



Федеральная  
Сетевая Компания



Единой  
Энергетической Системы



Доклад на IX-ой Международной научно-практической конференции  
Международной Ассоциации Фундаментостроителей IAFC-MAF  
«Опоры и фундаменты для ВЛ: технологии проектирования и строительства»

### **Юбилей НИЛКЭС-50:**

**Совместная разработка и внедрение инновационных конструкций опор и фундаментов ВЛ высокого напряжения с ПАО «Россети», ПАО «ФСК ЕЭС», ПАО «ЦИУС ЕЭС», АО «Фирма ОРГРЭС», АО «НТЦ Россети НТЦ»  
(на основании личного опыта)»**

**АО «НТЦ ФСК ЕЭС»**

Департамент ЛЭП и ПС, главный эксперт, к.т.н.

Сенькин Николай Александрович

senkin1952@yandex.ru

26.06.2024

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ - 2024 - МОСКВА

# 1. ВВЕДЕНИЕ. ПЛАН ГОЭЛРО. Начало великих строек. Персоналии



Комиссия по государственной электрификации России (ГОЭЛРО) работала с приходом Советской власти. План электрификации России разрабатывался группой инженеров и профессуры Петроградских и Московских университетов под руководством академика Г.М.Кржижановского (1872-1959), члена РСДРП (б). В начале 1920 года по поручению В.И.Ленина написал работу «Основные задачи электрификации России», основанную на разработках 1915-16 годов, и был назначен Председателем Комиссии, состоявшей из 19 членов: Шателен М.А. (1866-1957), Графтио Г.О. (1869-1949), Шенфер К.И. (1885-1946) и др. В этой великой работе участвовало более 240 инженеров и профессоров, в т.ч. проф. Виноградов Николай Павлович (1886-1961).

План ГОЭЛРО был утвержден VIII Всероссийским съездом советов 22.12.2021. Составленный на 10-15 лет, он предусматривал строительство 20 ТЭС и 10 ГЭС был полностью выполнен: выработка э/э в России по сравнению с 1913 годов в 1931 году увеличилась в 7 раз! В частности, были запущены в эксплуатацию Днепровская и Волховская ГЭС, Каширская, Шатурская, Штеровская, Лисичанская и Челябинская ГРЭС. В 1930 году под руководством Г.М.Кржижановского в Ленинграде организован Энергетический научно-исследовательский институт (АО «ЭНИН» им. Г.М.Кржижановского), позже переведенный в Москву на Каширское ш.,22, к.3. В 1930—1940-е годы в ЭНИН были выдвинуты и обоснованы основные идеи о создании Единой энергетической системы в стране, об экономической целесообразности создания крупных электростанций с мощными агрегатами, о создании систем централизованного теплоснабжения для крупных и средних городов; разработаны рациональные технологические схемы сжигания и использования низкокачественного твёрдого топлива в энергетике и т.д. В течение многих лет Институт является головным в разработке стратегии развития электроэнергетики страны, разрабатывает научно-техническую политику в электроэнергетике, основные положения технического регулирования и стандарты. ЭНИН стал предтечей создания Треста ОРГРЭС при Госплане СССР (1933) и ВНИИЭлектроэнергетики (1944), где работал великий шахматист Мих.Ботвинник (1911-1995). <sup>2</sup>

## 2. Профессор, д.т.н. Николай Павлович Виноградов СБТИ-ЛИИ-ЛПИ (1886-1961)



Виноградов Н. П. родился 05.12.1886 г. в Н.Новгороде, в семье дворянина, статского советника. В 1914 г. окончил Санкт-Петербургский технологический институт с отличием. Был оставлен в институте для подготовки к научно-педагогической деятельности на кафедре строительной механики. С 1914 г. избран преподавателем по сопротивлению материалов Санкт-Петербургского политехнического института. Практическая инженерная деятельность: ст.инж. Управления Волховской гидросиловой установки, где он руководил разработкой проекта ВЛ Волхов-Ленинград. В 1926 г. руководил проектированием первой в СССР 220 кВ линии электропередач Свирь-Ленинград. В 1928 г. руководил работами по проектированию ВЛ Днепропетровской энергосистемы, работал над проектированием переходов линий электропередачи через большие реки Нева, Ока, Волга, Днепр и др. В 1930 г. в связи с реорганизацией системы высшего технического образования назначен заведующим кафедрой строительной механики Машиностроительного института, в 1933 г. – начальником факультета Производственного машиностроения.

