

В печать
22.05.2023



На правах рукописи



Оленич Елена Николаевна

**НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ДЫМОВЫХ ТРУБ НА ОТТЯЖКАХ С
УЧЁТОМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Макеевка – 2023

Работа выполнена на кафедре металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка.

Научный руководитель: **Губанов Вадим Викторович**, доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», профессор кафедры металлических конструкций и сооружений

Официальные оппоненты: **Давиденко Александр Иванович**, доктор технических наук, профессор ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный аграрный университет», профессор кафедры проектирования сельскохозяйственных объектов

Голиков Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент Института архитектуры и строительства ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», доцент кафедры строительных конструкций, оснований и надежности сооружений

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь

Защита состоится «21» сентября 2023 г., в 13:00 часов на заседании диссертационного совета 02.2.001.02 при ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» по адресу: 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, зал заседаний ученого совета. Тел. факс: +7(856) 343-7033, e-mail:d01.006.02@donnasa.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» по адресу: 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2 (<http://donnasa.ru>).

Автореферат разослан «__» _____ 2023 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совет
02.2.001.02 (93.0.000.06)

Лахтарина Сергей Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Актуальность темы. Стальные дымовые трубы относятся к специальным высотным сооружениям, широко применяются на котельных промышленных предприятиях и объектах энергетики для создания необходимой тяги и отвода продуктов сгорания. Дымовые трубы работают в сложных условиях перепадов температур, давления, влажности, агрессивного воздействия дымовых газов.

Особенностью дымовых труб на оттяжках является наличие предварительно-напряженных оттяжек, при которых расчетная схема представляет собой консольный сжато-изогнутый стержень с упруго-податливыми опорам в лацменных узлах и жестко заземленного в основании.

В процессе эксплуатации в конструкциях дымовых труб появляются повреждения вследствие агрессивного атмосферного и техногенного воздействия окружающей среды. К таким повреждениям относятся коррозионный износ ствола и элементов узлов, крен ствола, обрыв оттяжек и ослабление предварительного натяжения. Наличие повреждений приводит к повышению уровня действующих усилий и напряжений и, как следствие, к резкому снижению несущей способности и ускоренному выходу сооружения из работы.

В нормативных документах и справочной литературе отсутствует достаточное количество сведений, в которых бы освещались особенности дымовых труб на оттяжках, содержались систематизированные данные и результаты опыта эксплуатации, необходимые для учета действительной работы этих сооружений. На данный момент недостаточно изучено влияние разных типов повреждений на напряженно-деформированное состояние дымовых труб на оттяжках. Учитывая большое количество дымовых труб на оттяжках, находящихся в эксплуатации, исследования в данной области позволят сформировать ряд мероприятий по техническому обслуживанию, продлению срока службы данных сооружений и повышению качества проектирования.

Связь работы с научными программами, планами, темами.

Диссертационная работа выполнена в рамках кафедральных научно-исследовательских тематик:

– К-2-08-16 «Современные подходы к формообразованию и обеспечению надежности строительных металлоконструкций на основе использования новых информационных технологий в процессе проектирования, изготовления, монтажа и эксплуатации» (2016-2020гг., гос. рег. №0117 D 000263);

– К-2-08-21 «Разработка методов формообразования, расчета и обеспечения надежности зданий и сооружений с металлическим каркасом на основе выполнения численных и экспериментальных исследований» (2021-2025гг., гос. рег. №0121 D 000082)

Степень разработанности темы.

Значительный вклад в развитие методов расчета цилиндрических оболочек внесли авторы В.И. Моссаковский, А.В. Сеченков, В.Г. Выборнов,

В.В. Кабанов, В.М. Даревский, Э.И. Григолюк, А.С. Вольмира, J.C. Nagtegaal и др. Работы А.С. Вольмира Ю.Н. Бердникова по исследованию устойчивости цилиндрических оболочек при изгибе опираются на классическое решение линейной задачи потери устойчивости.

