



ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
METAL CONSTRUCTIONS**

2022, ТОМ 28, НОМЕР 1, 5–18
УДК 624.014.2:621.315.17

(22)-0435-1

ДЕЙСТВИТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ 35 кВ И ВЫШЕ

Н. А. Сенькин¹, Т. Е. Белякова², Д. А. Мальчиков³, В. С. Васильев⁴

*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
4, ул. 2-я Красноармейская, г. Санкт-Петербург, Россия, 190005.*

*E-mail: ¹senkin1952@yandex.ru, ²beliakowat@yandex.ru, ³malchickov.dmitry@yandex.ru,
⁴valera-vasilev-99@mail.ru*

Получена 21 февраля 2022; принята 25 марта 2022.

Аннотация. Современная вычислительная техника и программное обеспечение разрешают выполнение проектирования промышленных и электросетевых объектов с учетом дополнительных уточняющих факторов. Поэтому актуальными становятся научно-исследовательские работы по исследованию действительной работы стальных конструкций промышленных зданий и электросетевых конструкций. Выполнен анализ результатов натурных испытаний конструкций воздушных линий электропередачи, посредством которых выявляются неизвестные факты, свидетельствующие о действительной работе электросетевых конструкций. Такие факторы, как перемещения фундаментов, наличие значительных отклонений опор ВЛ от вертикали и неравномерности осадок фундаментов, уточнение расчетных схем надфундаментных конструкций опор с разными формами присоединения раскосов с поясами, с жестким, шарнирным и упругим присоединением поясов к фундаментам, обеспечат разработку более надежных и экономичных конструктивно-технологических решений стальных опор воздушных линий электропередачи.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи, опора, башня, расчетная модель, действительная работа, совместная работа конструкций и основания.

ДІЙСНА РОБОТА СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ НАПРУГОЮ 35 кВ ТА ВИЩЕ

М. О. Сенькін¹, Т. Є. Белякова², Д. А. Мальчиков³, В. С. Васильєв⁴

*ФДБОУ ВО «Санкт-Петербурзький державний архітектурно-будівельний університет»,
4, вул. 2-а Червоноармійська, м. Санкт-Петербург, Росія, 190005.*

*E-mail: ¹senkin1952@yandex.ru, ²beliakowat@yandex.ru, ³malchickov.dmitry@yandex.ru,
⁴valera-vasilev-99@mail.ru*

Отримана 21 лютого 2022; прийнята 25 березня 2022.

Анотація. Сучасна обчислювальна техніка та програмне забезпечення дозволяють виконання проектування промислових та електромережевих об'єктів з урахуванням додаткових уточнюючих факторів. Тому актуальними стають науково-дослідні роботи з дослідження дійсної роботи сталевих конструкцій промислових будівель та електромережевих конструкцій. Виконано аналіз результатів натурних випробувань конструкцій повітряних ліній електропередавання, за допомогою яких виявляються невідомі

факти, що свідчать про дійсну роботу електромережових конструкцій. Такі фактори, як переміщення фундаментів, наявність значних відхилень опор ПЛ від вертикалі та нерівномірності осідання фундаментів, уточнення розрахункових схем надфундаментних конструкцій опор з різними формами приєднання розкосів з поясами, з жорстким, шарнірним і пружним приєднанням поясів до фундаментів, забезпечать розробку більш надійних та економічних конструктивно-технологічних рішень сталевих опор повітряних ліній електропередавання.

Ключові слова: повітряна лінія електропередавання, опора, вежа, розрахункова модель, дійсна робота, спільна робота конструкцій та основи.

THE ACTUAL OPERATION OF STEEL STRUCTURES OF OVERHEAD POWER LINES WITH A VOLTAGE OF 35 kV AND ABOVE

Nikolay Senkin¹, Tatyana Belyakova², Dmitry Malchikov³, Valery Vasilyev⁴

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,

4, St. 2-nd Krasnoarmeyskaya, St. Petersburg, Russia, 190005.

E-mail: ¹senkin1952@yandex.ru, ²beliakowat@yandex.ru, ³malchickov.dmitry@yandex.ru,

⁴valera-vasilev-99@mail.ru

Received 21 February 2022; accepted 25 March 2022.

Abstract. Modern computer technology and software allow the design of industrial and power grid facilities, taking into account additional clarifying factors. Therefore, research work on the study of the actual operation of steel structures of industrial buildings and electrical grid structures becomes relevant. The analysis of the results of full-scale tests of overhead power transmission lines structures is carried out, through which unknown facts are revealed that indicate the actual operation of power grid structures. Factors such as the displacement of foundations, the presence of significant deviations of the overhead line supports from the vertical and the uneven settlement of the foundations, the refinement of the design schemes of the above-foundation structures of the supports with different forms of connection of braces with chords, with rigid, hinged and elastic attachment of the chords to the foundations will ensure the development of more reliable and economical structural and technological solutions for steel poles of overhead power lines.

Keywords: overhead power line, support, tower, calculation model, actual work, joint work of structures and foundations.

Введение

Выдающийся профессор Н. С. Стрелецкий, основатель методики расчета стальных конструкций по предельным состояниям, в статье «К вопросу о значении рабочих методов в расчете конструкции (1960)» [1] предопределил грядущие перемены в инженерном проектировании: «... применение счетно-вычислительных машин уничтожит рабочие методы, поскольку трудоем-

кость точных расчетов будет изжита». В настоящее время наступила эра точного адресного или индивидуального проектирования строительных объектов, когда наличие базы для современных расчетов позволяет выполнять расчеты и проектирование конструкций с учетом дополнительных факторов действительной работы, которые ранее отсутствовали в нормативных документах (рабочих методах).

По п. 4.2 СП16.13330.2017 «Стальные конструкции» термин «действительная работа конструкций» отражает уточненные расчетные схемы и расчетные предпосылки, которые усовершенствуют основные расчетные модели, приведенные в действующих нормах, в целях обеспечения большей прочности, жесткости и надежности конструкций.

Исследование действительной работы промышленных зданий

Профессор Г. А. Шапиро в книге «Действительная работа стальных конструкций промышленных цехов» (1952): «Под термином «действительная схема сооружения» (ДР) понимается расчетная схема, которая выявляется в процессе исследования работы сооружения. Для отыскания такой схемы приходится вводить в расчет не учтенные ранее конструктивные элементы, учитывать осадку опор, пространственную работу сооружения в целом и его отдельных элементов, уточнять условную геометрическую схему и сечения элементов, принимать более точные значения нагрузок, их динамику и распределение» [2].