В 1932-1942 под руководством Н.П. Виноградова работала специальная лаборатория при Электрофизическом институте, которая занималась комплексным решением вопросов ВЛ. Это была школа и центр научной мысли мирового уровня в области проектирования и сооружения ВЛ. В 1935 г. декан механического факультета и завкафедрой ПТМ Ленингр индустр. института (переименован в ЛПИ). В ЛПИ занимался вопросами прочности металлических конструкций ПТМ и ВЛ. В 1941 г. присуждена ученая степень док.техн.наук без защиты диссертации.

С августа 1941 г. Николай Павлович был назначен на должность зам. директора ЛПИ по научно-учебной части, занимался организацией производства военной продукции в институте. 23.05.1942 г. был осужден и приговорен к высшей мере наказания, которая была заменена заключением сроком 10 лет без права переписки. **Это было Дело ленинградских ученых.** В 1952 г., по окончании срока заключения в лагере ссылка в одном из совхозов Кокчетавской области. В 1955 г. освобожден из ссылки и полностью реабилитирован. В этом же году вернулся на работу в должности профессора кафедры ПТМ ЛПИ, где продолжил работы по вопросам прочности металлических конструкций ПТМ и ВЛ. В 1956 г. в связи с семидесятилетием награжден орденом.

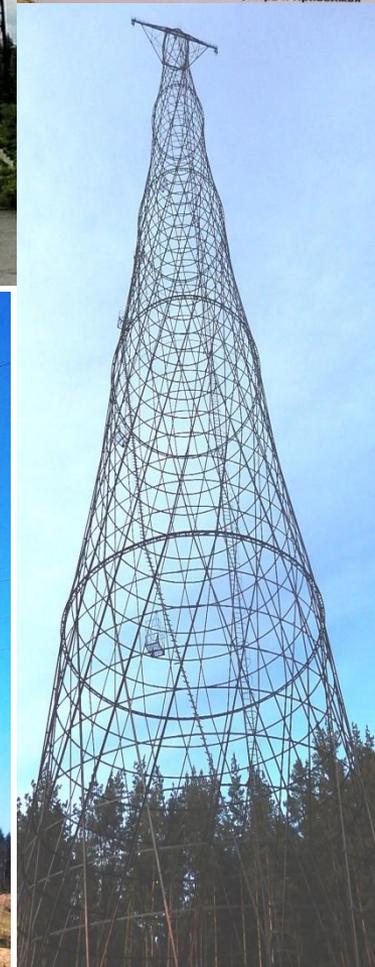
**Виноградов Н.П. Метод расстановки опор по профилю линии электропередачи в случае применения подвесных изоляторов //Электричество. №1. 1931. С.10-13.**

### 3. Проф. д.т.н. Н.П. Виноградов (1886-1961) и академик В.Г.Шухов (1853-1939)



 МРСК ЦЕНТРА И ПРИВОЛЖЬЯ  
ПАВЛАД-ИНЖИЖЕРСЕРВИС

Памятник культурного наследия  
**Гиперboloидная башня системы В. Г. Шухова**  
Опора ЛЭП НигРЭС через р. Ока построена в 1927 - 1929 г.г.  
Объект ОАО "МРСК Центра и Приволжья"



## 4. СЗО ТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТ. Типовые проекты. Персоналии



1961г. В "Теплоэлектропроекте"  
Новгородцев Борис Павлович (1904-1983)  
Левандо Конст. Петрович (1904-1991)  
Штин Станислав Ал-дрович (1933-1996)  
Андреева Ал-дра Николаевна (1920-1992)  
Токарева Ииша Дмитриевна (1928-1997)  
Платова Маргарита Мих.  
Шкловская Викторие Давид.  
Кириллова Людмила Васильевна  
Ижицатова Ольга Мих. (1937-1996)



Бюро по проектированию первых районных электростанций на торфе и подмосковном угле в составе Отдела электротехнических сооружений Электростроя было открыто в 1918 г. первой сессией Центрального Электротехнического Совета ВСНХ, которое стало Трестом, а потом ин-том Теплоэлектропроектом с 1932 года. В составе института открыты отделения в Москве, Ленинграде, Свердловске, [Новосибирске](#), [Горьком](#), [Томске](#), [Ташкенте](#), [Киеве](#), [Харькове](#), [Львове](#), [Ростове](#), [Риге](#). Филиалы в Ленинграде и Харькове были основными в разработке типовых опор и фундаментов ВЛ всех унификаций. В СЗО Теплоэлектросетьпроект начальником Цеха электрических сетей был Кирилл Петрович Крюков до организации СЗО ВГПНИИ Энергосетьпроект в 1962 г.