Особенности конструктивных решений, методы расчета нагрузок, методы проектирования и эксплуатации дымовых труб посвящены работы М.Б. Солодаря, В.Г. Сатьянова, Ф.П. Дужих, А.М. Ельшина, Р.И. Кинаша. Примеры аналитического расчёта идеальных оболочек металлических дымовых труб с учётом специфики действия ветрового давления приводятся в трудах Е.Н. Лессига, М.Б. Солодаря, W. Schneider, А.К. Escoe. Большой вклад в исследование аэродинамических характеристик ветрового потока для башен с вытяжными трубами внесли авторы А.В. Атаманчук, Д.Д. Чернышев, Р.И. Кинаш и др. Совершенствованные методики расчета металлических дымовых труб были рассмотрены в работах В.В. Губанова, А.В. Голикова, А.Н. Кульчицкого. В работах А.В. Голикова приведены методики расчёта на прочность узла сопряжения цилиндрической и конической части, узла примыкания газохода дымовых труб. В трудах А.Н. Кульчицкого приведены методики расчета устойчивости оболочек дымовых труб с учетом геометрических несовершенств. Расчетам, проектированию и обслуживанию дымовых труб посвящены конференции и нормы Международной организации промышленных дымовых труб (CICIND).

Общие принципы обслуживания и эксплуатации строительных конструкций рассмотрены в работах М.М. Сахновского, А.И. Лантух-Лященко, А.Г. Ройтмана, А.М. Югова, В.В. Губанова, Ю.М. Ярового, В.А. Банах и др. В этих работах используются две системы технического обслуживания: планово-предупредительные ремонты и ремонты по результатам обследования.

Обзор исследований показывает, что за пределами имеющихся исследований оказались вопросы изменения напряженно-деформированного состояния дымовых труб на оттяжках в процессе эксплуатации.

Цель исследования: уточнение несущей способности стальных дымовых труб на оттяжках с учетом процессов износа и технического обслуживания.

Задачи исследования:

- анализ методов расчета, проектирования и эксплуатации дымовых труб;
- определение количественных и качественных параметров процессов износа дымовых труб;
- исследование влияния повреждений лацменного узла на несущую способность дымовых труб с оттяжками;
- разработка эффективных методов технического обслуживания с учетом их влияния на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций.

Объект исследования – стальные дымовые трубы на оттяжках для отвода дымовых газов.

Предмет исследования – изменение напряженно-деформированного состояния дымовых труб на оттяжках в условиях износа и восстановления.

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

- анализ результата натурных исследований дымовых труб с оттяжками показал, что основными повреждениями, влияющими на НДС, являются общий коррозионный износ оболочки до 50%, локальный износ лацменного узла до 90%, крен трубы до 1/60 высоты ствола; провисание и обрыв оттяжек;

- уставлено, что износ в лацменных узлах дымовых труб, который состоит в коррозионном износе до 50% сечения кольцевых ребер, приводит к увеличению в них приведенных напряжений в 2 – 2,2 раза. Коррозионный износ до 50% стенки в уровне лацменного узла, а также при совместном провисание оттяжек приводят к изменению приведенных напряжений в пределах 1,4 – 2 раза.

- получены зависимости изменений усилий в оттяжках и напряжений в стволе от высоты трубы, на основании использования которых определены рациональные уровни предварительных натяжений оттяжек (60-100 МПа для 1-го уровня, 102-170 МПа для 2-го уровня) и диаметров (25-31 мм).

- усиление лацменного узла накладками позволяет уменьшить приведенные напряжения в стволе трубы в 2 раза. Однако, при натяжении провисающих оттяжек (13-15 МПа для 1-го уровня, 22-25 МПа для 2-го уровня), в кольцевых ребрах лацменного узла наблюдается увеличение приведенных напряжений в 2,8 раза. Определены зависимости напряжений от толщины листа усиления лацменного узла.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов заключаются в следующем:

- разработаны и обоснованы основные положения методики расчета безотказной работы сооружения, учитывающей особенности природно-климатических и технологических нагрузок.

- разработана методика, позволяющая оценить остаточную несущую способность дымовых труб с учётом износа и технического обслуживания.

- разработана методика технического обслуживания дымовых труб на оттяжках, которая включает восстановление оболочки ствола и замену оттяжек.