На основе опыта эксплуатации исследований стальных мостов, проводимых в Ленинградском инженерно-строительном институте в 1930–40-е годы (Н. Н. Аистов, В. К. Качурин, В. И. Крыжановский)[3], под руководством профессоров Н. С. Стрелецкого, С. А. Бернштейна [4], а позже Е. И. Беленя [5], были развернуты модельные и натурные испытания стальных каркасов. На базе проектного треста «Проектстальконструкция» в 1936–37 годах была организована испытательная станция по натурным испытаниям различных зданий и сооружений со стальным каркасом, прежде всего цехов черной металлургии с мостовыми кранами и их элементов: колонн, ферм, резервуаров... Сочетание проектирования, испытаний и научного анализа привело к наиболее точному пониманию действительной работы конструкций стальных каркасов и разработке расчетных схем, в наибольшей мере отвечающих их работе и обеспечивающих создание надежных, безопасных и оптимальных конструкций в результате проектирования. В докторской диссертации профессора Е. И. Беленя «Действительная работа и расчет попереч-

ных рам стальных каркасов одноэтажных производственных зданий» (1959) подчеркивается, что «проведенное исследование позволило выявить основные факторы, влияющие на распределение усилий и деформаций в рамах одноэтажных промышленных зданий, и дать приемлемые для практики проектирования методы расчета с учетом этих факторов. Важнейшим из этих факторов является деформативность основания фундаментов, а самым важным – пространственная работа, учет которой в наибольшей степени сближает расчетные результаты с действительной работой» [6].

Натурные испытания опор линий электропередачи

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.

В 1954–64 годах по договорам ЛИСИ с Ленинградским отделением института «Теплоэнергопроект (Энергосетьпроект)» и треста «Севзапэнергострой» в ЛИСИ кафедрой металлических конструкций и испытания сооружений (МКиИС) были выполнены десятки научно-исследовательских работ под руководством профессоров Н. Н. Аистова и В. А. Трулля с большим количеством натурных и модельных испытаний опор и их элементов как непосредственно на трассе ВЛ 110–500 кВ (рис. 1), так и в Механической лаборатории ЛИСИ.

Так, проведены натурные испытания типовых стальных опор свободностоящих и на оттяжках для ВЛ 220 кВ «Прибалтийская ГРЭС – Ленинград», ВЛ 400 (500) кВ «Бугульма – Златоуст» и т. п., а также – типовых сталежелезобетонных опор для ВЛ 110–330 кВ одноствоечных, 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. Кроме того, проводились испытания крупномасштабных моделей для оценки несущей способности призматических трех- и четырехгранных стоек на сварных и болтовых соединениях, исследование болтовых соединений и комбинированных сварных швов, обработка конструкций анкерных болтов и опорных плит башмаков в Механической лаборатории ЛИСИ.

Тематика исследований была связана с разработкой новых прогрессивных конструкций и представляла три основные темы: стальные свободстоящие решетчатые опоры болтовой сборки [7]; стальные и железобетонные опоры на оттяжках [8]; оценка несущей способности призматических стоек, составляющих порталные опоры, на сварных и болтовых соединениях элементов, обработка конструкций анкерных болтов и опорных плит башмаков. Например, по «Отчету ЛИСИ № 186а «Исследование действительной работы промежуточной стальной опоры на черно-болтовой монтажной сборке ВЛ 220 кВ «Прибалтийская ГРЭС – Ленинград» (1959)», выполнены натурные испытания опоры ПБГ-6 на нагруз-

ки аварийного и нормального режимов работы до разрушения опоры с измерением сдвигов в болтовых соединениях, напряжений в поясах и раскомах ствола, перемещений опоры и осадок-перемещений фундаментов, учет влияния монтажного стыка поясов и диафрагмы [8, 9].

Профессор В. А. Трульв в 1966 году успешно защитил диссертацию по теме «Исследование действительной работы конструкций опор воздушных линий электропередачи» на соискание ученой степени д. т. н., подготовленную по результатам большой личной и коллективной опытно-теоретической работы по исследованию и разработке новых конструктивных форм опор ВЛ 35–500 кВ [10]. Диссертация включала следующие разделы: организация и оценка результатов испытаний опор ВЛ на основе метода предельных состояний; работа опорных плит при отрицательных реакциях опор; местная устойчивость опор ВЛ; работа монтажных болтовых соединений; прочность некоторых сварных соединений заводской сварки.

В Заключении к диссертации Владимир Антонович пишет о перспективных задачах в развитии конструктивной формы, методов расчета,

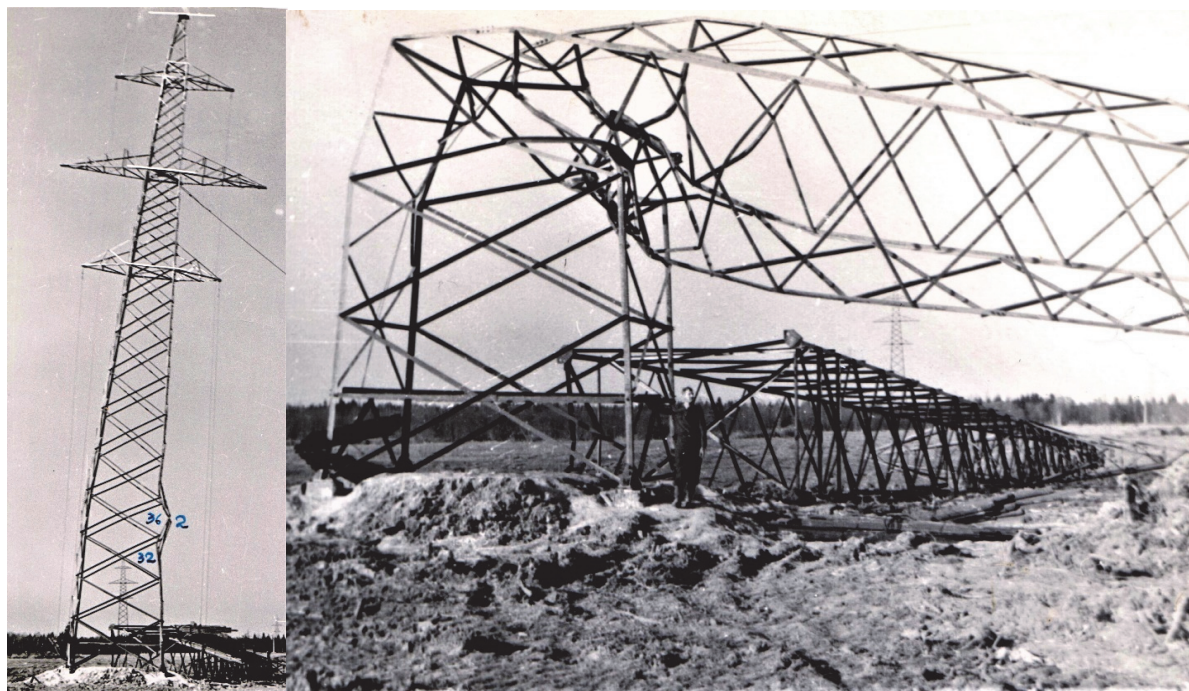


Рисунок 1. Потеря «местной» устойчивости сжатого пояса в 4-й панели и падение двухцепной промежуточной стальной опоры ПБГ-6 на черно-болтовой монтажной сборке ВЛ 220 кВ «Прибалтийская ГРЭС – Ленинград» (1959).