Фото:

5

2022.01.11. Элькинд (Шкловская) Виктория Давидовна

## 5. СЗО ТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТ – СЗО Энергосетьпроект - НИЛКЭС



**Рис. 13.** Талантливые первые руководители Северо-Западного Отделения института «Энергосетьпроект»: главный инженер Кирилл Петрович Крюков (1911–1989) и заведующий НИЛКЭС Алексей Иванович Курносов (1922–1987)



## 6. ЛИСИ (СПБГАСУ). Отечественные исследования по совершенствованию расчета и создания новой конструктивной формы опор ВЛ

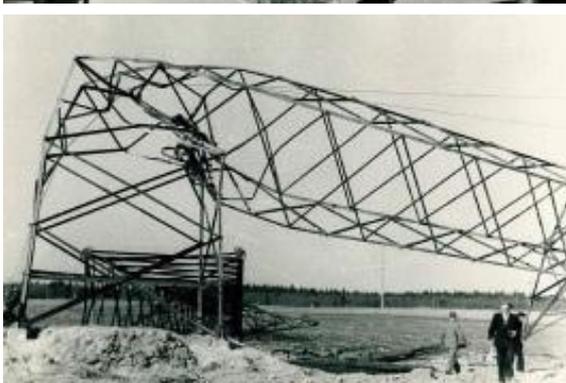


Задачи послевоенного восстановления и развития энергетики СССР потребовали ускоренного строительства системообразующих воздушных линий электропередачи (ВЛ) и разработки новых конструкций опор и фундаментов, отличающихся высокой надежностью, безопасностью и индустриальностью изготовления, монтажа и последующей эксплуатации. Переход строительства линий на поточный метод потребовал унификации конструкций, что могло быть достигнуто лишь при сохранении минимального количества типов, обладающих оптимальными показателями, а также проведение ряда исследований конструкций опор и их элементов.



Эта значительная работа по отработке первых типов опор выполнялась в 1950-70-х годах большим коллективом исследователей из ЛИСИ (Н.Н.Аистов, В.А.Труль, И.А.Мизюмский, И.А.Петров, А.И.Гаккель, И.И.Дюбек, И.Г.Клинов), СЗО и ОДП института «Энергосетьпроект» (К.П.Крюков, А.И.Курносков, Б.П.Новгородцев, С.А.Штин, А.Н.Андреева), «Энергосетьпроект» (Е.М.Бухарин, Ю.А.Габля), «НИИОСП им. Н.М.Герсевича» (А.С.Кананян, В.Г.Буданов), «ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко» (В.А.Балдин, В.И.Трофимов), ЛО «Проектстальконструкция», «Оргэнергострой», трестов «Севзапэлектросетьстрой» (Н.В.Севастьянов, Д.Е.Виноградов) и «ОРГРЭС» (А.Д.Герр, И.Г.Барг, С.В.Коробанов, А.И.Астахов, Л.В.Яковлев, Б.Л.Ошеров) и др.

## 7. ЛИСИ (СПБГАСУ). Проведение НИР по исследованию действительной работы новых конструкций опор воздушных линий электропередачи