Методология и методы исследования:

Поставленные в работе задачи решаются с использованием следующих методов:

- методы теоретической и прикладной механики;
- методы численного моделирования с применением метода конечных элементов (МКЭ);
- методы статистической обработки экспериментальных данных натурных исследований конструкций;
- методы численного исследования для анализа влияния износа и усиления на напряженно-деформированное состояние.

Положения, выносимые на защиту:

–методика расчета дымовых труб с оттяжками, учитывающая особенности природно-климатических и технологических нагрузок.

–методика, позволяющая оценить остаточную несущую способность дымовых труб с учётом износа и технического обслуживания.

–методика технического обслуживания дымовых труб на оттяжках, которая включает восстановление оболочки ствола и замену оттяжек.

Личный вклад соискателя. Все научные результаты, представленные в диссертационной работе, получены соискателем самостоятельно, а именно:

– сбор и анализ технической литературы по исследованию;

– выбор методов исследований НДС лацменных узлов дымовых труб, разработка конечно-элементных моделей, расчет созданных моделей, обработка и анализ результатов НДС;

– определение значимых факторов влияния повреждений на НДС оболочек стальных дымовых труб;

– разработка численной модели НДС оболочек стальных дымовых труб на оттяжках с учетом износа;

– разработка рекомендаций по оценки несущей способности дымовых труб на оттяжках с учетом износа и технического обслуживания.

Степень достоверности результатов подтверждена данными натурного освидетельствования конструкций, которые выполнены с использованием измерительного оборудования, статистической обработкой данных, а также соответствие численных исследований НДС конструкций с использованием лицензионных программных комплексов.

Апробация диссертационной работы. Основные результаты работы и материалы исследований докладывались и обсуждались на:

– международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса» (г. Волгоград, 2019 г.);

– на трех научно-технических конференциях студентов, аспирантов и молодых учёных Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (г. Макеевка, 2020-2022 гг.)

– на международной научно-технической конференции к 50-летию ГОУ ВПО «ДонНАСА» «Оптимальное проектирование зданий и сооружений с учетом требований долговечности, надежности и эксплуатации» (г.Макеевка, 2022 г.)

Публикации. Основные положения, результаты и выводы диссертационной работы опубликованы 6 научных работах, из них 5 включены в международные наукометрические базы, 1 в сборнике докладов тезисов по материалам конференции.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, выводов, списка использованных источников и 3 приложения. Общий объём диссертационной работы – 177 страниц, в том числе 141 страница основного текста, 52 полных страниц с рисунками и таблицами, 22 страницы списка использованных источников, 14 страниц приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы и изложена общая характеристика работы. Определена цель, задачи исследований, дана характеристика объекта и предмет исследований, сформулирована научная новизна и практическая значимость результатов, полученных в диссертационной работе.

В первом разделе представлен критический анализ состояния вопроса. Рассматриваются общие конструктивные особенности дымовых труб, методы расчета нагрузок, приведены существующие методы расчета оболочек стальных дымовых труб и анализ повреждений конструкций. Рассмотрены конструктивные решения узлов дымовых труб, а также выполнен анализ существующих методов расчета оболочек по моментной и безмоментной теориями. Представлены общие методы технического обслуживания дымовых труб.

Методы расчета высотных сооружений приведены в работах А.Г. Соколова, Г.А. Савицкого, А.В. Перельмутера, Р.Г. Губайдулина, J.D. Holmesa, М.Р. Repetto, G.Solari и др. Значительный вклад в развитие методов расчета цилиндрических оболочек внесли авторы В.И. Моссаковский, А.В. Сеченков, В.Г. Выборнов, М.В. Никулин, В.В. Кабанов, В.М. Даревский, Э.И. Григолюк, В.В. Новожилов, В.С. Гудрамович, А.С. Вольмира, J.C. Nagtegaal.

Методам оценки эксплуатационной надежности зданий и сооружений посвящены работы Н.С. Стрелецкого, А. И Кикина, Е.В.Горохова, М.Д. Корчака, В.П. Королева, А.В. Перельмутера, С.Ф. Пичугина и др.