испытаний и проектирования ВЛ: необходимо принять для НИОКР новые задачи в связи с применением массовых стальных опор нового типа в виде свободностоящих башен и вантовых опор как легких пространственных конструкций с болтовыми соединениями без узловых фасонков, собираемых целиком на болтах с монтажными стыками поясов, с анкерными звеньями оттяжек, с оптимальными опорными плитами и заводскими сварными швами; исследовать влияние перемещений опорных узлов на конструкции новых опор, устанавливаемых на легкие железобетонные фундаменты и сваи.

Автор продолжил работу проф. В. А. Трулля по анализу действительной работы конструкций ВЛ под его руководством [11]. Наименее разработанной осталась тема «Исследование совместной работы конструкций и основания сооружений башенного типа», которая стала темой кандидатской диссертации аспиранта Н. А. Сенькина, успешно защищенной в декабре 1980 году [12, 13].

Так, в 1979 году в Ленинграде и области автором были выполнены натурные эксперименты на двух башнях: одноцепной анкерно-угловой опоры ВЛ 110 кВ «Волховского типа» высотой 12,5 м (с учетом тросостоек) и базой 4,1 м (рис. 2) и радиобашни высотой 41,0 м базой 7,5 м.

В июне 1980 года в Москве в Орехово-Борисово Центром электрических сетей ПО «Союзтехэнерго» («ОРГРЭС») при непосредственном участии автора проведены натурные испытания двухцепной анкерно-угловой опоры типа УМ-102 общей высотой 22,3 м и базой 6,5 м, которая эксплуатировалась с 1929 года на ВЛ 110 кВ «Кожухово – Пахра» (рис. 2).

Данные испытания статическими нагрузками в полевых условиях выполнены по заказу «Мосэнерго» с целью определения фактической прочности и пригодности опор к последующей нормальной эксплуатации при сроке службы 30 лет и более по причине аварии ВЛ 220 кВ в Подольских электрических сетях в 1978 году. При расчетной испытательной нагрузке 100 % горизонтальные перемещения сжатых фундаментов, замеренные при помощи прогибомеров, составили 8 мм вдоль нагрузки и 3 мм в перпендикулярной плоскости, соответственно выдергиваемых фундаментов – 11 мм и 17 мм, а вертикальные перемещения выдергиваемых фундаментов – 67 и 64 мм, а при нагрузке 110 % от расчетной

произошло их полное выдергивание из грунта. При нагрузке 105 % произошло разрушение сжатых, а потом растянутых раскосов нижней секции. На основании проведенных испытаний и незначительного коррозионного износа элементов (до 6 %) даны рекомендации о целесообразности дальнейшей эксплуатации линии. Результаты испытаний свидетельствуют о значительной деформативности фундаментов, кроме того, в связи с пространственной работой в нижней части опоры появляются значительные распорные усилия на выдергиваемые фундаменты, вызывающие нерасчетные большие боковые их перемещения из плоскости действия нагрузки.

Трест «ОРГРЭС» – ПО «Союзтехэнерго» с самого начала организации в 1933 году проводит научно-исследовательские и практические работы по обеспечению надежности и безопасности проектируемых и эксплуатируемых объектов электроэнергетики России [14–16]. Необходимо заметить, что регламентные испытания новых опор ВЛ разных классов напряжений проводятся на силовом полу ИЦ ОРГРЭС (Союзтехэнерго) с начала 1960-х годов, первым руководителем был Н. П. Астахов, затем основным руководителем был Яковлев Леонид Васильевич (1937–2007), при котором испытательный полигон в Хотьково и уровень научно-исследовательских работ в области действительной работы ВЛ получили наибольшее развитие. Его ученики Р. С. Каверина, Л. А. Дубинич, Н. А. Сенькин продолжили работу на полигоне [17–19].

Весьма важные работы по исследованию действительной работы конструкций ВЛ, проектированию и участию в испытаниях электросетевых конструкций и фундаментов проводились в Научно-исследовательской лаборатории конструкций электросетевого строительства (НИЛ-КЭС) Северо-Западного Отделения института «Энергосетьпроект» (Ленинград) под руководством к. т. н. К. П. Крюкова [20], к. т. н. А. И. Курносова, А. В. Горелова и сейчас – к. т. н. Л. И. Качановской и к. т. н. П. И. Романова [21]. Также натурные и модельные испытания оборудования и электросетевых конструкций проводились в НИИПТ в Ленинграде под руководством д.т.н. Н. Н. Тиходеева, в Ленинградском Политехническом институте под руководством члена-корреспондента АН, д. т. н., профессора Г. Н. Александрова и во ВНИИ Электроэнергетики (сейчас АО «НТЦ Россети ФСК ЕЭС») под руководством

а)



б)

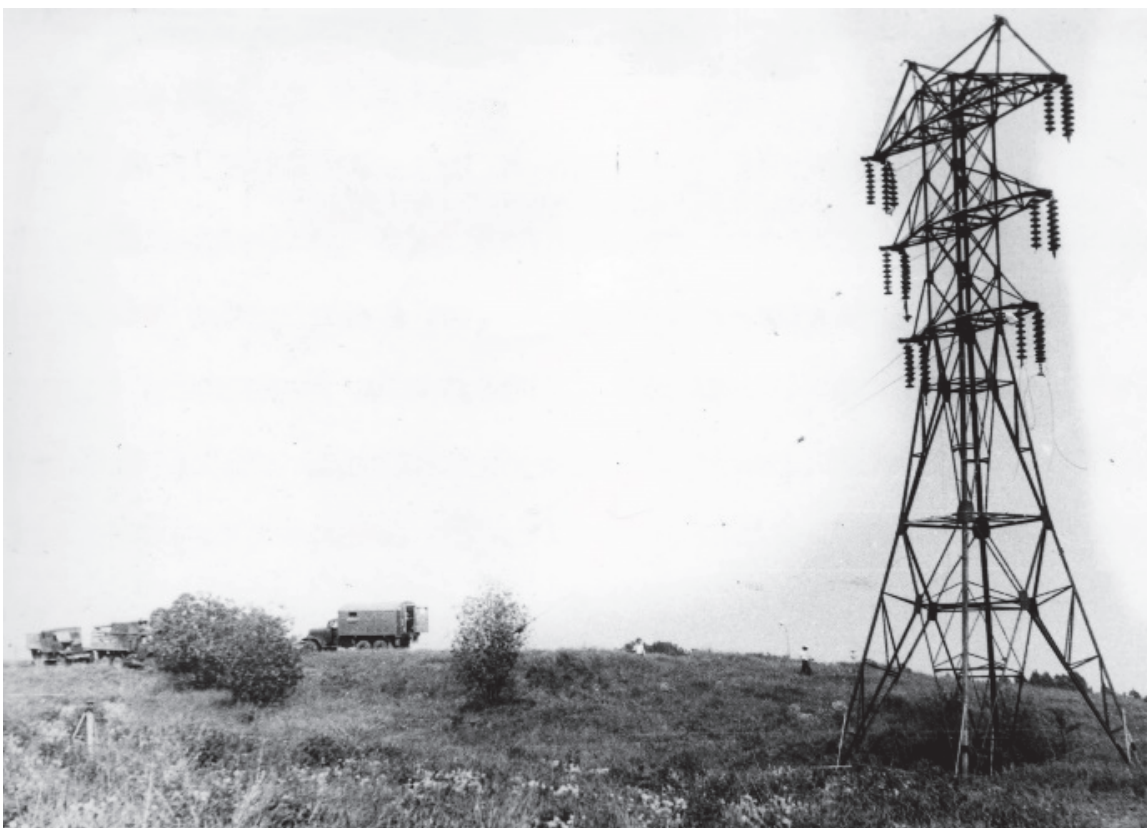


Рисунок 2. Натурные испытания свободностоящих решетчатых опор для ВЛ 110 кВ: а) промежуточной опоры «волховского типа» 110 кВ, эксплуатируемой с 1926 года (1979); б) анкерно-угловой опоры типа УМ-102, эксплуатируемой с 1929 года (1980).