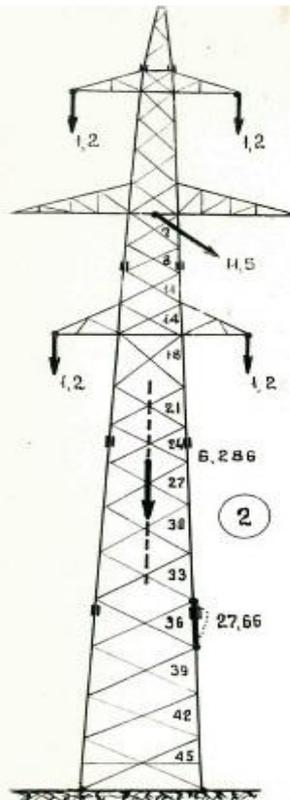
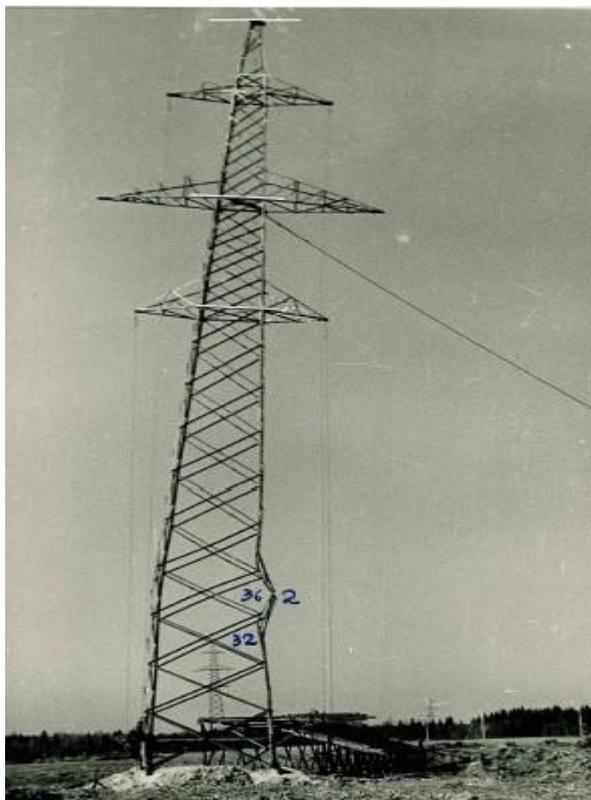


В 1954-64 годах по договорам НИС ЛИСИ с ЛО и ОДП ВГПИ «Теплоэнергопроект (Энергосетьпроект)», С-3 Дирекции строящихся ВЛиПС, треста «Севзапэнергострой» и Ленинградского завода опор ВЛ в ЛИСИ под руководством профессора Н.Н.Аистова, а потом доцента В.А.Трулля, было выполнено более 20 научно-исследовательских работ с большим количеством натуральных и модельных испытаний опор ВЛ и их элементов, имеющих новые прогрессивные конструкции, по трем основным темам:

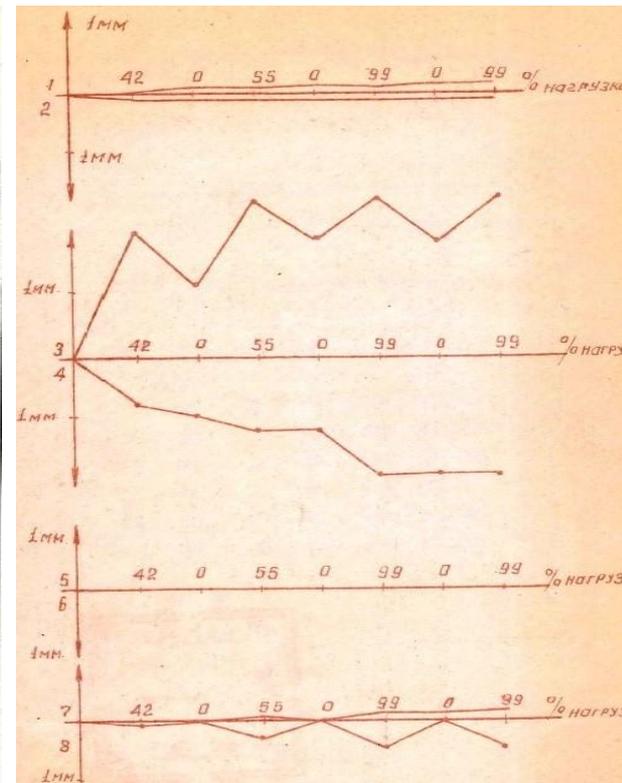
- натурные испытания типовых стальных опор свободстоящих и на оттяжках для ВЛ 220 кВ «Прибалтийская ГРЭС – Ленинград», ВЛ 400 (500) кВ «Бугульма-Златоуст» и т.п.;
- натурные испытания типовых стале-железобетонных опор для ВЛ 110-330 кВ одностоечных, порталных, на оттяжках и без, например для ВЛ 220 кВ «Сясь – Пикалёво», ВЛ 220 кВ «Одесса – Николаев», ВЛ 330 кВ «Прибалтийская ГРЭС – Рига» и т.п.;
- испытания крупномасштабных моделей для оценки несущей способности призматических трех- и четырехгранных стоек на сварных и болтовых соединениях, исследование болтовых соединений и комбинированных сварных швов, отработка конструкций анкерных болтов и опорных плит башмаков в Механической лаборатории ЛИСИ.

Фотографии из Отчета НИС ЛИСИ №186а «Исследование действительной работы промежуточной стальной опоры на черно-болтовой монтажной сборке ВЛ 220 кВ «Прибалтийская ГРЭС – Ленинград» (1959 г.). Выполнены натурные испытания опоры ПБГ-6 на нагрузки аварийного и нормального режимов работы до разрушения опоры с измерением сдвигов в болтовых соединениях, напряжений в поясах и раскосах ствола, перемещений опоры и осадок фундаментов, с учетом влияния монтажного стыка поясов и диафрагмы.

## 8. ЛИСИ (СПБГАСУ). Натурные испытания типовой двухцепной стальной опоры ПБГ-6 (П220-2) черно-болтовой монтажной сборки для ВЛ 220 кВ



Этажа С учетом	N	С	
		прочи	эксплуат
	6149	712	1012
	9184	856	814
	11691	934	1154
	14137	1010	1435
	16568	1183	2285
	18981	1356	3326
	21295	1359	2800
	23063	1478	3075
	24728	1585	3523
	26296	1686	3750
	27664	1773	3940
	28804	1846	4105
	29854	1914	3940
	30924	1982	2510



Из Отчета НИС ЛИСИ №186а (1959 г.), подписанного научным руководителем НИР Засл.деятелем науки и техники РСФСР, д.т.н., проф. Н.Н.Аистовым и отв.исп. работы к.т.н., доцентом В.А.Труль, основные некоторые результаты испытаний двухцепной опоры новой конструкции ПБГ-6 следующие:

- разрушение опоры на нагрузки норм.режима в месте монтажного стыка «внахлестку» (к-т запаса 1,76);
- нижняя диафрагма не оказывает влияния на распределение усилий;
- существенная доля остаточных прогибов в связи с черно-болтовой монтажной сборкой и податливостью соединений, необходимость надежного плотного затягивания динамометрическими ключами;
- неравномерность осадок фундаментов, приводящая к перегрузке поясов до 17% по отн. к допуск. напр. 9

## 9. ЛИСИ (СПБГАСУ). Натурные испытания типовых стале-железобетонных опор одностоечных, порталных, на оттяжках и без для ВЛ 110-330 кВ



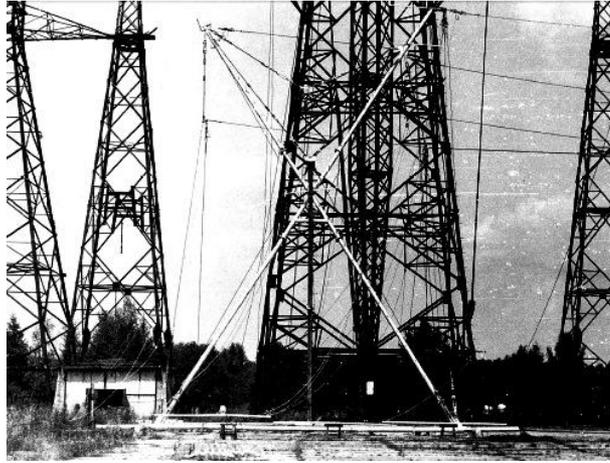
Натурные испытания одностоечных стале-железобетонных опор для ВЛ 110-220 кВ с коническими и цилиндрическими железобетонными стойками (выполнено 12 опытов) по заказу Северо-Западной Дирекции строящихся линий эл-чи для ВЛ 220 кВ «Сясь-Пикалёво» (1961 г.) и испытания по заказу ЛО ВГПНИ ТЭП до разрушения стоек стале-железобетонных порталных опор для ВЛ 330 кВ «Прибалтийская ГРЭС – Рига» (1960 г.)