Особенности конструктивных решений, методы расчета нагрузок, методы проектирования и эксплуатации дымовых труб посвящены работы М.Б. Солодаря, В.Г. Сатьянова, Ф.П. Дужих, А.М. Ельшина, Р.И. Кинаша. Примеры аналитического расчёта идеальных оболочек металлических дымовых труб с учётом специфики действия ветрового давления приводятся в трудах Е.Н. Лессига, М.Б. Солодаря, W. Schneider, А.К. Escoc. Большой вклад в исследование аэродинамических характеристик ветрового потока для башен с вытяжными трубами внесли авторы А.В. Атаманчук, Д.Д. Чернышев, Р.И. Кинаш и др. Совершенствованные методики расчета металлических дымовых труб были рассмотрены в работах В.В. Губанова, А.В. Голикова, А.Н. Кульчицкого. В работах А.В. Голикова приведены методики расчёта на прочность узла сопряжения цилиндрической и конической части, узла примыкания газохода дымовых труб. В трудах А.Н. Кульчицкого приведены методики расчета устойчивости оболочек дымовых труб на основании распределения местных напряжений на участках с геометрическими отклонениями. Расчетам, проектированию и обслуживанию дымовых труб посвящены конференции и нормы Международной организации промышленных дымовых труб (CICIND).

Общие принципы обслуживания и технической эксплуатации строительных конструкций рассмотрены в работах М.М. Сахновского, А.И. Лантух-Лященко, А.Г. Ройтмана, А.М. Югова, В.В. Губанова, Ю.М. Ярового, В.А. Банах и др. В этих работах используются две системы технического

обслуживания: планово-предупредительные ремонты и ремонты по результатам обследования.

На основании обзора литературы и проведенного анализа состояния вопроса сформулированы цель, задачи и методы исследования.

Во втором разделе для выполнения численных исследований разработан программный комплекс статического расчета, на основании прямого численного решения системы нелинейных уравнений. Программный модуль реализован в среде MathCAD. Расчет дымовой трубы на оттяжках выполняется в плоскости действия момента как сжато-изогнутого стержня с учетом действия поперечной нагрузки и продольных сил. Расчетная схема представлена в виде вертикальной неразрезной балки, жестко заземленной в уровне фундамента и поддерживаемой системой предварительно-напряженных провисающих оттяжек в двух уровнях. Для определения усилий и перемещений используется уравнение равновесия сил в узле и совместности деформаций (составление канонических уравнений метода сил для статически неопределимой системы) (рис.1). Конструкция дымовой трубы условно разбивается на равные участки, в пределах которых действует равномерно распределенная по длине ветровая нагрузка.

Рассмотрены следующие расчетные сочетания нагрузок: ветровая нагрузка при среднегодовой температуре воздуха с учётом и без технологического нагрева ствола; ветровая нагрузка при температуре теплого периода года ($+40^\circ$) с учётом и без технологического нагрева ствола; ветровая нагрузка при температуре холодного периода года (-40°) с учётом и без технологического нагрева ствола; гололёдно-ветровая нагрузка и соответствующее температурное воздействие с учётом и без нагрева ствола; отсутствие ветра и температура $\pm 40^\circ\text{C}$ (для расчета монтажных натяжений).

Для дымовых труб с тремя оттяжками в лацменном узле рассмотрены три направления действия ветра и для четырех оттяжек два направления.

В таблице 1 представлена система уравнений для трех оттяжек в узле.

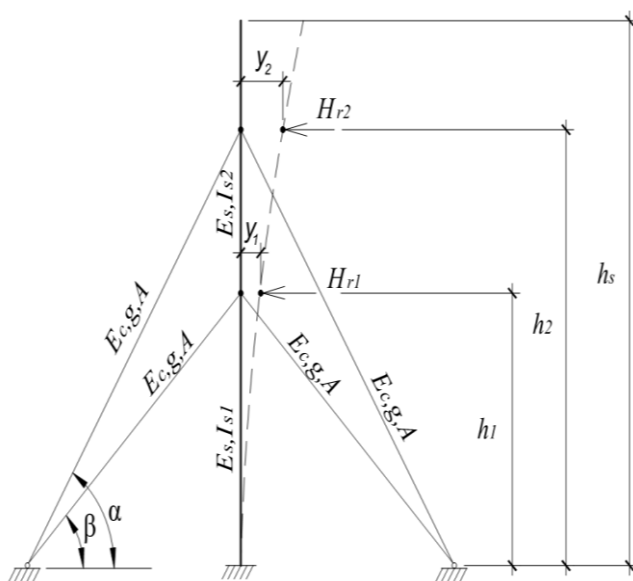


Рисунок 1 - Схемы дымовой трубы с двумя уровнями оттяжек

Системы уравнений для расчета дымовой трубы с тремя оттяжками в лацменном узле

Направление действия ветра в плоскости оттяжек ($\varphi = 0^\circ$)	
1	<p>Схема сечения ствола трубы</p>
2	<p>Система уравнений для расчета</p> $\begin{cases} \delta_{11} \cdot H_{r1}(\sigma_{11}, \sigma_{12}) + \delta_{12} \cdot H_{r2}(\sigma_{21}, \sigma_{22}) + \Delta_{1p} + y_1(\sigma_{11}, \sigma_{01}) = 0 \\ \delta_{21} \cdot H_{r1}(\sigma_{11}, \sigma_{12}) + \delta_{22} \cdot H_{r2}(\sigma_{21}, \sigma_{22}) + \Delta_{2p} + y_2(\sigma_{21}, \sigma_{02}) = 0 \\ E(\sigma_{11}, \sigma_{01}) = -E(\sigma_{12}, \sigma_{01}) \cdot \cos 60^\circ \\ E(\sigma_{21}, \sigma_{02}) = -E(\sigma_{22}, \sigma_{02}) \cdot \cos 60^\circ \end{cases}$
3	<p>Горизонтальная равнодействующая сила в узле крепления оттяжек</p> $\begin{aligned} H_{r1}(\sigma_{11}, \sigma_{12}) &= (\sigma_{11} - 2 \cdot \sigma_{12} \cdot \cos 60^\circ) A \cos \beta \\ H_{r2}(\sigma_{21}, \sigma_{22}) &= (\sigma_{21} - 2 \cdot \sigma_{22} \cdot \cos 60^\circ) A \cos \alpha \end{aligned}$

где относительная деформация для 1-го и 2-го уровня оттяжек:

$$E(\sigma_{1(m)}, \sigma_{01}) = \left[\left(\frac{\sigma_{1(m)}}{E_c} - \frac{D_{1(m)}}{\sigma_{1(m)}^2} \right) - \left(\frac{\sigma_{01}}{E_c} - \frac{D_{01}}{\sigma_{01}^2} \right) \right] + \alpha_t(t_{c1} - t_{c0}) + \alpha_t(t_{s1} - t_{s0}) \cdot \sin \beta$$

$$E(\sigma_{2(m)}, \sigma_{02}) = \left[\left(\frac{\sigma_{2(m)}}{E_c} - \frac{D_{2(m)}}{\sigma_{2(m)}^2} \right) - \left(\frac{\sigma_{02}}{E_c} - \frac{D_{02}}{\sigma_{02}^2} \right) \right] + \alpha_t(t_{c1} - t_{c0}) + \alpha_t(t_{s1} - t_{s0}) \cdot \sin \alpha$$

горизонтальное смещение узла крепления:

$$y_1(\sigma_{11}, \sigma_{01}) = \frac{L_1}{\cos \beta \cdot \cos \varphi} \left[\left[\left(\frac{\sigma_{11}}{E_c} - \frac{D_{11}}{\sigma_{11}^2} \right) - \left(\frac{\sigma_{01}}{E_c} - \frac{D_{01}}{\sigma_{01}^2} \right) \right] + \alpha_t(t_{c1} - t_{c0}) \right]$$

$$y_2(\sigma_{21}, \sigma_{02}) = \frac{L_2}{\cos \alpha \cdot \cos \varphi} \left[\left[\left(\frac{\sigma_{21}}{E_c} - \frac{D_{21}}{\sigma_{21}^2} \right) - \left(\frac{\sigma_{02}}{E_c} - \frac{D_{02}}{\sigma_{02}^2} \right) \right] + \alpha_t(t_{c1} - t_{c0}) \right]$$

где: m - номер оттяжки в уровне;

$\delta_{11}, \delta_{12}, \delta_{21}, \delta_{22}$ - единичные перемещения точек приложения сил H_{r1} и H_{r2}

Δ_{1p}, Δ_{2p} - перемещение узлов крепления оттяжек от действия внешних нагрузок;

$\sigma_{01}, \sigma_{11}, \sigma_{02}, \sigma_{21}$ - напряжение в оттяжках в начальном и конечном состоянии 1-го и 2-го уровня;

y_1, y_2 - перемещение 1-го и 2-го узла от удлинения оттяжек по горизонтали;

φ - угол между направлением ветрового потока и первой оттяжкой (в двух уровнях).

