

**Лев Травин, ФГУП «Всероссийский электротехнический институт имени В.И. Ленина»,  
секретарь ПК 22F «Силовая электроника для электрических передающих и  
распределительных систем» Международной Электротехнической Комиссии**

# Электродо передачи постоянного тока в СССР и России

# Работы по преобразовательной технике в 30-х и 40-х годах XX века

- Фундаментальные и схемные исследования преобразователей (схема Ларионова – ВЭИ, 1927-1930)
- Потребности в черной и цветной металлургии, химической промышленности, электрофицированном транспорте (железные дороги, метро, трамвай, электровозная откатка в угольной и горнорудной промышленности)
- Первые в мировой практике исследования электроприводов в производственных условиях горной промышленности (1928-1929)
- Разработка и освоение производства одноанодных ртутных вентиляей, ртутных выпрямителей для тяговых подстанций метро, электричек, шахтных подъемников (1931-1935)
- Исследования схем и режимов преобразовательных установок различного назначения (1936-1940)
- Создание одноанодных ртутных вентиляей для восстановления внутришахтного транспорта Подмосковского угольного бассейна (1943)
- Разработаны высоковольтные ртутные вентиляи для ЛЭП постоянного тока Кашира – Москва (1946-1950)

# Электрододача постоянного тока Кашира - Москва

Наименование	Ввод в эксплуатацию	Параметры			
		$U_d$ , кВ	$I_d$ , А	$P_d$ , МВт	L, км
<b>Кашира – Москва (кабель)</b> Цель: Экспериментальные исследования работы кабельной ЛЭП постоянного тока	1950 (ртутные вентили) 1969 (тиристорные вентили)	$\pm 100$	150	30	120

Особенности:

- Два полюса с заземленной средней точкой
- По одному трехфазному мосту (шестипульсная схема) в каждом полюсе
- В середине трассы кабельной линии один полюс кабеля имеет разрыв длиной 20 км, в который по концам включены экспериментальные рабочие заземления в коксовой засыпке для исследования протекания рабочего тока полюса через землю на этом участке

# Высоковольтная преобразовательная техника в 1950-1965 годах

- Разработка принципов создания мощных электропередач постоянного тока (НИИПТ, ВЭИ – 1946-1960)
- Интенсивные исследования схем и режимов работы ЛЭП ПТ с целью формирования технических требований к вентилям и другому электрооборудованию преобразовательных установок (НИИПТ, ВЭИ), в том числе на физических моделях (ВЭИ – 1949-1970)
- Разработка и освоение производства высоковольтных ртутных вентилях типа ВР-9 на 130 кВ, 900 А
- Разработка проекта ЛЭП ПТ Волгоград-Донбасс (Энергосетьпроект, НИИПТ, ВЭИ – 1956-1958)
- Строительство ЛЭП ПТ Волгоград-Донбасс (1960-1962 -1965)