к. т. н. С. В. Крылова и к. т. н. Л. В. Тимашовой [22], а также в ЗАО «Электросетьстройпроект» под руководством А. В. Тищенко (к. т. н. А. А. Виноградов, С. В. Рыжов и Ю. Л. Цветков).

Выдающимся организационно-техническим решением было открытие в 1997 году Экспериментального полигона при Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (ДОННАСА) для натурных испытаний конструкций воздушных линий электропередачи международного уровня [23]. Так 9 мая 1997 была успешно испытана первая опора для Египта высотой 68 м, затем успешно прошли испытания опоры для Сирии, Ирана, Ирака, Турции, Исландии, Китая, Казахстана и т. д. [24, 25]. На строительных кафедрах ДОННАСА и Луганского университета и в настоящее время выполняются работы по обследованию и действительной работе конструкций промышленных зданий и воздушных линий электропередачи.

Исследование действительной работы конструкций ВЛ 35 кВ и выше в СПБГАСУ

Из широкой тематики задач, относящихся к действительной работе конструкций, рассмотрим первое направление исследования электросетевой строительной конструкции (ЭСК), которая моделируется в виде стержневой пространственной системы с учетом уточнения работы материала, узлов и соединений элементов, динамических воздействий и взаимодействия с упругим грунтовым основанием (на первом этапе).

Первая задача в этом направлении посвящена исследованию качества установки фундаментов и сборки опор ВЛ 35 кВ и выше. В 1980-х годах автор, будучи аспирантом, выполнял натурные эксперименты, связанные с рихтовкой радиобашен или выправкой их положения относительно вертикальной оси [11–13]. Непосредственно при рихтовке создавались принудительные вертикальные перемещения отдельных узлов (башмаков), что обеспечивало нормативное положение радиобашен. Однако, как было измерено при помощи тензометров профессора Н. Н. Аистова, принудительное перемещение башмака вверх всего на 11...14 мм привело к дополнительным напряжениям, составляющим почти 50 % основных напряжений от расчетных нагрузок в сжатых элементах нижней секции, что представляет

значительную опасность для конструкции. Кроме того, было замечено, что при откручивании гаек анкерного болта надфундаментная конструкция радиобашни не возвращалась в исходное состояние к нулевой депланации и усилия в элементах при этом не изменялись.

При сдаче ВЛ в эксплуатацию оформляются исполнительные геодезические схемы на каждую опору, как ответственную конструкцию, в составе исполнительной документации, на которых указываются фактические отклонения стоек опор и фундаментов от проектных значений. При этом отклонения не должны превышать предельных значений по нормам СП 76.13330.2016 «Электротехнические устройства». Так, допуск на вертикальное отклонение отметок верха фундаментов – 20 мм, а на отклонение фактической оси от вертикали вдоль и поперек оси ВЛ – 1/200 высоты опоры. Принимается, что опорная плоскость условно соединяет опорные точки башни (плиты башмаков и наружные обрезы фундаментов, а депланация D определяется как выход одной опорной точки из плоскости трех других и вычисляется по следующей формуле [13]

$$D = Z_3 - (Z_4 + Z_2) + Z_1, \quad (1)$$

где $Z(i)$ – вертикальное перемещение (осадка) каждой i -ой из четырех опорных точек фундамента от проектной опорной плоскости по вертикали либо отметка.

Рассмотрена расчетная модель установленных фундаментов с 10 вариантами их отклонений по вертикали (осадок), приводящих к максимальным значениям депланации до 80 мм при нормативном допуске на отклонение – 20 мм. Парадокс данного факта при исследовании действительной работы заключается в отсутствии внутренних усилий в свободностоящей конструкции опоры от депланации опорной плоскости даже при значительных ее численных значениях. Вполне вероятно, что надфундаментная конструкция, особенно в болтовом исполнении, адаптируется под искажение опорной плоскости и приобретает искаженную конструкцию, в которой происходит релаксация дополнительных усилий в связи с подвижкой в болтовых узлах, а также в результате обратной подвижки фундаментов.

С использованием программного комплекса LIRA Soft10 выполнен расчет конструкции

промежуточной опоры ПЗ30н-1, как указанной расчетной модели – пространственной стержневой системы с жесткими узлами, имеющей искаженную конструкцию, на нагрузки основных режимов. Результаты расчета при максимально разрешенной депланации 80 мм показали, что усилия в конструкции превышают усилия в идеальной схеме (при нулевой депланации) в сжатом нижнем раскосе – на 2,24 %, в растянутом раскосе – на 0,62 %, в сжатом нижнем поясе – на 0,04 %, в растянутом раскосе – на 0,20 %. Также выполнена оценка влияния отклонений от вертикальной оси опоры ПЗ30н-1 башенного типа (высота 38,0 м) на ее напряженно-деформированное состояние (НДС). Так, при загрузении расчетными нагрузками и предельном отклонении 190 мм, приводящем к искажению расчетной схемы, в конструкции возникают дополнительные усилия: усилия в сжатом нижнем раскосе увеличиваются на 1,67 %, в растянутом раскосе – на 4,27 %, в сжатом нижнем поясе – на 0,44 %, в растянутом раскосе – на 0,02 %. Следовательно, в расчетах конструкции при проектировании можно не учитывать изменения, связанные с искажением расчетной схемы от депланации опорной плоскости, а также от отклонения вершины от вертикальной оси, если указанные перемещения не превышают предельных значений по нормам СП 76.13330.2016.

Построен график фактических вертикальных отклонений верха опоры ПЗ30н-1 (средние значения) d_{cp} , приведенных в исполнительной документации для ответственных конструкций, в

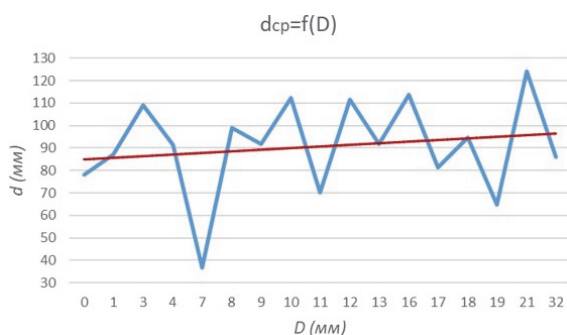


Рисунок 3. Действительный график вертикальных отклонений верха опоры ПЗ30н-1 (средние значения) в зависимости от депланации опорной плоскости D , построенный в результате анализа почти сотни опор одного типа.

зависимости от фактической депланации D с аппроксимирующей прямой (рис. 3), анализ которого показывает на отсутствие явной зависимости между ними. Начальная часть графика показывает наличие отклонений от вертикали даже при отсутствии депланации D , например, при $D = 0$ отклонение $d = 80$ мм, а при пренебрежимо малой депланации $D = 3$ мм – $d = 110$ мм. Таким образом, объяснение таким отклонениям только одно: они являются результатом неточной сборки конструкции, несмотря на выполнение сборочных работ в наземных условиях.

Вторая задача в вышеуказанном направлении действительной работы стальных конструкций ВЛ посвящена исследованию опоры как стержневой пространственной системы с уточнением схемы прикрепления элементов решетки к поясам (три варианта) посредством жесткого сопряжения, приставного шарнира и врезного шарнира.

Для сравнительного анализа приняты результаты экспериментов, проведенных в 1955 году в Ленинграде сотрудниками кафедры МКиИС (бригада ЛИСИ) под руководством заведующего кафедрой профессора Н. Н. Аистова и доцента В. А. Труля при согласовании с начальником Сектора электросетей «ЛЕНТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТ» К. П. Крюкова по «Программе испытаний элементов стальных опор линий электропередачи Куйбышевской ГЭС от 27.01.1954 г.» (Отчет Научно-исследовательского сектора ЛИСИ «Исследование работы решетчатых стержневой опор линий электропередачи», Л.: 1955. – 186 с.). Испытаниям было подвергнуто два основных типа экспериментальных образцов, изготовленных из одиночных уголков: призматические с параллельными поясами (5 образцов, центральное и внецентренное сжатие на 100-тонной машине «Вердер») и пирамидальные (5 образцов, крепление к Г-образной раме, положение горизонтальное, нагрузка изгибающая, поперечная, имитирующая тяжение проводов и тросов и ветер на них).

Для второй задачи использованы результаты испытаний образца (модель М-13) общей высотой (длиной) 2,5 м, шириной 0,65 м – в верхней части и 0,665 м – в нижней с центрированием раскосов на ось пояса и загрузением вертикальной нагрузкой на консоли до разрушения раскоса 7–8 при испытательной нагрузке $P = 5,473$ тс (рис. 4).

Таблица 1. Сравнение усилий в элементах пирамидального образца М-13 для предпоследней стадии загрузки испытательной нагрузкой $P = 4,667$ тс

Испытательная нагрузка	Тип сопряжения узлов	Тип расчёта	Усилия в элементах с тензодатчиками (рис. 4), тс								
			2-9	2-11	11-10	10-9	11-12	1-12	1-10	1-8	8-9
$P = 4,667$ тс	Жесткий узел	Теор.	6,57	8,12	-1,6	1,7	1,45	-8,77	-7,39	-5,62	-1,86
		Эксп.	6,61	8,55	-1,62	1,8	1,4	-8,88	-7,45	-5,92	-1,8
		%%	0,61	5,03	1,23	5,56	-3,57	1,24	0,81	5,07	-3,33
	Приставной шарнир	Теор.	6,58	8,13	-1,61	1,71	1,48	-8,78	-7,4	-5,63	-1,87
		Эксп.	6,61	8,55	-1,62	1,8	1,4	-8,88	-7,45	-5,92	-1,8
		%%	0,45	4,91	0,62	5,00	-5,71	1,13	0,67	4,90	-3,89
	Врезной шарнир	Теор.	6,59	8,14	-1,59	1,71	1,46	-8,77	-7,41	-5,64	-1,87
		Эксп.	6,61	8,55	-1,62	1,8	1,4	-8,88	-7,45	-5,92	-1,8
		%%	0,30	4,80	1,85	5,00	-4,29	1,24	0,54	4,73	-3,89

Примечание: в графе Тип расчета: Теор. – численные значения, полученные в результате расчета; Эксп. – усилия, полученные бригадой ЛИСИ в 1955 году.

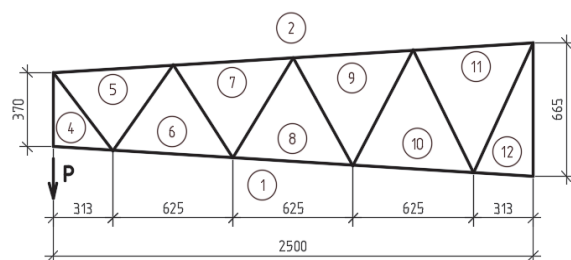


Рисунок 4. Пирамидальный образец (крупномасштабная модель М-13): схема боковой грани с элементами и нагрузкой.

Из сравнения результатов табл. 1 следует, что разница в значениях усилий, подсчитанных в Программном комплексе Robot Structural Analysis (Теор.) и полученных в эксперименте (Эксп.), незначительна. Впереди вычисление и определение моментных составляющих, коэффициентов приведения длины и расчеты на устойчивость сжатых элементов с учетом эксцентриситетов.

Третья задача в вышеуказанном направлении действительной работы стальных конструкций ВЛ посвящена исследованию опоры как стержневой пространственной системы с учетом совместной работы конструкций и основания, когда система «фундаменты и грунтовое основание» заменяется стержневым аналогом. Параметры стержневого аналога выражаются через дефор-

мационные характеристики грунтового основания и геометрию фундаментов [12, 26]. В табл. 2 для анкерно-угловой опоры нового типа УЗ30Н-1+9,0 с подставкой высотой 9,0 м (рис. 5) рассматриваются разные варианты присоединения поясов надфундаментной конструкции к фундаменту, а также расчетные схемы, имитирующие деформируемое грунтовое основание.

Из анализа результатов табл. 2 следует, что схема прикрепления опорных раскосов к фундаментам играет значительную роль в перераспределении усилий как на конструкцию, так и на фундаменты. Так, конструктивное решение жесткого сопряжения по сравнению с шарнирным приводит к увеличению усилия в нижней панели сжатого пояса подставки на 6,5 %, а в опорном раскосе – на 20,6 %. Расчет конструкции с учетом совместной работы с основаниями даже с плотными грунтами (модуль деформаций $E_{gr} = 100$ МПа) понижает значения усилий в нижнем поясе на 16,2 %, а в опорном раскосе – понижает на 14,3 %. Однако с увеличением жесткости основания проявляется тенденция к выравниванию указанных усилий сначала при шарнирном опирании, а затем – при жестком. Впереди разработка расчетных схем и расчетных методик, например, для анкерно-угловых опор с учетом длительных деформаций ползучести грунтов основания.