β, α - углы наклона оттяжек 1-го и 2-го уровня к горизонтали;

D_{01}, D_{02} и $D_{1(m)}, D_{2(m)}$ - коэффициенты, учитывающие влияние распределенной нагрузки на оттяжки в начальном и конечном состоянии.

На основании численных расчетов установлено, что максимальные напряжения в оттяжках возникают при ветровой нагрузке на оттяжку в холодный период года при нагреве ствола (рис. 2).

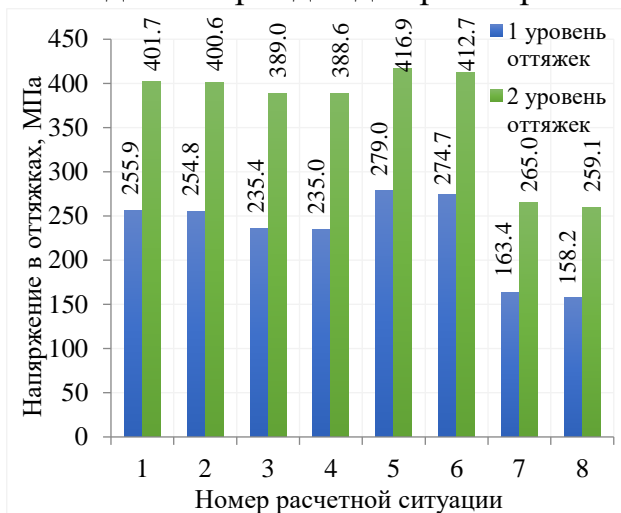


Рисунок 2 – Напряжения в наветренных оттяжках с тремя оттяжками в плане.

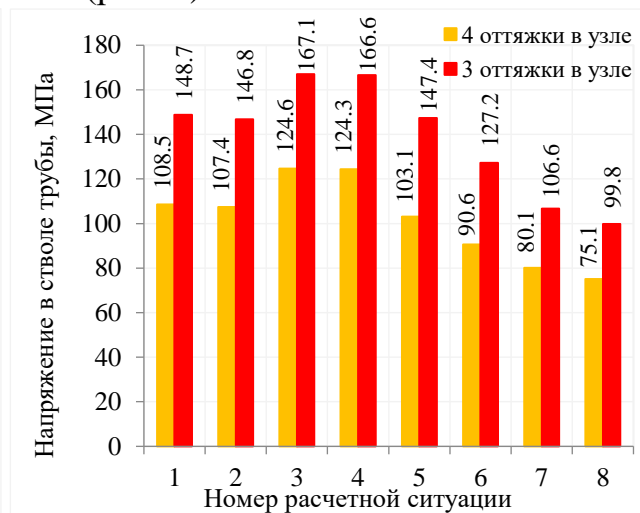


Рисунок 3 – Напряжение в стволе дымовой трубы по расчетным сочетаниям нагрузок.

Максимальные напряжения в стволе возникают при расчетном сочетании, которое включает: ветровая нагрузка и температура теплого периода года, без технологического нагрева ствола трубы (рис.3).

Для исследования лацменных узлов были разработаны расчетные схемы дымовой трубы в программном комплексе ПК LIRA-SAPR двух типов:

- в виде сжато-изогнутого стрержня, моделируется КЭ 10 (универсальный пространственный стержень);
- в виде конечного элемента оболочки, моделируется пластинами КЭ 41, 42, (универсальные прямоугольные, треугольные оболочки).

Оттяжки для двух типов моделируются в пространственной схеме нелинейным стержнем КЭ 310 (нить), а для предварительного натяжения в зоне нижних опорных узлов оттяжек используется КЭ 308.

Выполненные численные расчеты показали, что при использовании ПК LIRA-SAPR (в виде стержня КