известными в научном мире стали результаты, полученные учеными НИИВН при ТПИ, ИСЭ СО АН СССР, ИЭФ УО АН СССР и НГУ: д.т.н., проф. Дульзоном А.А. (экспериментальные данные по грозовой деятельности в сибирском регионе и измерению амплитудно-временных параметров (АВП) БИТ молнии [55]), переехавшим в США д.т.н., проф. Раковым В.А. (по ориентировке и стягиванию грозовых разрядов к техническим объектам и их молниезащите [56]), д.т.н. Котовым Ю.А. (по сильноточным импульсным ускорителям электронов и взрыву проводников [57]), д.т.н., проф. Ушаковым В.Я. и д.т.н., проф. Вершининым Ю.Н. (по импульсной электрической прочности жидких и твердых диэлектриков [58, 59]), д.ф.-м.н., проф. Ивановым В.В. (по электродинамическим процессам в сильноточных цепях ГИТ [51]) и д.т.н., проф. Рожанским И.М. (по электрической прочности газовой изоляции [18]). Перспективными для нанотехнологий являются материалы современных исследований д.т.н., проф. Лернера М.И. по электровзрывной технологии, касающиеся получения наноструктурных образований материалов за счет воздействия на них БИТ, формируемых при помощи высоковольтных электрофизических установок [60]. В настоящее время усилиями ученых Томской научной школы ТВН и ее московского представителя и науч-



ного "флагмана" – академика РАН Месяца Г.А. и сотрудниками его института активно решаются насущные проблемы импульсной энергетики России [61].

#### 5. ДОСТИЖЕНИЯ КИЕВСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ТВН

Данная известная в Украине и за рубежом научная школа в области ТВН стала формироваться с приходом в КПИ д.т.н., проф. Федченко И.К., началом его руководства кафедрой "Техники высоких напряжений" и его высоковольтными исследованиями там в период с 1954 по 1975 годы [4, 45]. Новый импульс к развитию эта школа ТВН получила в 1993 году, когда заведующим кафедрой "Техники и электрофизики высоких напряжений" КПИ (ныне Национальный технический университет Украины "КПИ") стал известный ученый, д.т.н., проф. Владимир Александрович Бржезицкий [4]. Здесь была разработана и изготовлена эталонная установка типа УПТН-500 с элегазовой изоляцией для проверки трансформаторов напряжения класса 500 кВ промышленной частоты 50 Гц, выпускаемых Запорожским заводом высоковольтной аппаратуры [4, 62]. Сотрудниками научной группы Бржезицкого В.А. (в частности, к.т.н. Проценко А.Р. и др.) были разработаны и созданы ряд оригинальных конструкций прецизионных делителей высокого напряжения (например, типа ВДН-75 на 75 кВ), используемых в высоковольтных электротехнологических установках и диагностических компьютерных томографах [4,63]. В 1996 году учеными указанной кафедры КПИ совместно с киевским НПО "Энерго-прогресс" Минэнерго Украины впервые в мировой практике было разработано, изготовлено и реально испытано устройство для ограничения перенапряжений при ремонте под электрическим напряжением элементов ЛЭП класса 330 кВ [4]. Данное устройство было выполнено на основе передвижного защитного воздушного промежутка (разрядника) и переносного ограничителя перенапряжений, что позволяло обеспечивать ограничение возникающего перенапряжения на месте выполнения ремонтных работ на ЛЭП [4].

В последние годы Бржезицким В.А. и его учениками (например, к.т.н. Шостаком В.А., к.т.н. Беляевым В.К. и др.) получены интересные научные данные международного уровня, касающиеся мониторинга молнии и проблемы молниезащиты объектов электроэнергетики, радио- и телевидения [64, 65]. Следует отметить, что в 1970 году в Институте электросварки им. Е.О. Патона АН УССР для осуществления электронно-лучевой сварки металлов в вакууме был разработан и изготовлен высоковольтный источник питания электронной пушки мощностью 10 кВт на выходное постоянное напряжение 200 кВ [66]. Схема данного источника высокого напряжения была построена на основе полупроводникового выпрямителя с изолированным сердечником высоковольтного трансформатора [4]. В настоящее время учеными отдела электрофизики ИЭД НАН Украины активно проводятся работы по исследованию стримерных разрядов в высоковольтных плазмохимических реакторах и их влиянию на получение озона и обеззараживание жидкостей (работы д.т.н., проф. Фальковского Н.И., к.т.н. Божко И.В., к.т.н. Петухова И.С. и др., например, [67, 68]). В этом институте под научным руководством известного украинского ученого, чл.-корр. НАНУ, д.т.н., проф. Анатолия Андреевича Щербы успешно ведутся работы по объемному электроэрозионному диспергированию металлов в технологических камерах высоковольтных установок [69, 70].

#### 6. ДОСТИЖЕНИЯ ХАРЬКОВСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ТВН

С 30-х годов 20-го столетия в ХЭТИ на кафедре "Передачи электрической энергии" под руководством ее заведующего д.т.н., проф. Василия Михайловича Хрущева (будущего академика и директора Института энергетики АН УССР с 1939 года, рис. 5) начали активно проводиться работы в области дуговых и механических выпрямителей переменного тока и ТВН.

Среди первых учеников-высоковольтников Хрущева В.М. был будущий руководитель мощной харьковской научно-исследовательской лаборатории ТВН и преобразователей тока (НИЛ ТВН и ПТ), переросшей с годами в бывшее конструкторское бюро ОКБ ВИТ и нынешний институт НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ", к.т.н., доц. Саул Маркович Фертик (рис. 6), внесший большой научный вклад в изучение поведения волн грозовых перенапряжений в воздушных ЛЭП сверхвысокого напряжения (СВН) [36, 71].



Рис.5. Советский ученый В.М. Хрущев (1882-1941 гг.)



Рис. 6. Советский ученый С.М. Фертик (1901-1986 гг.)

Для установления причин возникновения многочисленных аварий в электросетях "Донбассэнерго" в 1934 году научными сотрудниками отдела ТВН указанной кафедры (Фертиком С.М., Потужным А.К. и др.) был создан уникальный ГИН на напряжение 3,5 МВ (рис. 7).



Рис. 7. Внешний вид ГИН на выходное напряжение 3,5 МВ для испытаний на молниестойкость воздушных ЛЭП "Донбассэнерго" (разработка ХЭТИ), построенный в полевых условиях на деревянных опорах в 1934 году [71]

Начиная с 1939 года, в ХЭТИ под руководством к.т.н., доц. Вайнера А.Л. был выполнен важный комплекс экспериментальных работ по определению для воздушных ЛЭП СВН характеристик различных заземлителей и грунтов. В советское время в ОКБ ВИТ и затем в НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ", возглавляемом ныне д.т.н., проф. Кравченко В.И., и в ряде ведущих научных центров СССР харьковскими учеными-высоковольтниками, удостоенными в 1988 году премии СМ СССР и двух Госпремий Украины в области науки и техники за 2004 и 2006 годы, были созданы уникальные высоковольтные испытательные крупно- и среднегабаритные установки мегавольтного диапазона, предназначенные для генерации БИТ и оценки стойкости технических объектов к воздейст-

вию мощных электромагнитных полей (разработки к.т.н. Конотопа В.В., к.т.н. Нескородова Г.Ф., к.т.н. Колиушко Г.М., к.т.н. Пекаря И.Р., к.т.н. Гурина А.Г., к.т.н. Гладкова В.С., к.т.н. Баранова М.И., к.т.н. Коробко А.И., к.т.н. Бойко Н.И. и др.) [15, 51, 71, 72].

НИЛ ТВН и ПТ "ХПИ" со своей мощной высоковольтной элементной базой стала родоначальником развития в бывшем СССР новой прогрессивной электротехнологии магнитно-импульсной обработки металлов, основанной на энергосиловом действии сильных ИМП на обрабатываемые металлические детали (работы к.т.н., проф. Белого И.В., д.т.н., проф. Хименко Л.Т., д.т.н., проф. Михайлова В.М., д.т.н., проф. Батыгина Ю.В. и др. [4, 70]). Достижения харьковских ученых в этой электротехнологии были удостоены в 1982 году премии СМ СССР. Здесь произошло становление и такой новой для Украины электротехнологии как КВИВ– технологии, базирующейся на комплексе высоковольтных импульсных воздействий на обрабатываемые сыпучие и жидкие вещества (работы д.т.н., доц. Бойко Н.И. и его коллег [4, 70]). В настоящее время научной группой сотрудников НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ", руководимой Бойко Н.И., успешно проводятся работы по эффективному получению в электрофизических реакторах озона и конверсии токсичных газообразных промышленных отходов при помощи высоковольтного импульсного коронного разряда с расширенной зоной ионизации [70]. На рис. 8 приведен общий вид ГИН этажерочного типа на номинальное напряжение 1,2 МВ, созданный недавно по технической идее к.т.н. Пекаря И.Р. научной группой сотрудников НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ", возглавляемой д.т.н., проф. Барановым М.И. [15, 73].

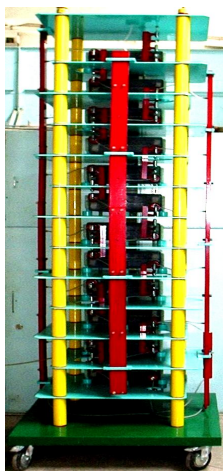


Рис. 8. Внешний вид передвижного ГИН на номинальное напряжение 1,2 МВ и запасаемую энергию 15 кДж разработки НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ" 2006 года, работающего на открытом воздухе и формирующего стандартные грозовые и коммутационные импульсы напряжения [15, 73]

На рис. 9 показан общий вид погружного ГИН на выходное напряжение 1 МВ, созданного не так давно в НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ" научной группой сотрудников, руководимой к.т.н. Гладковым В.С. [74].

На рис. 10 представлены общие виды высоковольтных конденсаторов последних разработок научной группы сотрудников НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ", руководимой д.т.н., проф. Рудаковым В.В., который сейчас возглавляет в НТУ "ХПИ" кафедру "Инженерной электротехники" по профилю ТВН [4].

На рис. 11 приведен общий вид мощного генератора различных по АВП компонент тока искусствен-

ной молнии (до 300 кА) на энергию до 1 МДж, созданного в последние годы в НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ" (разработка научной группы сотрудников, руководимой д.т.н., проф. Кравченко В.И., к.т.н., с.н.с. Колиушко Г.М., д.т.н., проф. Барановым М.И.) [75].

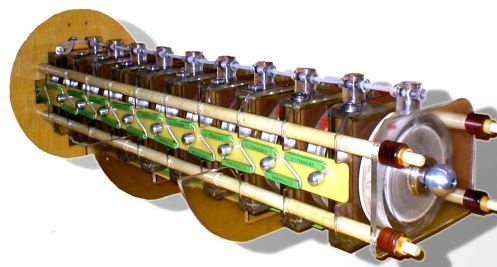


Рис. 9. Внешний вид малогабаритного ГИН на 1 МВ разработки НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ" 2008 года, работающего в жидкой среде трансформаторного масла внутри металлического бака формирователя специальных наносекундных импульсов напряжения и тока [74]



Рис. 10. Внешний вид высоковольтных конденсаторов разработки НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ" 2009 года [4]

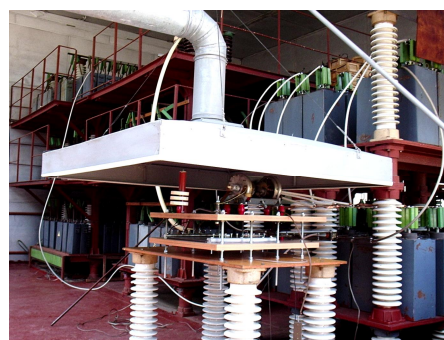


Рис. 11. Внешний вид уникального генератора тока искусственной молнии на запасаемую энергию 1 МДж разработки НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ" 2007 года [75]

Яркую страницу в историю Харьковской научной школы ТВН вписали ученые УФИ АН УССР – д.т.н., проф. Антон Карлович Вальтер (с 1951 года академик АН УССР) и д.т.н., проф. Кирилл Дмитриевич Синельников (с 1948 года академик АН УССР) [5, 15]. Ими для проведения исследований в области ядерной физики в 1932 году был создан в "металле" уникальный электростатический генератор (ЭСГ) на выходное номинальное постоянное напряжение 5 МВ, построенный по схеме американского ученого Ван де Граафа (об его генераторе и достигнутых советскими физиками ядерщиками успехах с помощью ЭСГ будет более подробно сказано ниже в разделе 9) [5, 15, 76]. Кроме того, харьковскими физиками Вальтером А.К. (рис. 12) и Синельниковым К.Д. (рис. 13), глубоко вникшими в область теории и практики высоковольтных каскадных генераторов, в 1934 году была рассчитана, спроектирована и изготовлена выпрямительная четырехступенчатая каскадная установка на выходное номинальное



электрическое напряжение  $\pm 400$  кВ [4]. Основным преимуществом этого нового типа высоковольтной выпрямительной каскадной установки по схеме Вальтера-Синельникова, генерирующей сверхвысокое постоянное напряжение, по сравнению с другими электрическими схемами ее построения (например, со схемой от 1920 года швейцарского электротехника-высоковольтника Генриха Грейнахера [77]) являлось существенное снижение в ней падения (уменьшения) и пульсации выходного постоянного напряжения в нагрузочном режиме ее работы [4].



Рис. 12. Советский физик А.К. Вальтер (1905-1965 гг.)



Рис. 13. Советский физик К.Д. Синельников (1901-1966 гг.)

Следует особо указать то, что большую помощь при создании в УФТИ АН УССР и соответственно в СССР высоковольтной научно-технической базы для ядерной физики оказывал, как известно, выдающийся физик, д.т.н., проф. Игорь Васильевич Курчатов (академик АН СССР с 1943 года, рис. 14) [5, 15, 76].



Рис. 14. Советский физик И.В. Курчатов (1903-1960 гг.)

## 7. ДОСТИЖЕНИЯ ДОНЕЦКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ТВН

Учеными НИИВН (г. Славянск) достигнуты большие успехи в изготовлении нелинейных ограничителей перенапряжений, а также в вопросах разработки научно-технических основ и создания технологии серийного производства в Украине высоковольтных полимерных изоляторов классов напряжения от 35 до 1150 кВ, нашедших широкое применение в воздушных ЛЭП СВН и контактных сетях электрифицированного железнодорожного транспорта (рис. 15) [78]. Эту актуальную научно-производственную работу специалисты научной школы ТВН данного НИИВН, возглавляемой известным ученым, д.т.н., проф. Юрием Николаевичем Шумиловым, проводят совместно с учеными научной группы ИЭД НАН Украины, руководимой упомянутым выше чл.-корр. НАНУ, д.т.н., проф. Щербой А.А. Результатом такого успешного сотрудничества в указанной электротехнической проблематике высокого напряжения стало присуждение ряду ученых этих институтов Госпремии Украины в области науки и техники за 1998 год.

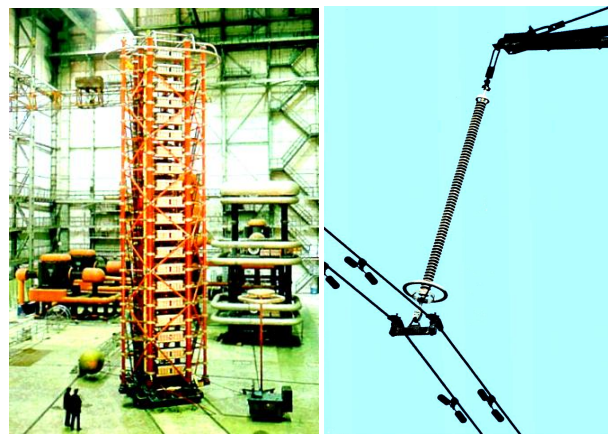


Рис. 15. Внешний вид мощного высоковольтного испытательного комплекса НИИВН и славянских полимерных изоляторов на воздушной ЛЭП класса 330 кВ [78]

## 8. ДОСТИЖЕНИЯ НИКОЛАЕВСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ТВН

Николаевское проектно-конструкторское бюро электрогидравлики (ПКБЭ) АН УССР оказалось ведущей организацией в бывшем СССР по технологическому применению в машиностроении и ряде других отраслей промышленности (например, для штамповки труднообрабатываемых деталей и очистки литья от формовочных смесей) явления электрогидравлического эффекта (ЭГЭ) в жидкости [70, 79]. Здесь под научным руководством известного ученого, д.т.н., проф. Григория Афанасьевича Гулого (рис. 16) были разработаны научно-технические основы этой новой прогрессивной взрывной электротехнологии, требующей использования мощных ГИТ на напряжение в десятки кВ при токе до сотен кА. Учеными и специалистами ПКБЭ, ставшего в дальнейшем ИИПТ НАН Украины, на основе изучения электрофизических процессов, протекающих в сильноточных цепях технологического оборудования и обрабатываемых при помощи ЭГЭ металлических деталей различной формы, были спроектированы и изготовлены промышленные электрогидравлические установки (ЭГУ) – электровзрывные пресса (например, их типоразмерный ряд из Т1220, Т1223 и Т1226 на запасаемую электрическую энергию от 10 до 160 кДж) для обработки в жидкости различных металлов импульсным давлением порядка  $10^4$  атмосфер при максимальной температуре в сильноточном канале подводного искрового электрического разряда порядка  $10^5$  К [70, 79].

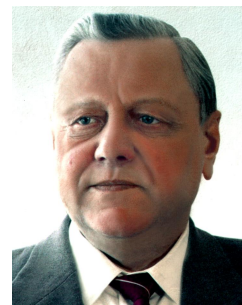


Рис. 16. Советский ученый Г.А. Гулый (1932-2000 гг.)

В ИИПТ НАН Украины были получены фундаментальные научные данные, касающиеся физики и механики мощных электроразрядных процессов в конденсированных средах (например, работы д.т.н., проф. Гулого Г.А., д.т.н., проф. Вовченко А.И. – ны-



нешнего директора института, д.т.н. Сизоненко О.Н., к.т.н. Швеца И.С. и др. [70, 79]). Выполнены оригинальные разработки высоковольтных конденсаторов различного назначения (работы зав. отделом Онищенко Л.И. и др. [4, 79]). В последние годы в ИИПТ НАН Украины были созданы ЭГУ (например, "Скиф 4М"), предназначенные для интенсификации добычи нефти и природного газа, а также погружные ЭГУ (например, "Скиф 140") для электроимпульсной обработки водозаборных скважин при очистке призабойных зон и повышении дебита мощных скважинных водных источников [73]. В НГАУ получены важные результаты по взаимодействию ударных волн с плазмой сильноточного канала подводного искрового разряда (работы д.т.н., доц. Дубовенко К.В. и др. [80]).

## 9. ДОСТИЖЕНИЯ ЗАРУБЕЖНЫХ НАУЧНЫХ ШКОЛ ТВН

Из-за ограниченного объема данной статьи остановимся лишь на некоторых наиболее ярких и важных достижениях ведущих научных школ ТВН дальнего зарубежья. В 1931 году выдающимся американским физиком Ван де Граафом (рис. 17) была разработана конструкция генератора статического электричества, способного получать сверхвысокое постоянное напряжение до уровня 10 МВ при малом токе на электрической нагрузке (например, в пучке электронного ускорителя, запитываемого от ЭСГ) до 3 мА [4, 5, 15]. На рис. 18 приведена принципиальная схема построения ЭСГ Ван де Граафа, а на рис. 19 – внешний вид такого генератора на постоянное напряжение мегавольтного уровня, созданного в США в 1931 году [5].



Рис. 17. Американский физик Ван де Грааф (1901-1967 гг.)

Согласно данным рис. 18 положительные заряды с острых металлических электродов нижней коронирующей гребенки с потенциалом до 100 кВ вначале попадают на движущуюся снизу-вверх прорезиненную ленту. Наверху ЭСГ в области его металлического электрода сферической или иной (как на рис. 19) формы, закрепленного на вертикально установленной несущей изоляционной конструкции (обычно цилиндрической конфигурации), с помощью верхней гребенки эти заряды снимаются и поступают по токопроводу на внутреннюю и далее на внешнюю поверхность потенциального электрода этого генератора.

Накопившиеся на этом электроде заряды  $Q_0$  и определяют его электрический потенциал, равный  $U_0 = Q_0 / C_0$ , где  $C_0$  – электрическая емкость верхнего потенциального электрода ЭСГ относительно земли. Чем больший заряд  $Q_0$  был снят с ленты и поступил на этот электрод, тем будет выше и его потенциал  $U_0$ .

Советскими физиками-ядерщиками из УФТИ АН УССР в 30-х годах прошлого столетия именно подобная конструкция ЭСГ и была использована при создании на территории этого института высоковольтного генератора постоянного напряжения для искусственного ускорения положительно заряженных протонов

(ядер водорода  ${}^1_1\text{H}$ ) в проводимых ими ядерных исследованиях, направленных на первые в СССР расщепления ядер атомов щелочно-земельных металлов.

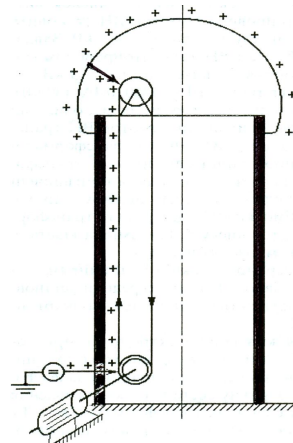


Рис. 18. Принципиальная схема построения ЭСГ Ван де Граафа на сверхвысокое постоянное напряжение [4,5]

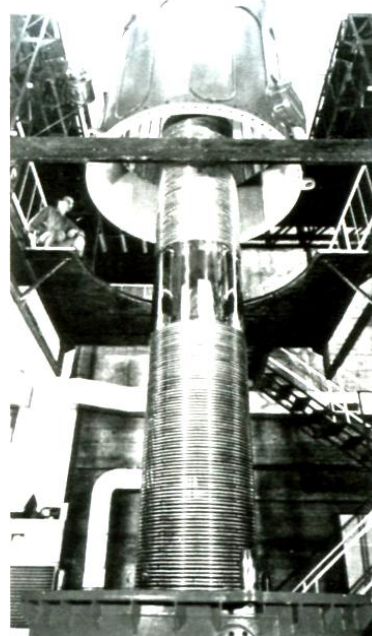
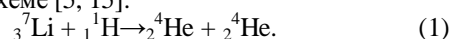


Рис. 19. Внешний вид электростатического генератора Ван де Граафа на выходное постоянное напряжение мегавольтного диапазона, построенного в США в 1931 г. [5]

В 1932 году в знаменитом Кембриджском университете (Англия) выдающимися английскими физиками Джоном Кокрофтом (1897-1967 гг.) и Эрнестом Уолтоном (1903-1995 гг.) был сконструирован высоковольтный каскадный генератор на выходное постоянное электрическое напряжение до 0,8 МВ для ускорения его сверхвысоким электрическим потенциалом (электрическим полем) положительно заряженных частиц – протонов [5, 15, 81]. На основе данного генератора Кокрофта-Уолтона (рис. 20) ими в том же году был создан уникальный ускоритель протонов на энергию до 1 МэВ, получивший в истории физики название "ускоритель Кокрофта-Уолтона" [5,8]. С помощью этого ускорителя они в апреле 1932 года осуществили первую в мире ядерную реакцию с использованием искусственно ускоренных протонов. Это была реакция по трансмутации ядер изотопа лития  ${}^7_3\text{Li}$ , происходящая с образованием  $\alpha$ -частиц (ядер гелия) по следующей классической схеме [5, 15]:



За эту научную пионерскую работу в области ядерной физики Дж. Кокрофту и Э. Уолтону была присуждена Нобелевская премия по физике за 1951 год [5, 8, 15]. Здесь важно заметить, что в октябре 1932 года аналогичная (1) ядерная реакция по расщеплению ядра щелочно-земельного лития  ${}^7\text{Li}$  (ядра атомов этого металла характеризуются малой энергией связи, составляющей 5,57 МэВ/нуклон [82]) также с применением ускоренных протонов до энергии 2,5 МэВ (с помощью сильного электрического поля высоковольтного ЭСГ-инжектора по схеме Ван де Граафа на выходное номинальное напряжение 5 МВ [15, 51, 76]) была проведена советскими физиками из УФИ АН УССР (ныне Национальный научный центр "Харьковский физико-технический институт" НАН Украины) [5, 15]; будущими академиками АН УССР Вальтером А.К., Сильниковым К.Д., Лейпунским А.И. и помогавшим им доц. ХЭТИ Латышевым Г.Д.

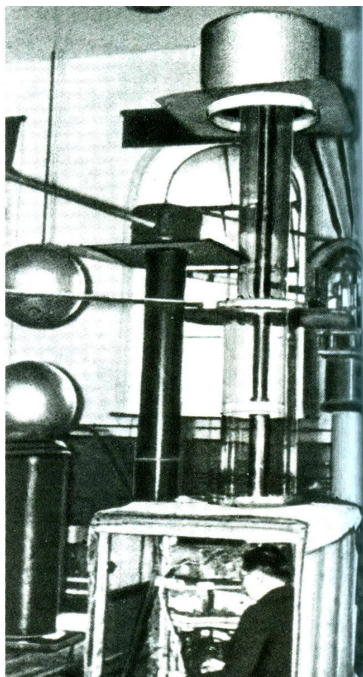


Рис. 20. Внешний вид высоковольтного каскадного генератора на выходное номинальное постоянное напряжение 0,8 МВ ускорителя Кокрофта-Уолтона, построенного в Англии по схеме Грейнахера в 1932 году (на переднем плане находится экранированная кабина – камера с исследователем электрофизических и ядерных процессов) [5, 81]

Для лучшего представления об этих работах следует указать, что созданный в то предвоенное время в УФИ АН УССР на основе схемы ЭСГ Ван де Граафа уникальный линейный ускоритель протонов на 2,5 МэВ имел следующие характеристики [8, 15]: радиус потенциального электрода ЭСГ – до 5 м; длину ускорительной трубки с фарфоровыми изоляторами и плоскими электродами – до 15 м; давление остаточного газа в ускорительной трубке – до  $4 \cdot 10^{-6}$  мм рт. ст.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Техника высоких напряжений. Ч. 3 / Под ред. Л.И. Сиротинского. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1959. – 368 с.
2. Бейер М., Бёк В., Мёллер К. и др. Техника высоких напряжений: теоретические и практические основы ее применения / Пер. с нем. под ред. В.П. Ларионова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 555 с.
3. Хаушильд В., Мош В. Статистика для электротехников в приложении к технике высоких напряжений / Пер. с нем. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 312 с.

4. Бржезицкий В.О., Исакова А.В., Рудаков В.В. та ін. Техніка і електрофізика високих напруг: Навч. посібник / За ред. В.О. Бржезицького, В.М. Михайлова. – Харків: НТУ "ХПИ", – Торнадо, 2005. – 930 с.
5. Храмов Ю.А. История физики. – Киев: "Феникс", 2006. – 1176 с.
6. Baranov M.I., Bondina N.N. Nonstationary electromagnetic and thermal processes in cylindrical conductors with lightning current // Proceedings 7<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering (Dresden, Germany). – 1991. – Vol. 8. – P. 159-161.
7. Baranov M.I. Estimation of ultimate current loadings for cylindrical conductors being influenced by the lightning current // Proceedings 9<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering (Graz, Austria). – 1995. – Vol. 6. – P. 6805-1–6805-4.
8. Кудрявцев П.С. Курс истории физики. – М.: Просвещение, 1974. – 312 с.
9. Баранов М.И., Шерстюкова Т.Д. Электротехническая "война" постоянного и переменного токов: краткая история и области их современного применения // Электротехніка і електромеханіка. – 2010. – №4. – С. 3-9.
10. Uman M.A. Natural and artificially-initiated lightning and lightning test standards // Proceedings of the IEEE. – 1988. – Vol. 76. – № 12. – P. 1548-1565.
11. Hussein A.M., Janischewskij W.I., Chang J.S., Shostak V.A. et al. Simultaneous measurement of lightning parameters for strokes to the Toronto Canadian National Tower // Journal Geophys. Res. – 1995. – Vol. 100. – No. D5. – P. 8853-8861.
12. Jandrell I.R., Reynders J.P., Van Coller J.M. Consideration of the transient skin-effect in coaxial systems and an analysis of this effect in various types of conductor // Proceedings 7<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering (Dresden, Germany). – 1991. – Vol. 8. – P. 143-146.
13. Horii K., Wada A. Measurement of lightning current by the magnetizing effect on magnetic tape // Proceedings 7<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering (Dresden, Germany). – 1991. – Vol. 8. – P. 35-38.
14. Darveniza M., Mercer D.R., Tumma L.R. Stresses on surge arrester blocks caused by multipulse lightning currents // Proceedings 7<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering (Dresden, Germany). – 1991. – Vol. 8. – P. 233-236.
15. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики: Монография в 2-х томах. Том 1: Электрофизика и выдающиеся физики мира. – Харьков: Изд-во НТУ "ХПИ", 2008. – 252 с.
16. Marx E. Deutsches Reichspatent №455933, 1923. – S. 4.
17. Аркадьев В.К. Искровой конденсаторный трансформатор // Труды ГЭЭИ (ВЭИ). – 1925. – № 6. – С. 75.
18. Базелян Э.М., Рожанский И.М. Искровой разряд в воздухе. – Новосибирск: Наука, 1988. – 164 с.
19. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. – М.: Физматлит, 2001. – 319 с.
20. Техника высоких напряжений / Под ред. Д.В. Разеви́га. – М.: Энергия, 1976. – 488 с.
21. Электрофизические основы техники высоких напряжений / Под ред. И.П. Верещагина, В.П. Ларионова. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 541 с.
22. Antsupov K.V., Vereshchagin I.P., Koshelev M.A. et al. Discharges from cloud of charged aerosol // Proceedings 7<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering (Dresden, Germany). – 1991. – Vol. 8. – P. 15-18.
23. Колечицкий Е.С. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 168 с.
24. Анненков В.З. Расчет импульсных характеристик стержневого заземлителя с учетом нелинейности грунта // Электричество. – 1989. – № 11. – С. 9-16.
25. Кужекин И.П. Испытательные установки и измерения на высоком напряжении. – М.: Энергия, 1980. – 136 с.
26. Кужекин И.П., Ларионов В.П., Прохоров Е.Н. Молния и молниезащита. – М.: Знак, 2003. – 330 с.
27. Базуткин В.В., Борисов Р.К., Горшков А.В. и др. Оценка параметров заземлителей при воздействии импульсных токов // Электричество. – 2002. – № 6. – С. 6-12.
28. Дьяков А.Ф., Максимов Б.К., Борисов Р.К. и др. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике / Под ред. А.Ф. Дьякова. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 768 с.
29. Комельков В.С. Механизмы импульсного пробоя жидкости // Доклады АН СССР. – 1945. – Т. 47. – № 4. – С. 56-60.
30. Памяти Владимира Владимировича Бургдорфа // Электричество. – 2010. – № 6. – С. 68.
31. Балтаханов А.М., Бондалетов В.Н. Расчет электромагнитных и электромеханических переходных процессов в индукционно-динамических системах // Электричество. – 1981. – № 1. – С. 64-67.

32. Бобиков В.Е., Домашенко Г.Д., Никифоров М.Г. Инструментальное обеспечение научных исследований и испытаний в области электромагнитной совместимости // Технологии электромагнитной совместимости. – 2004. – № 2 (9). – С. 57-62.
33. Бочаров Ю.Н., Соколов А.М. Практическое значение идеи расщепленного провода // Электричество. – 2010. – № 1. – С. 2-8.
34. Миткевич В.Ф. Явление тихого разряда в высоковольтных воздушных линиях электропередачи // Электричество. – 1910. – № 7. – С. 12-15.
35. Техника больших импульсных токов и магнитных полей / Под ред. В.С. Комелькова. – М.: Атомиздат, 1970. – 472 с.
36. Техника высоких напряжений / Под ред. М.В. Костенко. – М.: Высш. шк., 1973. – 528 с.
37. Брон О.Б. Электромагнитное давление // Сборник научных трудов "Механические взаимодействия в сильных магнитных полях". – Л.: Изд-во СЗПИ, 1974. – С. 7-13.
38. Костенко М.В. Операционная форма телеграфных уравнений многопроводной линии высокого напряжения (Допущения и область применения) // Электричество. – 1987. – № 10. – С. 6-13.
39. Миролобов Н.Н., Костенко М.В., Тиходеев Н.Н. и др. Методы расчета электростатических полей. – М.: Высш. шк., 1963. – 415 с.
40. Рудакова В.М., Тиходеев Н.Н. Учет годовых колебаний влажности, температуры и давления воздуха при выборе изоляции линий электропередачи // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1986. – № 5. – С. 3-7.
41. Техника высоких напряжений / Под ред. Г.С. Кучинского. – СПб.: Изд-во ПЭИПК, 1998. – 700 с.
42. Бурцев В.А., Литуновский В.Н., Прокопенко В.Ф. и др. Конденсаторная батарея на 1 МДж с малой постоянной времени // Приборы и техника эксперимента. – 1979. – № 4. – С. 167-170.
43. Шнееерсон Г.А. Поля и переходные процессы в аппаратуре сверхсильных токов. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 199 с.
44. Подпоркин Г.В., Пильщиков В.Е., Сиваев А.Д. Защита ВЛ 6-10 кВ от грозных перенапряжений посредством длинноискровых разрядников модульного типа // Энергетик. – 2003. – № 1. – С. 10-13.
45. Александров Г.Н. Сверхвысокие напряжения. – Л.: Энергия, 1973. – 181 с.
46. Александров Г.Н., Иванов В.Л., Кизеветтер В.Е. Электрическая прочность наружной высоковольтной изоляции. – Л.: Энергия, 1969. – 240 с.
47. Подпоркин Г.В., Енькин Е.Ю., Пильщиков В.Е. и др. Грозозащита ВЛ 10-35 кВ и выше с помощью мультикамерных разрядников и изоляторов-разрядников // Электричество. – 2010. – № 10. – С. 11-16.
48. Высоковольтное испытательное оборудование и измерения / Под ред. А.А. Воробьева. – М.: Госэнергоиздат, 1960. – 584 с.
49. Месяц Г.А. Генерирование мощных наносекундных импульсов. – М.: Советское радио, 1974. – 256 с.
50. Кремнев В.В., Месяц Г.А. Методы умножения и трансформации импульсов в сильноточной электронике. – Новосибирск: Наука, 1987. – 226 с.
51. Баранов М.И. Ретроспектива, современное состояние и перспективы развития исследований в области создания электроустановок с мощными накопителями электрической и магнитной энергии // Электротехника і електромеханіка. – 2007. – № 5. – С. 48-60.
52. Ковальчук Б.М., Кремнев В.В., Поталицын Ю.Ф. Сильноточные наносекундные коммутаторы. – Новосибирск: Наука, 1976. – 176 с.
53. Зорин В.Б., Головина Е.Ю., Поталицын Ю.Ф. и др. Эрозия электродов при сильноточном мегавольтном разряде в элегазе // Журнал технической физики. – 1986. – Том 56. – № 5. – С. 926-929.
54. Евлампиев С.Б., Коршунов Г.С., Щербаков В.В. Устройство наносекундного запуска обостряющих мегавольтных разрядников // Приборы и техника эксперимента. – 1992. – № 1. – С. 124-127.
55. Дульзон А.А., Лопатин В.В., Носков М.Д. и др. Моделирование развития ступенчатого лидера молнии // Журнал технической физики. – 1999. – Т. 69. – № 4. – С. 48-53.
56. Uman M.A., Rakov V.A. Critical Review of Nonconventional Approaches to Lightning Protection // American Meteorological Society. – 2002. – № 12. – P. 1809-1820.
57. Ковальчук Б.М., Котов Ю.А., Месяц Г.А. Наносекундный сильноточный ускоритель электронов с индуктивным накопителем // Журнал технической физики. – 1974. – Т. 46. – № 1. – С. 215-217.
58. Ушаков В.Я. Импульсный электрический пробой жидкостей. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1975. – 256 с.
59. Вершинин Ю.Н. Электрический пробой твердых диэлектриков. – Новосибирск: Наука, 1968. – 210 с.
60. Лернер М.И. Электровзрывные нанопорошки неорганических материалов: технология производства, характеристики, области применения. Автореферат дис... докт. техн. наук (01.04.07). – Томск, 2007. – 31 с.
61. Месяц Г.А. Импульсная энергетика и электроника. – М.: Наука, 2004. – 704 с.
62. Бржезицкий В.А., Копшин В.В., Проненко В.И. / Поверочная установка для трансформаторов напряжения классов 110-500 кВ // Измерительная техника. – 1989. – № 2. – С. 24-25.
63. Проценко А.Р. Высоковольтные делители напряжения для автоматизированных систем электропитания вычислительных томографов. Дис. канд. техн. наук (05.14.12). – Киев, 1988. – 288 с.
64. Шостак В.А., Беляев В.К., Бржезицкий В.А. и др. Современные системы дистанционного определения места удара и характеристик молний // Технічна електродинаміка. – 2000. – № 5. – С. 6-13.
65. Shostak V.A., Janischewskyj W.I., Hussein A.M., Chang J.S. et al. Modeling of the electromagnetic field associated with lightning return strokes to a complex tall tower // Proceedings 26<sup>th</sup> International Conference on Lightning Protection (Cracow, Poland). – 2002. – P. 167-172.
66. Крыштаб Г.С., Лоскутов Г.А. Источник питания на 200 кВ для электроно-лучевой сварки // Автоматическая сварка. – 1970. – № 3. – С. 42-46.
67. Фальковский Н.И., Белинский В.В. Распределение энергии в канале слабotoчного высоковольтного разряда // Технічна електродинаміка. – 2001. – № 6. – С. 15-20.
68. Божко И.В., Петухов И.С. Исследование разрядного промежутка для плазмохимического реактора на положительной стримерной короне // Технічна електродинаміка. – 2005. – № 3. – С. 8-11.
69. Щерба А.А., Подольцев А.Д., Кучерявая И.Н. Трехмерное моделирование электротепловых процессов в технологическом аппарате объемного электроскрегового диспергирования электропроводящих металлов // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск: Силовая электроника и энергоэффективность. – 1998. – Т.1. – С. 241-245.
70. Баранов М.И. Прогрессивные импульсные технологии обработки материалов: история, физические основы и технические возможности // Электротехніка і електромеханіка. – 2009. – № 1. – С. 42-54.
71. Саул Маркович Фертик. Документы. Воспоминания / Составитель И.М. Шептуг. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2001. – 112 с.
72. Баранов М.И., Колиушко Г.М., Кравченко В.И. и др. Комплекс высоковольтного испытательного электрофизического оборудования экспериментальной базы НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ" // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Електроенергетика і перетворююча техніка. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2004. – № 4. – С. 3-13.
73. Баранов М.И., Бочаров В.А., Зябло Ю.П. и др. Комплекс электрофизического оборудования для генерирования микро- и миллисекундных импульсов напряжения до 1,2 МВ и тока до 200 кА // Технічна електродинаміка. – 2003. – № 5. – С. 55-59.
74. Гладков В.С., Магда И.И., Рудаков В.В. и др. Мегавольтный частотный генератор импульсов длительностью на полуwave 30 нс // Приборы и техника эксперимента. – 2009. – № 3. – С. 50-53.
75. Баранов М.И., Колиушко Г.М., Кравченко В.И. и др. Генератор тока искусственной молнии для натуральных испытаний технических объектов // Приборы и техника эксперимента. – 2008. – № 3. – С. 81-85.
76. Электростатические генераторы / Сб. статей под ред. А.К. Вальтера. – М.: Гостехиздат, 1959. – 256 с.
77. Greinacher H. // Bulletin Switzerland Electrotechnik. – 1920. – Н. № 11. – S. 59.
78. Шидловский А.К., Шумилов Ю.Н., Щерба А.А. и др. Высоковольтные полимерные изоляторы. – Киев: Изд-во "Сучасність", 2008. – 252 с.
79. Гулый Г.А. Научные основы разрядно-импульсных технологий. – Киев: Наукова думка, 1990. – 208 с.
80. Щерба А.А., Дубовенко К.В. Высоковольтные электроразрядные компактные системы. – Киев: Наукова думка, 2008. – 270 с.
81. Croft J.D., Walton E.T. // Proceedings Royal Society. – 1932. – Vol. A136. – P. 619.
82. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики / Отв. ред. В.К. Тартаковский. – Киев: Наукова думка, 1989. – 864 с.



**Bibliography (transliterated):** 1. Tehnika vysokih napryazhenij. Ch. 3 / Pod red. L.I. Sirovinskogo. – M.-L.: Gos'energoizdat, 1959. – 368 s. 2. Bejer M., Bek V., Meller K. i dr. Tehnika vysokih napryazhenij: teoreticheskie i prakticheskie osnovy ee primeneniya / Per. s nem. pod red. V.P. Larionova. – M.: 'Energoatomizdat, 1989. – 555 s. 3. Haushil'd V., Mosh V. Statistika dlya 'elektrotehnikov v prihozhnii k tehnikе vysokih napryazhenij / Per. s nem. – L.: 'Energoatomizdat, 1989. – 312 s. 4. Brzhezickij V.O., Isakova A.V., Rudakov V.V. ta in. Tehnika i elektrofizika visokih naprug: Navch. posibnik / Za red. V.O. Brzhezickogo, V.M. Mihajlova. – Harkiv: NTU "HPI". – Tornado, 2005. – 930 s. 5. Hramov Y.A. Istoriya fiziki. – Kiev: "Feniks", 2006. – 1176 s. 6. Baranov M.I., Bondina N.N. Nonstationary electromagnetic and thermal processes in cylindrical conductors with lightning current // Proceedings 7<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering (Dresden, Germany). – 1991. – Vol. 8. – P. 159-161. 7. Baranov M.I. Estimation of ultimate current loadings for cylindrical conductors being influenced by the lightning current // Proceedings 9<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering (Graz, Austria). – 1995. – Vol. 6. – P. 6805-1-6805-4. 8. Kudryavcev P.S. Kurs istorii fiziki. – M.: Prosveshchenie, 1974. – 312 s. 9. Baranov M.I., Shervstyukova T.D. 'Elektrotehnicheskaya "vojna" postoyannogo i peremennogo tokov: kratkaya istoriya i oblasti ih sovremennoho primeneniya // Elektrotehnika i elektromekhanika. – 2010. – №4. – S. 3-9. 10. Uman M.A. Natural and artificially-initiated lightning and lightning test standards // Proceedings of the IEEE. – 1988. – Vol. 76. – № 12. – P. 1548-1565. 11. Hussein A.M., Janischewskij W.I., Chang J.S., Shostak V.A. et al. Simultaneous measurement of lightning parameters for strokes to the Toronto Canadian National Tower // Journal Geophys. Res. – 1995. – Vol. 100. – No. D5. – P. 8853-8861. 12. Jandrell I.R., Reynders J.P., Van Coller J.M. Consideration of the transient skin-effect in coaxial systems and an analysis of this effect in various types of conductor // Proceedings 7<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering (Dresden, Germany). – 1991. – Vol. 8. – P. 143-146. 13. Horii K., Wada A. Measurement of lightning current by the magnetizing effect on magnetic tape // Proceedings 7<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering (Dresden, Germany). – 1991. – Vol. 8. – P. 35-38. 14. Darveniza M., Mercer D.R., Tumma L.R. Stresses on surge arrester blocks caused by multipulse lightning currents // Proceedings 7<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering (Dresden, Germany). – 1991. – Vol. 8. – P. 233-236. 15. Baranov M.I. Izbrannye voprosy 'elektrofiziki: Monografiya v 2-h tomah. Tom 1: 'Elektrofizika i vydayushiesya fiziki mira. – Harkov: Izd-vo NTU "HPI", 2008. – 252 s. 16. Marx E. Deutsches Reichspatent №455933, 1923. – S. 4. 17. Arkad'ev V.K. Iskrovoy kondensatornyj transformator // Trudy G'EI (V'EI). – 1925. – № 6. – S. 75. 18. Bazelyan 'E.M., Rozhanskij I.M. Iskrovoy razryad v vozduhe. – Novosibirsk: Nauka, 1988. – 164 s. 19. Bazelyan 'E.M., Rajzer Yu.P. Fizika molnii i molniezaschity. – M.: Fizmatlit, 2001. – 319 s. 20. Tehnika vysokih napryazhenij / Pod red. D.V. Razevija. – M.: 'Energiya, 1976. – 488 s. 21. 'Elektrofizicheskie osnovy tehniki vysokih napryazhenij / Pod red. I.P. Vereschagina, V.P. Larionova. – M.: 'Energoatomizdat, 1993. – 541 c. 22. Antsupov K.V., Vereschagin I.P., Koshelev M.A. et al. Discharges from cloud of charged aerosol // Proceedings 7<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering (Dresden, Germany). – 1991. – Vol. 8. – P. 15-18. 23. Kolechickij E.S. Raschet 'elektrocheskich polej ustrojstv vysokogo napryazheniya. – M.: 'Energoatomizdat, 1983. – 168 s. 24. Annenkov V.Z. Raschet impul'snyh karakteristik sterzhnevoho zametil'nyja s uchetom nelinejnosti grunta // 'Elektrichestvo. – 1989. – № 11. – S. 9-16. 25. Kuzhekin I.P. Ispytatel'nye ustanovki i izmereniya na vysokom napryazhenii. – M.: 'Energiya, 1980. – 136 s. 26. Kuzhekin I.P., Larionov V.P., Prohorov E.N. Molniya i molniezaschita. – M.: Znak, 2003. – 330 s. 27. Bazutkin V.V., Borisov R.K., Gorshkov A.V. i dr. Ocenka parametrov zametil'nyja pri vozdzejstvii impul'snyh tokov // 'Elektrichestvo. – 2002. – № 6. – S. 6-12. 28. D'yakov A.F., Maksimov B.K., Borisov R.K. i dr. 'Elektromagnitnaya sovmestimost' v 'elektro'energetike i 'elektrotehnike / Pod red. A.F. D'yakova. – M.: 'Energoatomizdat, 2003. – 768 s. 29. Komel'kov V.S. Mehanizmy impul'snogo probvoja zhidkosti // Doklady AN SSSR. – 1945. – T. 47. – № 4. – S. 56-60. 30. Pamyati Vladimira Vladimirovicha Burgsdorfa // 'Elektrichestvo. – 2010. – № 6. – S. 68. 31. Baltahanov A.M., Bondaletov V.N. Raschet 'elektromagnitnyh i 'elektromehanicheskich perednyh processov v indukcionno-dinamicheskikh sistemah // 'Elektrichestvo. – 1981. – № 1. – S. 64-67. 32. Bobikov V.E., Domashenko G.D., Nikiforov M.G. Instrumental'noe obespechenie nauchnyh issledovanij i ispytanij v oblasti 'elektromagnitnoj sovmestimosti // Tehnologii 'elektromagnitnoj sovmestimosti. – 2004. – № 2 (9). – S. 57-62. 33. Bocharov Yu.N., Sokolov A.M. Prakticheskoe znachenie idei rassheplennogo provoda // 'Elektrichestvo. – 2010. – № 1. – S. 2-8. 34. Mitkeviz V.F. Yavlenie tihogo razryada v vysokovol'tnyh vozdušnyh liniyah 'elektroperedachi // 'Elektrichestvo. – 1910. – № 7. – S. 12-15. 35. Tehnika bol'shih impul'snyh tokov i magnitnyh polej / Pod red. V.S. Komel'kova. – M.: Atomizdat, 1970. – 472 s. 36. Tehnika vysokih napryazhenij / Pod red. M.V. Kostenko. – M.: Vyssh. shk., 1973. – 528 s. 37. Bron O.B. 'Elektromagnitnoe davlenie // Sbornik nauchnyh trudov "Mehaničeskije vzaimodejstviya v sil'nyh magnitnyh polyah". – L.: Izd-vo SZPI, 1974. – S. 7-13. 38. Kostenko M.V. Operacionnaya forma telegrafnyh uravnenij mnogoprovodnoj linii vysokogo napryazheniya (Dopuscheniya i oblast' primeneniya) // 'Elektrichestvo. – 1987. – № 10. – S. 6-13. 39. Miroyubov N.N., Kostenko M.V., Tihodeev N.N. i dr. Metody rascheta 'elektrostaticheskich polej. – M.: Vyssh. shk., 1963. – 415 s. 40. Rudakova V.M., Tihodeev N.N. Uchet godovyh kolebanij vlazhnosti, temperatury i davleniya vozduha pri vybore izolyacii linii 'elektroperedachi // Izvestiya AN SSSR. 'Energetika i transport. – 1986. – № 5. – S. 3-7. 41. Tehnika vysokih napryazhenij / Pod red. G.S. Kuchinskogo. – SPb.: Izd-vo P'EI PK, 1998. – 700 s. 42. Burcev V.A., Litunovskij V.N., Prokopenko V.F. i dr. Kondensatornaya batareya na 1 MDzh s maloj postoyannoj vremeni // Pribory i tehnika 'eksperimenta. – 1979. – № 4. – S. 167-170. 43. Shneerson G.A. Polya i perednyje procesy v apparature sverhvisokih tokov. – L.: 'Energoizdat, 1981. – 199 s. 44. Podporkin G.V., Pil'schikov V.E., Sivaev A.D. Zashchita VL 6-10 kV ot grozovyh perenapryazhenij posredstvom dlinoiskrovnyh razryadnikov modularnogo tipa // 'Energetik. – 2003. – № 1. – S. 10-13. 45. Aleksandrov G.N. Sverhvisokie napryazheniya. – L.: 'Energiya, 1973. – 181 s. 46. Aleksandrov G.N., Ivanov V.L., Kizevetter V.E. 'Elekticheseskaya prochnost' naruzhnoj vysokovol'tnoj izolyacii. – L.: 'Energiya, 1969. – 240 s. 47. Podporkin G.V., En'kin E.Yu., Pil'schikov V.E. i dr. Grozaschita VL 10-35 kV i vysshe s pomosh'yu multikamernykh razryadnikov i izolyatorov-razryadnikov // 'Elektrichestvo. – 2010. – № 10. – S. 11-16. 48. Vysokovol'tnoe ispytatel'noe oborudovanie i izmereniya / Pod red. A.A. Vorob'eva. – M.: Gos'energoizdat, 1960. – 584 s. 49. Mesyac G.A. Generirovanie moschnykh nanosekundnyh impul'sov. – M.: Sovetskoe radio, 1974. – 256 s. 50. Kremnev V.V., Mesyac G.A. Metody umnozheniya i transformacii impul'sov v sil'notochnoj 'elektronike. – Novosibirsk: Nauka, 1987. – 226 s. 51. Baranov M.I.

Retrospektiva, sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya issledovanij v oblasti sozdaniya 'elektrostanovok s moschnymi nakopitel'yami 'elektricheskoi i magnitnoj 'energii // Elektrotehnika i elektromekhanika. – 2007. – № 5. – S. 48-60. 52. Koval'chuk B.M., Kremnev V.V., Potalicyn Yu.F. Sil'notochnye nanosekundnye kommutatory. – Novosibirsk: Nauka, 1976. – 176 s. 53. Zorin V.B., Golovina E.Yu., Potalicyn Yu.F. i dr. 'Eroziya 'elektrodov pri sil'notochnom megavol'tnom razryade v 'elegazye // Zhurnal tehnicheckoj fiziki. – 1986. – Tom 56. – № 5. – S. 926-929. 54. Evlampiev S.B., Korshunov G.S., Scherbakov V.V. Ustrojstvo nanosekundnogo zapuska obostroyayushih megavol'tnyh razryadnikov // Pribory i tehnika 'eksperimenta. – 1992. – № 1. – S. 124-127. 55. Dul'zon A.A., Lopatin V.V., Noskov M.D. i dr. Modelirovanie razvitiya stupenchatogo lidera molnii // Zhurnal tehnicheckoj fiziki. – 1999. – T. 69. – № 4. – S. 48-53. 56. Uman M.A., Rakov V.A. Critical Review of Nonconventional Approaches to Lightning Protection // American Meteorological Society. – 2002. – № 12. – P. 1809-1820. 57. Koval'chuk B.M., Kotov Yu.A., Mesyac G.A. Nanosekundnyj sil'notochnyj uskoritel' 'elektronov s induktivnym nakopitelem // Zhurnal tehnicheckoj fiziki. – 1974. – T. 46. – № 1. – S. 215-217. 58. Ushakov V.Ya. Impul'snyj 'elektricheskij probvoj zhidkostej. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo un-ta, 1975. – 256 s. 59. Vershinin Yu.N. 'Elektricheskij probvoj tverdyh di'elektrikov. – Novosibirsk: Nauka, 1968. – 210 s. 60. Lerner M.I. 'Elektrozryvnye nanoporoshki neorganicheskikh materialov: tehnologiya proizvodstva, karakteristiki, oblasti primeneniya. Avtoreferat dis... dokt. tehn. nauk (01.04.07). – Tomsk, 2007. – 31 s. 61. Mesyac G.A. Impul'snaya 'energetika i 'elektronika. – M.: Nauka, 2004. – 704 s. 62. Brzhezickij V.A., Kopshin V.V., Pronenko V.I. / Poverochnaya ustanovka dlya transformatorov napryazheniya klassov 110-500 kV // Izmeritel'naya tehnika. – 1989. – № 2. – S. 24-25. 63. Procenko A.R. Vysokovol'tnye deliteli napryazheniya dlya avtomatizirovannyh sistem 'elektropitaniya vychislitel'nyh tomografov. Dis... kand. tehn. nauk (05.14.12). – Kiev, 1988. – 288 s. 64. Shostak V.A., Belyaev V.K., Brzhezickij V.A. i dr. Sovremennye sistemy distancionnogo opredeleniya mesta udara i karakteristik molnii // Tehnichna elektrodinamika. – 2000. – № 5. – S. 6-13. 65. Shostak V.A., Janischewskij W.I., Hussein A.M., Chang J.S. et al. Modeling of the electromagnetic field associated with lightning return strokes to a complex tall tower // Proceedings 26<sup>th</sup> International Conference on Lightning Protection (Craacow, Poland). – 2002. – P. 167-172. 66. Kryshab G.S., Loskutov G.A. Istochnik pitaniya na 200 kV dlya 'elektronno-luchevoj svarki // Avtomaticheskaya svarka. – 1970. – № 3. – S. 42-46. 67. Fal'kovskij N.I., Belinskij V.V. Raspreделение 'energii v kanale slabotocnogo vysokovol'tnogo razryada // Tehnichna elektrodinamika. – 2001. – № 6. – S. 15-20. 68. Bozhko I.V., Petuhov I.S. Issledovanie razryadnogo promezhnutka dlya plazmohimicheskogo reaktora na polozhitel'noj strimernoj korone // Tehnichna elektrodinamika. – 2005. – № 3. – S. 8-11. 69. Scherba A.A., Podol'cev A.D., Kucheryavaya I.N. Trehmernoe modelirovanie 'elektropropylovyh processov v tehnologicheskomo apparate ob'emnogo 'elektroiskrovnyh dispergirirovaniya 'elektroprovodyaschih metallov // Tehnichna elektrodinamika. Tematichnij vipusk: Silovaya 'elektronika i 'energo'effektivnost'. – 1998. – T.1. – S. 241-245. 70. Baranov M.I. Progressivnye impul'snye tehnologii obrabotki materialov: istoriya, fizicheskie osnovy i tehnicheckie vozmozhnosti // Elektrotehnika i elektromekhanika. – 2009. – № 1. – S. 42-54. 71. Saul Markovich Fertik. Dokumenty, Vospominaniya / Sostavitel' I.M. Sheptun. – Harkov: NTU "HPI", 2001. – 112 s. 72. Baranov M.I., Koliushko G.M., Kravchenko V.I. i dr. Kompleks vysokovol'tnogo ispytatel'nogo 'elektrofizicheskogo oborudovaniya 'eksperimental'noj bazy NIPKI "Molniya" NTU "HPI" // Visnik NTU "HPI". Zbirnik naukovih prac'. Tematichnij vipusk: Elektroenergetika i peretovoryuchaya tehnika. – Harkiv: NTU "HPI". – 2004. – № 4. – S. 3-13. 73. Baranov M.I., Bocharov V.A., Zybako Yu.P. i dr. Kompleks 'elektrofizicheskogo oborudovaniya dlya generirovaniya mikro- i millisekundnyh impul'sov napryazheniya do 1,2 MV i toka do 200 kA // Tehnichna elektrodinamika. – 2003. – № 5. – S. 55-59. 74. Gladkov V.S., Magda I.L., Rudakov V.V. i dr. Megavol'tnyj chastotnyj generator impul'sov dlitel'nost'yu na pul'vol'ne 30 ns // Pribory i tehnika 'eksperimenta. – 2009. – № 3. – S. 50-53. 75. Baranov M.I., Koliushko G.M., Kravchenko V.I. i dr. Generator toka iskusstvennoj molnii dlya natylnykh ispytanij tehnicheckich ob'ektov // Pribory i tehnika 'eksperimenta. – 2008. – № 3. – S. 81-85. 76. 'Elektrostaticheskie generatory / Sb. statej pod red. A.K. Val'tera. – M.: Gostehizdat, 1959. – 256 s. 77. Greinacher H. // Bulletin Schweizerland Electrotechnik. – 1920. – H. № 11. – S. 59. 78. Shidlovskij A.K., Shumilov Yu.N., Scherba A.A. i dr. Vysokovol'tnye polimerneje izolyatory. – Kiev: Izd-vo "Suchasnist", 2008. – 252 s. 79. Gulij G.A. Nauchnye osnovy razryadno-impul'snyh tehnologij. – Kiev: Naukova dumka, 1990. – 208 s. 80. Scherba A.A., Dubovenko K.V. Vysokovol'tnye 'elektrozrazryadnye kompaktnye sistemy. – Kiev: Naukova dumka, 2008. – 270 s. 81. Crocroft J.D., Walton E.T. // Proceedings Royal Society. – 1932. – Vol. A136. – P. 619-82. Kuz'michev V.E. Zakony i formuly fiziki / Otv. red. V.K. Tartakovskij. – Kiev: Naukova dumka, 1989. – 864 s.

Поступила 04.02.2011

Баранов Михаил Иванович, д.т.н., с.н.с.  
Веселова Надежда Викторовна  
НИПКИ "Молния"  
Национального технического университета  
"Харьковский политехнический институт".  
61013, Харьков, ул. Шевченко, 47  
тел. (057) 707-68-41, e-mail: eft@kpi.kharkov.ua

Baranov M.I., Veselova N.V.  
**An anthology of outstanding achievements in science and technology. Part 6: high-voltage engineering.**  
A brief scientific and historical essay on the basic recent-century domestic and foreign achievements in the field of high-voltage engineering is given.  
Key words – history, essay, high-voltage engineering.