Таблица 2. Сравнение усилий в элементах пирамидального образца М-13 для предпоследней стадии загрузки испытательной нагрузкой $P = 4,667$ тс

№ участка	№ элемента	Варианты расчетных схем подставки П1-9,0 опоры У330н-1+9,0 и усилия в ее элементах (тс)				
		Присоединение пояса к фундаменту		Упругое основание, Жесткость стержневого аналога как функция модуля деформации грунта $E_{гр}$		
		Жесткое	Шарнирное	$E_{гр} = 10$ МПа	$E_{гр} = 100$ МПа	$E_{гр} = 200$ МПа
		Макс / Мин	Макс / Мин	Макс / Мин	Макс / Мин	Макс / Мин
Подставка П1-9,0	301/302	153,84/-73,14	143,88/-60,62	95,41/-33,67	120,61/-51,96	127,86/-54,291
	303/304	15,02/-6,174	15,482/-6,215	9,046/-3,137	12,384/-5,690	13,32/-5,859
	305/306	1,156/-0,531	4,381/-0,699	1,508/-0,502	3,275/-0,589	3,603/-0,615
	307/308	1,055/-0,293	0,965/-0,252	0,671/-0,169	0,846/-0,231	0,880/-0,237
	309/310	1,403/-0,679	1,286/-0,665	0,822/-0,370	1,113/-0,566	1,166/-0,595
	311/312	2,553/-0,730	2,339/-0,633	1,656/-0,294	2,009/-0,523	2,113/-0,559
	313	1,173/-0,302	1,605/-0,330	0,571/-0,207	1,248/-0,329	1,366/-0,337
	314/315	17,604/-0,302	16,881/-0,330	10,97/-0,21	14,797/-0,330	15,465/-0,337
	316/317	1,256/-0,571	1,178/-0,590	0,870/-0,319	1,058/-0,501	1,097/-0,526
	318/319	1,509/-0,423	1,352/-0,404	0,984/-0,297	1,189/-0,380	1,240/-0,387
	320/321	1,471/-0,679	1,344/-0,576	0,872/-0,352	1,155/-0,506	1,212/-0,523
	322/323	2,678/-0,914	2,511/-0,814	1,731/-0,418	2,237/-0,682	2,327/-0,717
	324/325	5,825/-2,052	5,876/-2,403	3,488/-0,804	4,253/-1,545	4,463/-1,729
	326/327	0,139/0,100	0,139/0,100	0,142/0,096	0,139/0,099	0,138/0,100

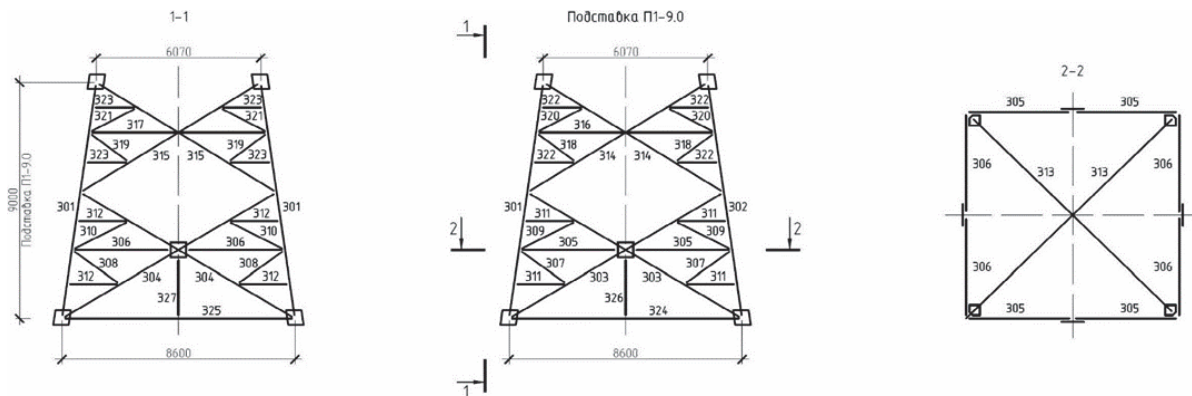


Рисунок 5. Монтажные схемы подставки П1-9,0 опоры У330н-1-9,0 с обозначением элементов.

Выводы

1. Выполнен анализ научных работ по исследованию действительной работы стальных конструкций промышленных зданий и электросетевых конструкций.
2. Рассмотрены результаты испытаний конструкций воздушных линий электропередачи, посредством которых выявляются существенные факты, свидетельствующие о действительной работе электросетевых конструкций.
3. Приведены результаты проявления факторов действительной работы конструкций стальных опор линий электропередачи, исследование которых может привести к пониманию данных процессов, а при проектировании обеспечить разработку более надежных и экономичных конструктивно-технологических решений.

Литература

1. Стрелецкий, Н. С. Избранные труды / Н. С. Стрелецкий ; под редакцией Е. И. Беленя. – Москва : Стройиздат, 1975. – 422 с. – Текст : непосредственный.
2. Шапиро, Г. А. Действительная работа стальных конструкций промышленных цехов / Г. А. Шапиро. – Москва-Ленинград : Госстройиздат, 1952. – 288 с. – Текст : непосредственный.
3. Качурин, В. К. Обследование мостов. Руководство для транспортных вузов / В. К. Качурин, В. И. Крыжановский. – Москва-Ленинград : ОГИЗ-Гострансиздат, 1932. – 172 с. – Текст : непосредственный.
4. Исследование действительной работы стальных конструкций промышленных цехов : сборник статей под редакцией профессора С. А. Бернштейна. – Москва-Ленинград : Госстройиздат, 1938. – 196 с. – Текст : непосредственный.
5. Беленя, Е. И. Экспериментальное исследование предельных состояний комбинированных стальных рам при статической нагрузке / Е. И. Беленя. – Текст : непосредственный // Доклады межвузовской конференции по испытаниям и сооружениям ; ответственный редактор Аистов Н. Н. ; редактор Гастев В. А. – Ленинград : ЛИСИ, 1958. – С. 120–129.
6. Беленя, Е. И. Действительная работа и расчет поперечных рам стальных каркасов одноэтажных производственных зданий : специальность 05.00.00 «Техника» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Беленя Евгений Иванович ; Московский инженерно-строительный институт им. В. В. Куйбышева. – Москва, 1959. – 26 с. – Текст : непосредственный.
7. Труль, В. А. Исследование работы опытной тростоечной опоры для линии электропередачи мощностью 400 кВ / В. А. Труль. – Текст : непосредственный // Доклады XV научной конференции. – Ленинград : ЛИСИ, 1957. – С. 46–48.
8. Труль, В. А. Экспериментальное исследование работы стальной опоры линии электропередачи мощностью 220 кВ / В. А. Труль. – Текст : непосредственный // Инженерные конструкции : доклады XIX научной конференции. – Ленинград : ЛИСИ, 1961. – С. 31–33.
9. Труль, В. А. Оценка результатов испытаний опор линий электропередачи на основе метода предельных состояний / В. А. Труль. – Текст : непосредственный // Металлические конструкции и испытание сооружений : сборник трудов. – 1963. – Выпуск 40. – С. 114–126.
10. Труль, В. А. Исследование действительной работы конструкций опор воздушных линий электропередачи : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Труль Владимир Антонович ; Ленинградский инженерно-строительный институт. – Ленинград, 1966. – 43 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Streletsky, N. S. ; edited by Ye. I. Belenya. Selected Works. – Moscow : Stroyizdat, 1975. – 422 p. – Text : direct. (in Russian)
2. Shapiro, G. A. The actual work of steel structures of industrial workshops. – Moscow-Leningrad : Gosstroyizdat, 1952. – 288 p. – Text : direct. (in Russian)
3. Kachurin, V. K.; Kryzhanovsky, V. I. Bridge surveys. Guidelines for transport universities. – Moscow-Leningrad : ASBMPH-Gostransizdat, 1932. – 172 p. – Text : direct. (in Russian)
4. Investigation of the actual work of steel structures in industrial workshops : a collection of articles edited by professor S. A. Bernshteyn. – Moscow-Leningrad : Gosstroyizdat, 1938. – 196 p. – Text : direct. (in Russian)
5. Belenya, Ye. I. Experimental study of limit states of combined steel frames under static load. – Text : direct. – In: *Reports of the interuniversity conference on testing and facilities* ; executive editor N.N. Aistov; editor V. A. Gastev. – Leningrad : LECI, 1958. – P. 120–129. (in Russian)
6. Belenya, Ye. I. Actual work and calculation of transverse frames of steel frames of one-story industrial buildings : abstract Thesis of DSc in Engineering ; Moscow Civil Engineering Institute named after V. V. Kuibyshev. – Moscow, 1959. – 26 p. – Text : direct. (in Russian)
7. Trull, V. A. Investigation of the operation of an experimental cable support for a power transmission line with a capacity of 400 kV. – Text : direct. – In: *Reports of the XV scientific conference*. – Leningrad : LECI, 1957. – P. 46–48. (in Russian)
8. Trull, V. A. Experimental study of the operation of a steel pole of a 220 kV power transmission line. – Text : direct. – In: *Engineering structures : reports of the XIX scientific conference*. – Leningrad : LECI, 1961. – P. 31–33. (in Russian)
9. Trull, V. A. Evaluation of test results of transmission line supports based on the limit state method. – Text : direct. – In: *Metal structures and testing of structures : a collection of works*. – 1963. – Issue 40. – P. 114–126. (in Russian)
10. Trull, V. A. Study of the actual operation of overhead power transmission line tower structures : abstract Thesis of DSc in Engineering ; Leningrad Civil Engineering Institute. – Leningrad, 1966. – 43 p. – Text : direct. (in Russian)
11. Chernykh, A. G.; Rybnoy, Ye. I.; Senkin, N. A. [et. al.]. Research of the Department of MS and TS of LECI in the field of structures of high-rise buildings and structures. – Text : direct. – In: *Investigation of the operation of metal and wooden structures: assessment of service life taking into account operating conditions : monograph*. – St. Petersburg : St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2021. – P. 8–52. (in Russian)
12. Senkin, N. A. Study of the joint work of structures and foundations of tower-type structures : Thesis

11. Исследования кафедры МКиИС ЛИСИ в области конструкций высотных зданий и сооружений / А. Г. Черных, Е. И. Рыбнов, Н. А. Сенькин [и др.]. – Текст : непосредственный // Исследования работы металлических и деревянных конструкций: оценка срока службы с учетом условий эксплуатации : монография. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2021. – С. 8–52.
12. Сенькин, Н. А. Исследование совместной работы конструкций и основания сооружений башенного типа : специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сенькин Николай Александрович ; Ленинградский инженерно-строительный институт. – Ленинград, 1980. – 142 с. – Текст : непосредственный.
13. Труль, В. А. Исследование влияния перемещений фундаментов на усилия в стержнях сооружений башенного типа / В. А. Труль, Н. А. Сенькин. – Текст : непосредственный // Металлические конструкции и испытания сооружений : межвузовский тематический сборник трудов. – Ленинград : ЛИСИ, 1980. – С. 25–32.
14. Барг, И. Г. Воздушные линии электропередачи: вопросы эксплуатации и надежности / И. Г. Барг, В. И. Эдельман. – Москва : Энергоатомиздат, 1985. – 248 с. – Текст : непосредственный.
15. РД 34.20.504-94. Типовая инструкция по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35–800 кВ : утверждена Департаментом электрических сетей РАО «ЕЭС России» 19 сентября 1994 года : введена в действие 1996-01-01 / разработчики В. В. Алексеев, А. Д. Герасимов (АО «Фирма ОРГРЭС»). – Москва : СПО ОРГРЭС, 1994. – 120 с. – Текст : непосредственный.
16. Методические указания по оценке технического состояния воздушных линий электропередачи напряжением 35–750 кВ и их элементов / А. В. Демин, В. В. Алексеев, В. М. Арсеньев [и др.]. – Москва : СПО ОРГРЭС, 1996. – 36 с. – Текст : непосредственный.
17. Астахов, Н. П. Основные итоги работы ОРГРЭС в области разработки механической части линий электропередачи 400–500 кВ / Н. П. Астахов. – Текст : непосредственный // Наладочные и экспериментальные работы ОРГРЭС. – 1958. – Выпуск XV. – С. 43–62.
18. Яковлев, Л. В. Испытания опор линий высокого напряжения в различных режимах воздействия нагрузок / Л. В. Яковлев. – Текст : непосредственный // Электрические станции. – 1981. – № 11. – С. 47–51.
19. Яковлев, Л. В. Комплекс работ и предложений по повышению надежности ВЛ на стадии проектирования и эксплуатации / Л. В. Яковлев, Р. С. Каверина, Л. А. Дубнич. – Текст : непосредственный // Линии электропередачи 2008: проектирование, строительство, опыт эксплуатации и научно-технический прогресс : сборник трудов of Ph. D. in Engineering ; Leningrad Civil Engineering Institute. – Leningrad, 1980. – 142 p. – Text : direct. (in Russian)
13. Trull, V. A.; Senkin, N. A. Investigation of the influence of foundation displacements on the forces in the bars of tower-type structures. – Text : direct. – In: *Metal structures and testing of structures : interuniversity thematic collection of works*. – Leningrad : LECI, 1980. – P. 25–32. (in Russian)
14. Barg, I. G.; Edelman, V. I. Overhead Power Lines: operational and reliability issues. – Moscow : Energoatomizdat, 1985. – 248 p. – Text : direct. (in Russian)
15. RD 34.20.504-94. Typical operating instructions for overhead power lines with a voltage of 35–800 kV. – Moscow : SPO ORGRES, 1994. – 120 p. – Text : direct. (in Russian)
16. Demin, A. V.; Alekseyev, V. V.; Arsenyev, V. M. [et. al.]. Guidelines for assessing the technical condition of overhead power lines with a voltage of 35–750 kV and their elements. – Moscow : SPO ORGRES, 1996. – 36 p. – Text : direct. (in Russian)
17. Astakhov, N. P. The main results of the work of ORGRES in the field of development of the mechanical part of 400–500 kV transmission lines. – Text : direct. – In: *Adjustment and experimental work of ORGRES*. – 1958. – Issue XV. – P. 43–62. (in Russian)
18. Yakovlev, L. V. Testing of high-voltage line poles in various modes of load exposure. – Text : direct. – In: *Power stations*. – 1981. – № 11. – P. 47–51. (in Russian)
19. Yakovlev, L. V.; Kaverina, R. S.; Dubnich, L. A. A set of works and proposals to improve the reliability of overhead lines at the design and operation stage. – Text : direct. – In: *Transmission lines 2008: design, construction, operating experience and scientific and technological progress : proceedings of the III Russian scientific and practical conference with international participation* ; edited by Yu. A. Lavrov. – Novosibirsk : [S. n.], 2008. – P. 28–49. (in Russian)
20. Kryukov, K. P. Fundamentals of calculation and design of transmission line supports: report for the degree of candidate of technical sciences. – Leningrad : LPI, 1970. – 39 p. – Text : direct. (in Russian)
21. Romanov, P. I.; Kachanovskaya, L. I. Assessment of the reliability of metal poles for power transmission lines, taking into account corrosion losses. – Text : direct. – In: *Progressive solutions in power grid construction: a collection of scientific papers : dedicated to the memory of A. I. Kurnosov*. – Moscow : Energosetproyekt, 1988. – P. 134–145. (in Russian)
22. Krylov, S. V.; Timashova, L. V. Inspection of the technical condition of the overhead line EHV, methodological principles and analysis of the results in order to assess the residual operational life of the overhead line. – Text : direct. – In: *Problems of the mechanics of overhead lines, climatic conditions, loads and effects, vibrations of wires and methods for their limitation : materials of the 2nd scientific and technical seminar*. – Moscow : All-Union Scientific Research

- III Российской с международным участием научно-практической конференция (2–6 июня 2008 г.); под редакцией Ю. А. Лаврова. – Новосибирск : [Б. и.], 2008. – С. 28–49.
20. Крюков, К. П. Основы расчета и конструирования опор линий электропередачи : доклад на соискание ученой степени кандидата технических наук / К. П. Крюков. – Ленинград : ЛПИ, 1970. – 39 с. – Текст : непосредственный.
 21. Романов, П. И. Оценка надежности металлических опор линий электропередачи с учетом коррозионных потерь / П. И. Романов, Л. И. Качановская. – Текст : непосредственный // Прогрессивные решения в электросетевом строительстве : сборник научных трудов : посвящается памяти А. И. Курносова. – Москва : Энергосетьпроект, 1988. – С. 134–145.
 22. Крылов, С. В. Обследование технического состояния ВЛ СВН, методические принципы и анализ результатов с целью оценки остаточного эксплуатационного ресурса ВЛ / С. В. Крылов, Л. В. Тимашова. – Текст : непосредственный // Проблемы механики ВЛ, климатические условия, нагрузки и воздействия, колебания проводов и методы их ограничения : материалы 2-го научно-технического семинара (15–20 февраля, 2004 г.). – Москва : ВНИИЭ, 2004. – С. 1–20.
 23. Полигон испытаний опор линий электропередачи и башенных сооружений ДонНАСА / И. М. Гаранжа, Е. В. Горохов, Е. В. Шевченко [и др.]. – Текст : непосредственный // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 7 (34). – С. 85–98.
 24. Повышение надежности и долговечности электросетевых конструкций : монография / Е. В. Горохов, С. Н. Шаповалов, Е. И. Удод [и др.] ; под редакцией Е. В. Горохова. – Киев : Техника, 1997. – 284 с. – Текст : непосредственный.
 25. Шевченко, Е. В. Совершенствование металлических конструкций опор воздушных линий электропередачи / Е. В. Шевченко. – 2-е изд. – Макеевка : ДонНАСА, 1999. – 169 с. – Текст : непосредственный.
 26. Сенькин, Н. А. Учет совместной работы конструкций и основания при проектировании стальных опор линий электропередачи / Н. А. Сенькин. – Текст : непосредственный // Взаимодействие оснований и сооружений. Подземные сооружения и подпорные стены : труды межданаородной конференции по геотехнике ТК-207 ISSMGE (16–18 июня 2014 г.). – Том 2. – Санкт-Петербург : [Б. и.], 2014. – С. 93–100.
 - Institute of Electric Power Industry, 2004. – P. 1–20. (in Russian)
 23. Garanzha, I. M.; Gorokhov, Ye. V.; Shevchenko, Ye. V. [et. al.]. Test site for transmission line supports and tower structures DNACEA. – Text : direct. – In: *Construction of unique buildings and structures*. – 2015. – № 7 (34). – P. 85–98. (in Russian)
 24. Gorokhov, Ye. V.; Shapovalov, S. N.; Udod, Ye. I. [et. al.]. Improving the reliability and durability of electrical grid structures : monograph; edited by Ye. V. Gorokhov. – Kyiv : Tekhnika, 1997. – 284 p. – Text : direct. (in Russian)
 25. Shevchenko, Ye. V. Improvement of metal structures of overhead transmission line supports. – 2-nd edition. – Makeevka : DSACEA, 1999. – 169 p. – Text : direct. (in Russian)
 26. Senkin, N. A. Accounting for the joint work of structures and foundations in the design of steel poles for power transmission lines. – Text : direct. – In: *Interaction of foundations and structures. Underground structures and retaining walls : proceedings of the international conference on geotechnics TK-207 ISSMGE*. – Volume 2. – St. Petersburg : [S. n.], 2014. – P. 93–100. (in Russian)

Сенькин Николай Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических и деревянных конструкций ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». Научные интересы: расчет и проектирование пространственных металлических конструкций.

Белякова Татьяна Евгеньевна – магистрант ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». Научные интересы: изучение и проектирование эффективных балочных конструкций.

Мальчиков Дмитрий Альбертович – магистрант ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». Научные интересы: изучение и проектирование структурных покрытий.

Васильев Валерий Сергеевич – магистрант ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». Научные интересы: изучение и проектирование эффективных балочных конструкций.

Сенькін Микола Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих та дерев'яних конструкцій ФДБОУ ВО «Санкт-Петербурзький державний архітектурно-будівельний університет». Наукові інтереси: розрахунок та проектування просторових металевих конструкцій.

Белякова Тетяна Євгенівна – магістрант ФДБОУ ВО «Санкт-Петербурзький державний архітектурно-будівельний університет». Наукові інтереси: вивчення та проектування ефективних балкових конструкцій.

Мальчиков Дмитро Альбертович – магістрант ФДБОУ ВО «Санкт-Петербурзький державний архітектурно-будівельний університет». Наукові інтереси: вивчення та проектування структурних покриттів.

Васильєв Валерій Сергійович – магістрант ФДБОУ ВО «Санкт-Петербурзький державний архітектурно-будівельний університет». Наукові інтереси: вивчення та проектування ефективних балкових конструкцій.

Senkin Nikolay – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Metal and Wooden Structures Department, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Scientific interests: calculation and design of spatial metal structures.

Belyakova Tatyana – Master's student, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Scientific interests: study and design of efficient beam structures.

Malchikov Dmitry – Master's student, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Scientific interests: study and design of structural coatings.

Vasilyev Valery – Master's student, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Scientific interests: study and design of efficient beam structures.