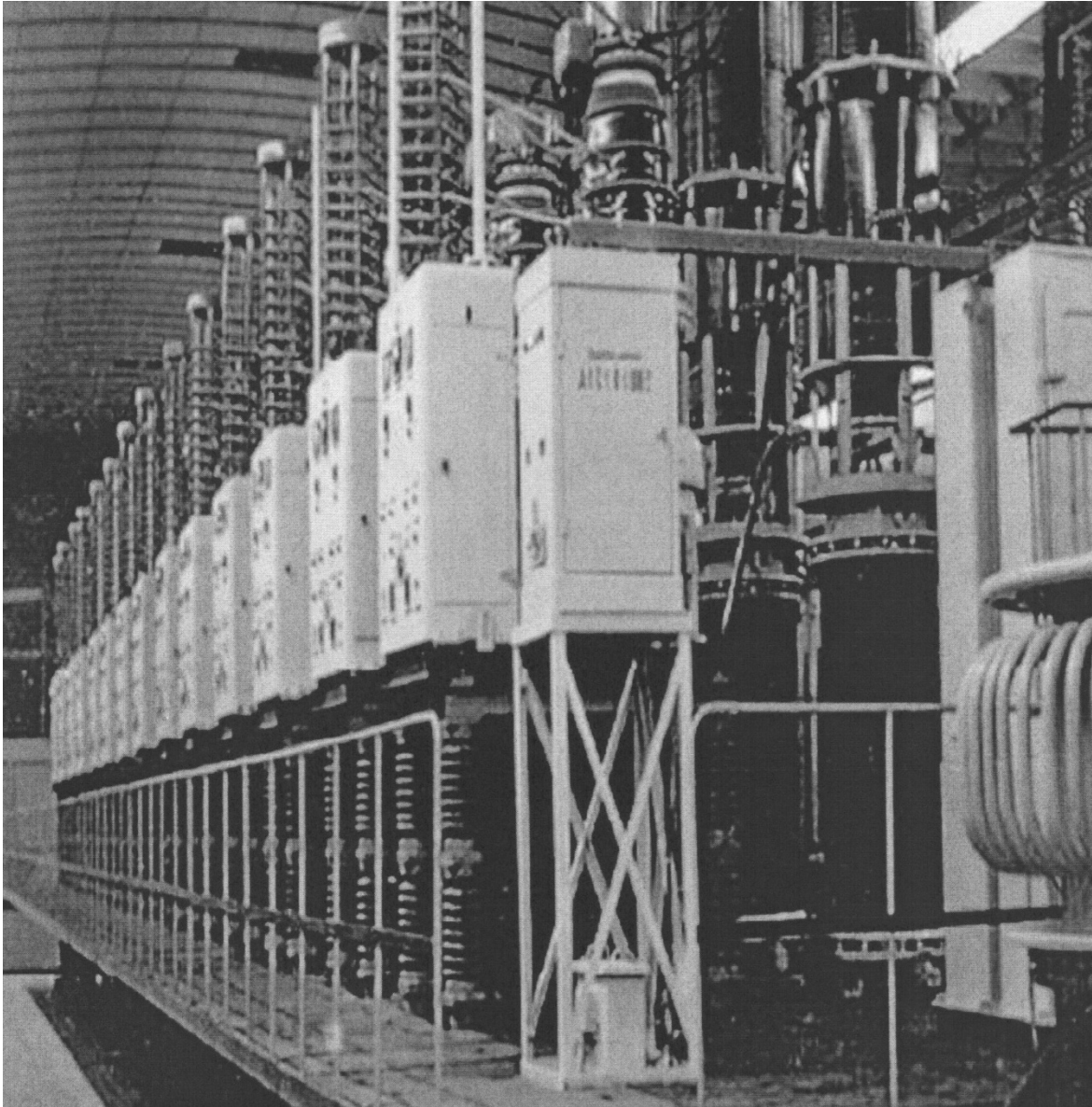


# Электродоношение постоянного тока Волгоград - Донбасс

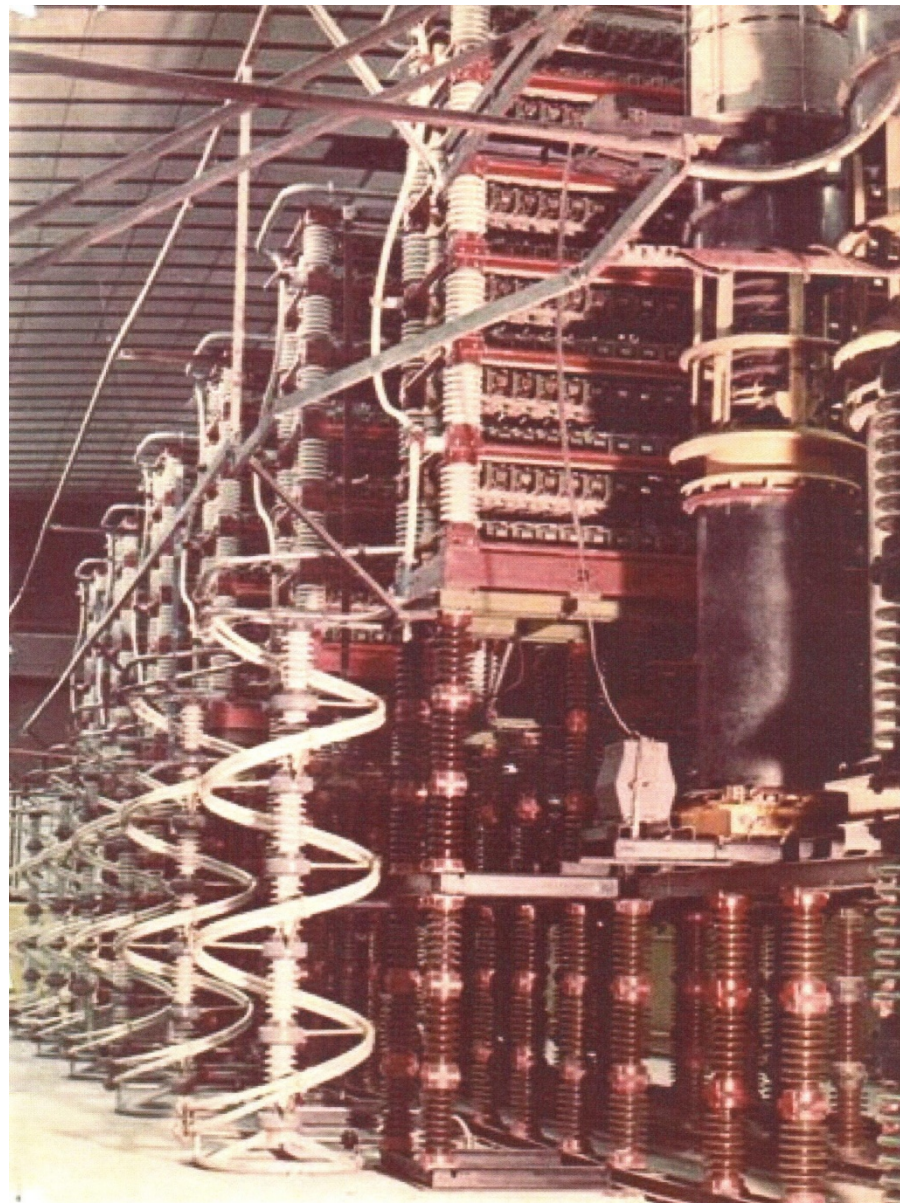
Наименование	Ввод в эксплуатацию	Параметры			
		$U_d$ , кВ	$I_d$ , А	$P_d$ , МВт	$L$ , км
<b>Волгоград - Донбасс</b>  Цель: Реверсивная передача мощности между энергосистемами Средней Волги (Волжская ГЭС) и Донецкого угольного бассейна	1965 (ртутные вентили) 1969 (тиристорные вентили)	$\pm 400$	900	720	473

- ЛЭП ПТ Волгоград – Донбасс – в течение ряда лет была крупнейшей электродоношением постоянного тока в мире
- Советская наука и техники завоевали передовые позиции в мире в области электродоношений постоянного тока
- Признание заслуг советской науки и промышленности в СИГРЕ и МЭК
- Получен уникальный опыт разработки электрооборудования для электродоношений постоянного тока и их строительства

# Преобразовательный мост на высоковольтных ртутных вентилях на Волжской подстанции



# Преобразовательный мост на высоковольтных тиристорных вентилях на Волжской подстанции



## Технико-экономические преимущества передачи электроэнергии постоянным током

- Воздушные ЛЭП постоянного тока длиной более 600-800 км дешевле эквивалентных ЛЭП переменного тока
- Мощность и длина ЛЭП постоянного тока ограничиваются только параметрами преобразовательного и трансформаторного оборудования, в то время как мощность и длина ЛЭП переменного тока ограничиваются проблемами статической и динамической устойчивости
- Мощность, передаваемая по ЛЭП ПТ, может регулироваться очень быстро и практически от нуля до максимума, в то время как регулировать мощность, передаваемую по ЛЭП переменного тока, гораздо трудней
- Линии постоянного тока значительно надежней эквивалентных ЛЭП переменного тока – в случае обрыва одного провода они способны передавать по второму проводу мощность 50% или более
- Обеспечивается надежная, экономичная и полностью управляемая передача электроэнергии по длинным кабельным линиям постоянного тока (работают подводные кабельные ЛЭП постоянного тока длиной 500 км), в то время как длина кабельной ЛЭП переменного тока обычно не превышает 30-50 км из-за отрицательного влияния большой емкости кабелей



## Технико-экономические преимущества передачи электроэнергии постоянным током (продолжение)

- Обеспечивается надежная, экономичная и полностью управляемая передача больших мощностей (тысячи МВт) на дальние расстояния (тысячи км) от удалённых мощных ГЭС или мощных ТЭС, расположенных непосредственно у угольных шахт, нефтяных разработок и т.д., к центрам нагрузки или на экспорт
- Обеспечивается объединение энергосистем, работающих асинхронно или с разными частотами (50 и 60 Гц). При этом:
  - уровни токов короткого замыкания в них не увеличиваются, не требуется замена оборудования (выключателей, разъединителей и т.д.), как это происходит при объединении энергосистем при помощи ЛЭП переменного тока
  - повышаются статическая и динамическая устойчивость энергосистем, надежность электроснабжения. Исключаются системные аварии, развалы электроэнергетических систем, число которых в развитых странах быстро растёт с увеличением мощности энергосистем, и которые наносят громадный экономический ущерб.
  - все достоинства ЛЭП постоянного тока сохраняются для вставок постоянного тока (длина ЛЭП равна нулю)

# Высоковольтная преобразовательная техника в 1965-1990 годах

- Разработка мощных высоковольтных тиристоров (ВЭИ, 1965-1970)
- Создание высоковольтных тиристорных вентилях (ВТВ) и их испытания (НИИПТ, ВЭИ, ЭНИН – 1966-1968), новые технические решения
- Освоение производства ВТВ на заводах «Уралэлектротяжмаш» (г. Свердловск, теперь Екатеринбург) и СВПО «Трансформатор» (г. Тольятти)
- Замена высоковольтных ртутных вентилях тиристорными на преобразовательных подстанциях электропередач постоянного тока Кашира-Москва и Волгоград-Донбасс (1969)
- Фундаментальные исследования и НИР по созданию комплексов оборудования ультравысокого напряжения для ЛЭП переменного тока 1150 кВ и постоянного тока 1500 кВ ( $\pm 750$  кВ) (1970-1980)
- Практическая реализация проектов - Постановление ЦК КПСС и СМ СССР от 30.04.1981 г. № 412
- Создание уникального Мощного испытательного стенда (МИС) в г. Тольятти (1979)

# Высоковольтная преобразовательная техника в 1965-1990 годах

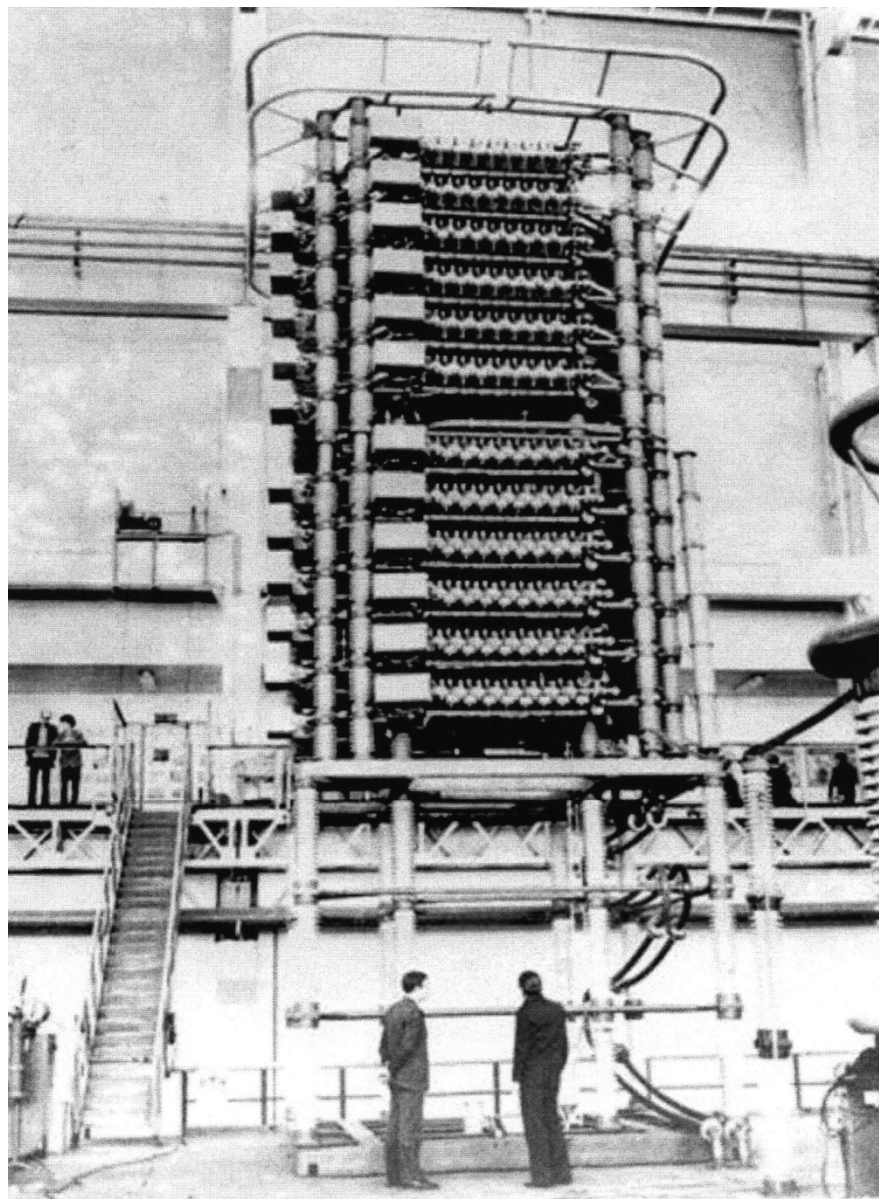
- Разработка комплекса электрооборудования (70 наименований) для электропередачи постоянного тока Экибастуз - Центр
- Производство, испытания и поставка электрооборудования на преобразовательные подстанции электропередачи постоянного тока Экибастуз – Центр
- Монтаж электрооборудования на подстанциях ЛЭП ПТ Экибастуз-Центр (первая очередь), строительство воздушной ЛЭП  $\pm 750$  кВ Экибастуз-Тамбов
- Прекращение работ на ЛЭП ПТ Экибастуз - Центр (1991)

# Электродооредача постояннoгo тoкa Экибастуз – Центр

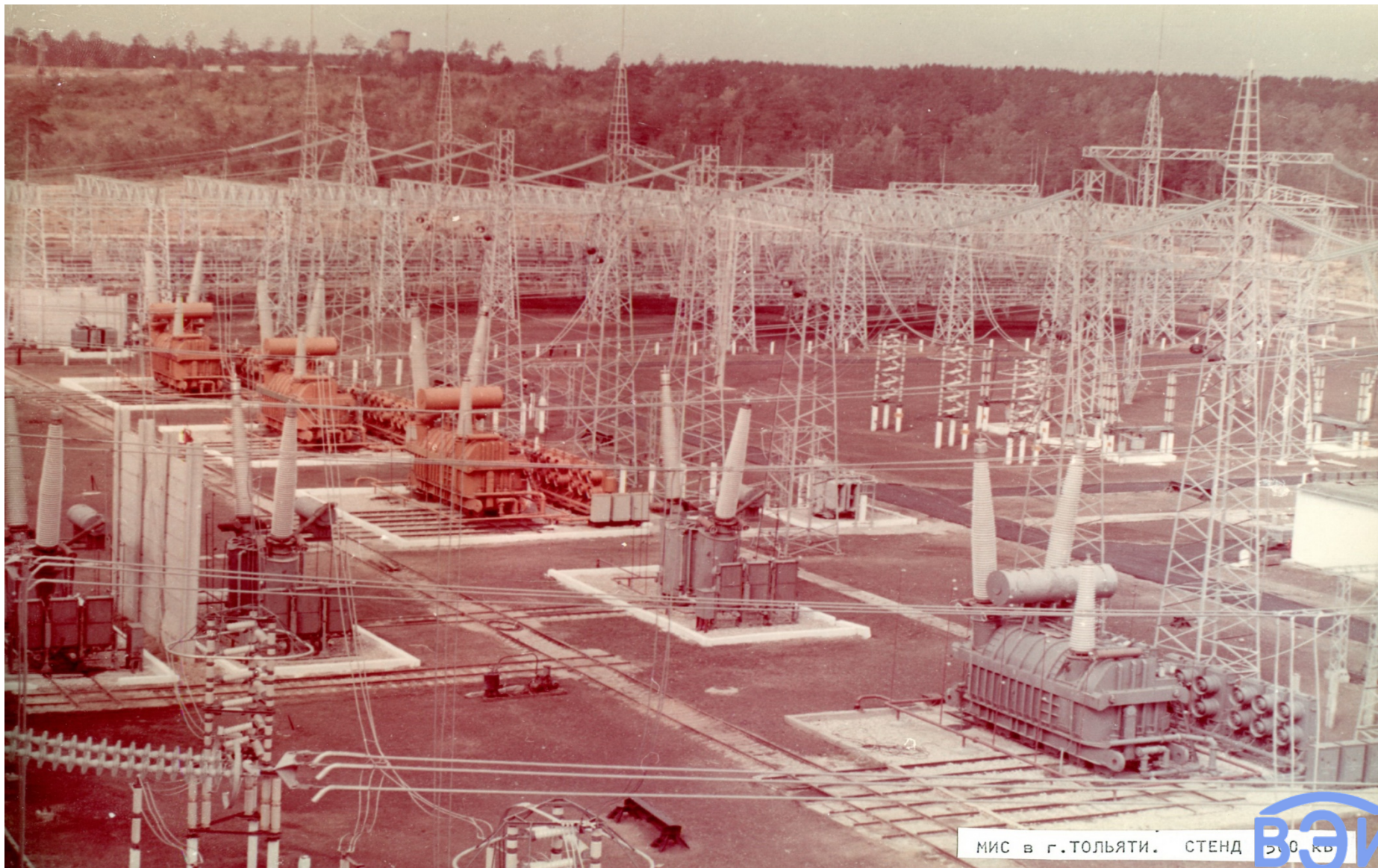
Наменование	Ввод в эксплуатацию	Параметры			
		$U_d$ , кВ	$I_d$ , А	$P_d$ , МВт	L, км
<b>Экибастуз-Центр</b>  Цель: Передача большой мощности (6000 МВт) от Экибастузских ТЭС вблизи угольных шахт к центру Европейской части СССР (г. Тамбов)	Строительство было начато в 1987 г., остановлено в 1990 г.	$\pm 750$	4000	6000	2400

Электрооборудование для ЛЭП постоянного тока 1500 кВ, созданное в СССР, значительно, на двадцать пять лет, опередило мировой технический уровень. Первая ЛЭП подобного класса (1600 кВ или  $\pm 800$  кВ) была построена в Китае только в 2010 г.

# Высоковольтный тиристорный вентиль БВПМ-800/470-III для ЛЭП ПТ Экибастуз - Центр



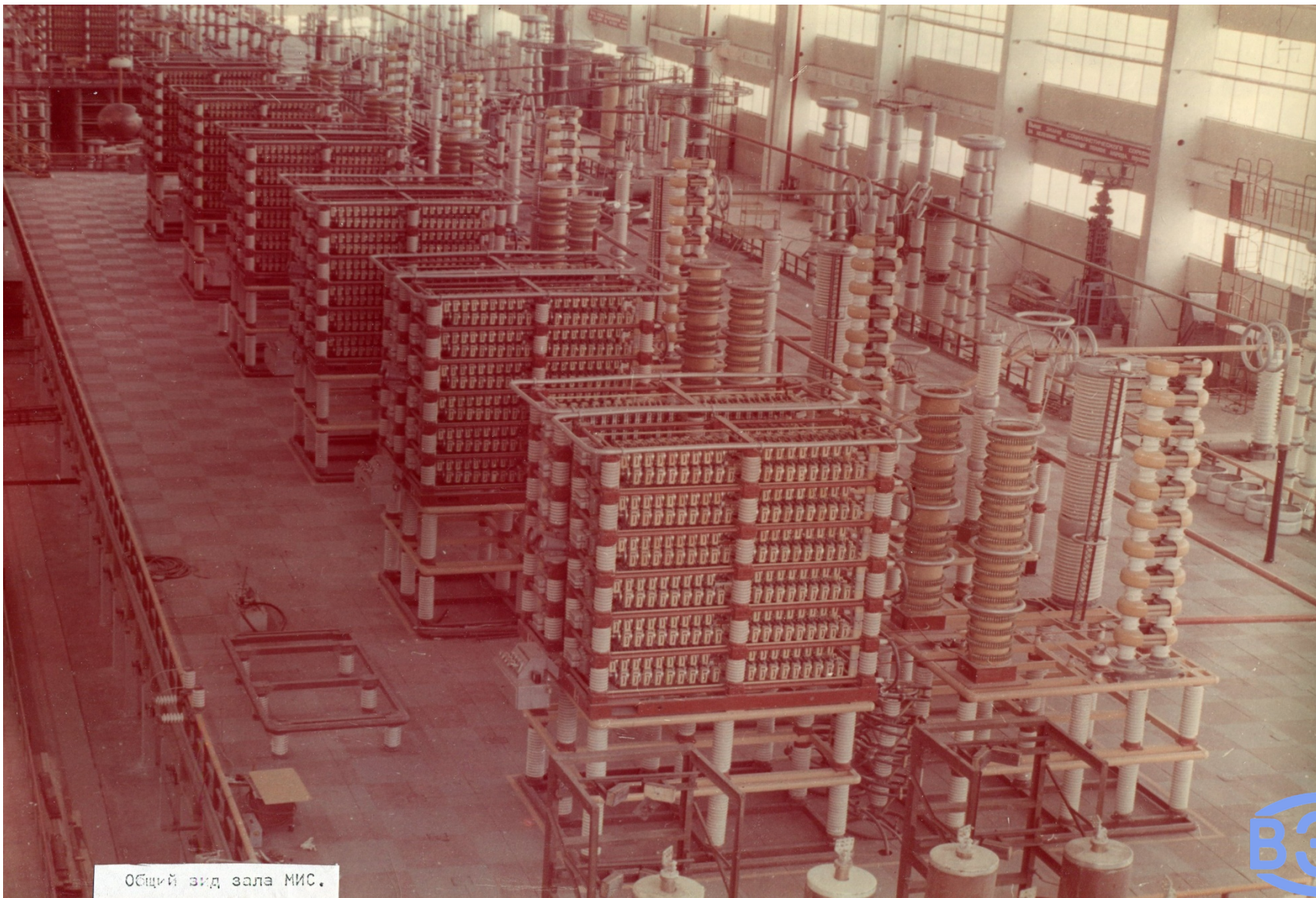
# ОРУ преобразовательной подстанции 750 кВ ЛЭП ПТ Экибастуз – Центр на МИС г. Тольятти



МИС в г.ТОЛЬЯТИ. СТЕНД 500 кВ



# Вентильный зал Мощного Испытательного Центра в г. Тольятти



Общий вид зала МИС.



# Выборгская вставка постоянного тока (ВПТ) СССР – Финляндия

Наименование	Ввод в эксплуатацию	Параметры			
		$U_d$ , кВ	$I_d$ , А	$P_d$ , МВт	L, км
<b>Выборгская вставка постоянного тока</b>  Цель: Экспорт электроэнергии из СССР/России в Финляндию	1981 (1 КВПУ) 1983 (3 КВПУ) 2000 (4 КВПУ)	170	2100	355 1065 1420	-

Опыт создания электрооборудования для ЛЭП ПТ Экибастуз-Центр был использован для быстрой разработки и изготовления оборудования для Выборгской вставки постоянного тока. Выборгская вставка постоянного тока (ВПТ) осуществляет асинхронную связь между электрическими сетями 330 кВ Северо-Запада России и 400 кВ Финляндии.



# КВПУ-4 на Выборгской ВПТ



# Строительство ЛЭП и вставок постоянного тока в России (2000-2015 годы)

В 2000 г. были завершены монтажные и наладочные работы на новом преобразовательном блоке Выборгской ВПТ (КВПУ-4). Блок был выполнен по такой же схеме, как и первые три, но снабжен аппаратурой управления, регулирования, защиты и автоматики нового поколения (КУРБ). В 2002-2005 гг. новой аппаратурой управления были оснащены и остальные блоки Выборгской ВПТ.

В 2006-2007 гг. в России активно обсуждалась и в 2008 г. была одобрена Правительством РФ Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2020 г., которая предусматривала сооружение в 2011-2015 гг. на Урале и в Сибири трёх ЛЭП постоянного тока  $\pm 500$  кВ и пяти ЛЭП постоянного тока  $\pm 750$  кВ, а также 6 вставок постоянного тока по 500 МВт. В 2010 г. эта схема была пересмотрена и забыта.

Было принято решение о строительстве ППТ 1000 МВт,  $\pm 300$  кВ Ленинградская АЭС-Выборгская ВПТ с возможным увеличением мощности Выборгской ВПТ. Активная часть проекта должна была начаться в 2013 г., но была отложена.

В 2015 г. введена в эксплуатацию вставка постоянного тока Могоча 2x100 МВт, 68 кВ, 1500 А, в Читинской энергосистеме Сибири с использованием новой технологии - преобразователей напряжения



# Перспективы развития ЛЭП и вставок постоянного тока в России

Применение ЛЭП и вставок постоянного тока в России может значительно повысить устойчивость, надежность и качество электроснабжения за счет использования преимуществ новых технологий постоянного тока в электроэнергетических системах страны. Однако в настоящее время существует ряд неблагоприятных факторов, затрудняющих развитие новых технологий (отсутствие современной отечественной нормативной базы, дефицит производственных мощностей и специалистов, дефицит необходимой испытательной базы) и эти факторы необходимо устранить, чтобы обеспечить изготовление оборудования и строительство ЛЭП и вставок постоянного тока в России для усиления электрических систем и для экспорта электроэнергии.



**Спасибо за внимание**

**Лев Травин**