## 10. Фирма ОРГРЭС – Союзтехэнерго. Отечественные исследования в области натуральных испытаний и совершенствования конструктивных форм опор ВЛ



Яковлев Леонид Васильевич (1932-2007) – выдающийся инженер, выпускник ЛИИЖДТ по специальности «Мосты и тоннели», организатор Цеха испытаний элементов воздушных линий электропередачи (ЦИВЛ) Союзтехэнерго в Хотьково, разработчик Методики испытаний конструкций опор ВЛ. Со второй половины 1960-х годов вопросы научно-технического исследования, испытаний и разработки новых конструктивных форм опор воздушных линий электропередачи перешли из вузовской в отраслевую сферу. Начиная с 1958 года, испытания элементов, опор и фундаментов стали проводиться Трестом «ОРГРЭС» в подмосковном Хотьково., где был организован силовой стенд с монолитным жестким полом для натуральных испытаний конструкций опор и фундаментов. Яковлев Л.В.: Крюков К.П. ученик д.т.н. Виноградова Н.П.<sub>1</sub>

# 11. НИЛКЭС СЗО Энергосетьпроект . Совершенствование расчета и конструктивных форм опор и фундаментов ВЛ



## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 4807947/33  
(22) 30.03.90  
(46) 23.01.92. Бюл. № 3  
(71) Северо-Западное отделение Всесоюзного государственного проектно-исследовательского и научно-исследовательского института энергетических систем и электрических сетей "Энергосетьпроект", Ухтинский индустриальный институт и Производственное объединение энергетики и электрификации "Коминерго"  
(72) Н. А. Семкин, С. А. Штин и М. Д. Косолов  
(53) 621.315.66(088.8)  
(56) Авторское свидетельство СССР № 14166947, кл. Е 04 Н 12/00, 1988.

(54) ОПОРА ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ (57) Изобретение относится к строительству опор линий электропередачи. Цель изобретения - снижение материалоемкости. В опоре X-образные стойки 1, подкос 7 и горизонтальная балка 6 выполнены плоскими и решетчатыми. Наружный пояс горизонтальной балки 6 размещен в одной плоскости с наружными поясами 2 стоек 1, а внутренние стойки 3 стоек 1 выше балки 6 размещены вертикально. Стойки 1 соединены в узле пересечения посредством шарнира 5, а подкос 7 выполнен в виде треугольной формы, шарнирно прикрепленной к концам горизонтальной балки 6 и к фундаменту 4. Верхние концы стоек 1 объединены гибкой тросой 14. 3 ил.

1707171

**ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ ВСЕСОЮЗНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРОЕКТИНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ (ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ) МИНЭНЕРГО СССР**

**ПОСОБИЕ  
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СТАЛЬНЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ  
ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ (ВЛ)  
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ  
И ОТКРЫТЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ  
УСТРОЙСТВ (ОРУ)  
ПОДСТАНЦИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ СВЫШЕ 1 КВ  
(к СНиП II-23-81\*)**

Утверждено  
приказом Энергосетьпроекта  
от 24 июня 1985 г. № 422

Москва

Центральный институт типового проектирования

1989

Рекомендовано к изданию научно-техническим советом  
Энергосетьпроекта Минэнерго СССР.

ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «РОССТЕИ»

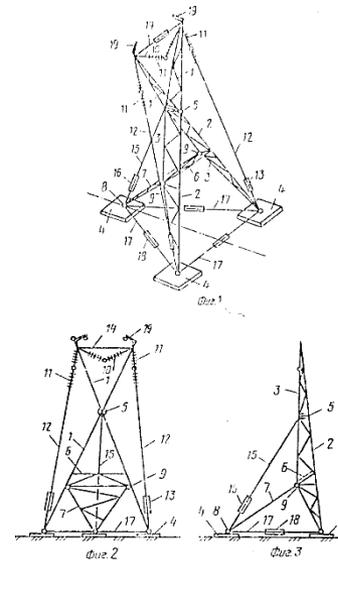
ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР»

УДК 621.315.17  
№ государственной  
регистрации  
Изм. №

УТВЕРЖДАЮ  
Исполняющий обязанности  
Генерального директора  
А. Л. Довжиков  
«\_» \_\_\_\_\_ 2017г.

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ  
И ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКАЯ РАБОТА  
«Разработка железобетонных опор ВЛ 110 кВ  
из центрифугированных секционированных стоек»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ  
НА СБОРКУ И УСТАНОВКУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОПОР ВЛ 110 кВ  
ИЗ ЦЕНТРИФУГИРОВАННЫХ СЕКЦИОНИРОВАННЫХ СТОЕК  
ПРИ НОВОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ  
(VII этап)



16.006-1-20

Технологические карты  
на сборку и установку железобетонных опор ВЛ 110 кВ  
из центрифугированных секционированных стоек  
при новом строительстве и при реконструкции

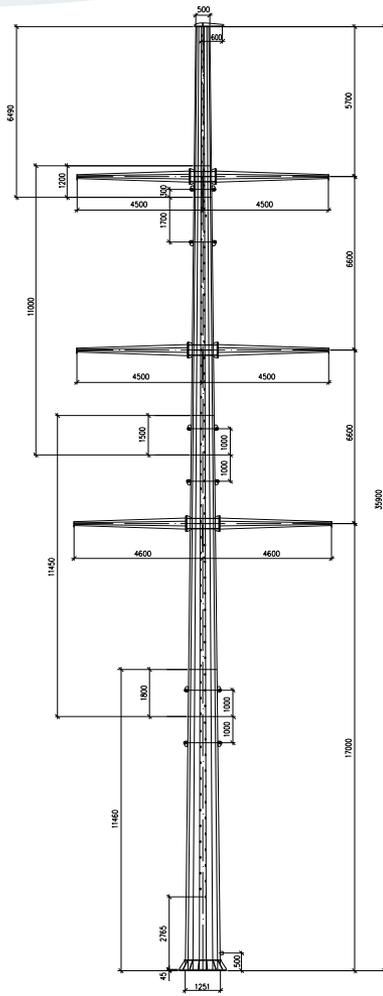




# Объект: Реконструкция двухцепной ВЛ220кВ Восточная-Волхов-Северная

## Опоры и фундаменты

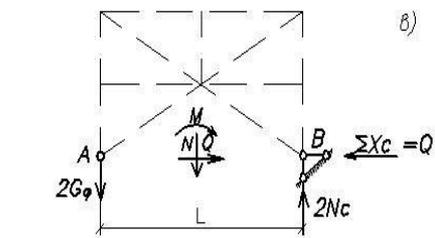
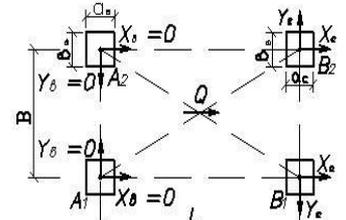
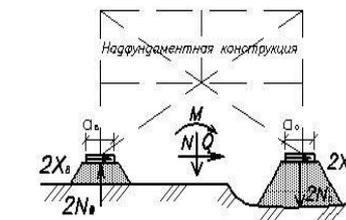
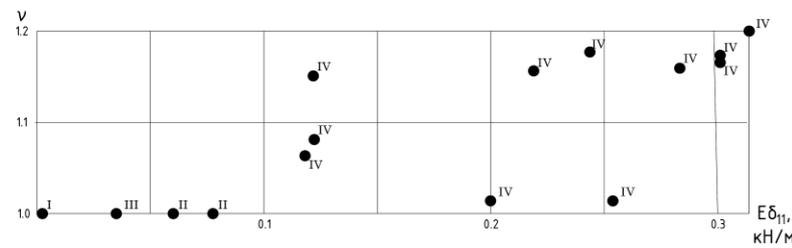
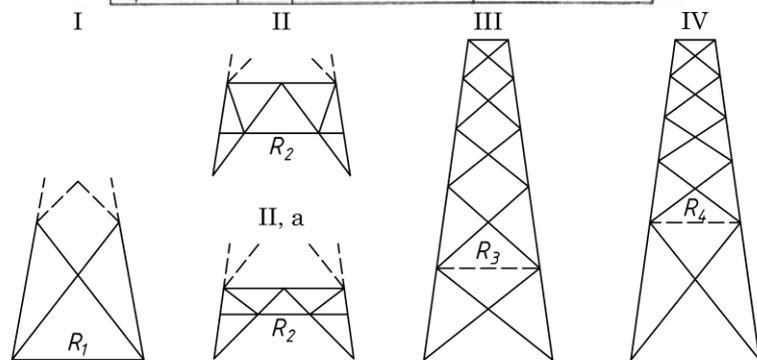
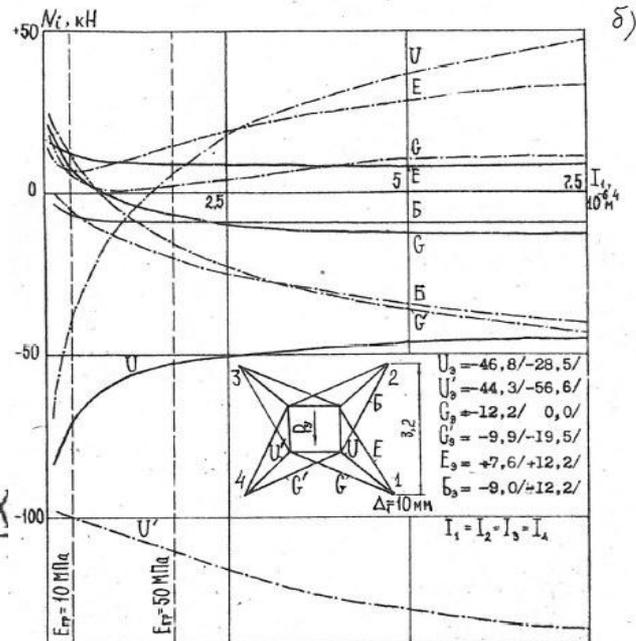
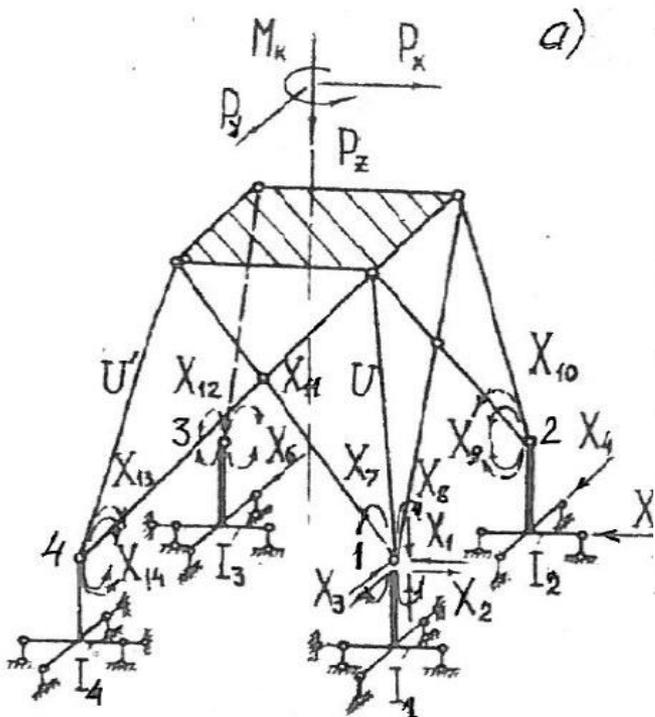
Одностоечная двухцепная промежуточная стальная  
многогранная опора МПГ330-2



Испытания опоры  
МП330-2 в ОРГРЭС



# 12. ЛИСИ (СПБГАСУ) проф. Трулль, аспирант Сенькин Н.А. 1980 «Исследование совместной работы конструкций и основания сооружений башенного типа»



a)

b)

b)

## **13. Факторы действительной работы стальных конструкций решетчатых опор ВЛ**

### **Дифференциация по природе возникновения:**

#### **1. Факторы внутренние** определяют характер расчетной схемы конструкции:

- 1) эксцентриситеты в узлах сопряжения элементов в зависимости от вида примыкания элементов решетки к поясам;
- 2) податливость болтовых соединений в узлах;
- 3) точность сборки, отклонения оси опор от вертикали;
- 4) вертикальные и горизонтальные перемещения фундаментов, их неравномерная осадка;
- 5) дефекты и повреждения элементов, аварийность.

#### **2. Факторы внешние** (нагрузки и воздействия):

- 1) коррозионный износ стали;
- 2) динамические эффекты при действии ветровых и гололедных нагрузок;
- 3) аварийные повреждения элементов и конструкций, динамический удар при внезапном удалении элемента из конструкции, прогрессирующее обрушение;
- 4) аварийные режимы при внезапном обрыве проводов и тросов;
- 5) вероятностно-статистических значения нагрузок и воздействий.

#### **3. Факторы общие совместные**

- 1) совместная работа конструкций и основания (единая расчетная стержневая модель);
- 2) совместная работа опор в механической системе воздушной линии электропередачи;
- 3) обеспечение требуемой надежности механической системы ВЛ посредством взаимодействия основных и резервных элементов (регулирование структуры)

Автор, в 2007 году гл.специалист ОАО «Фирма ОРГРЭС» (Москва), на обследовании технического состояния спецперехода ВЛ 220 кВ через р.Уса в ОАО «АЭК Комиэнерго» (прототип моего дипломного проекта на кафедре МКиИС в 1975 г.)



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**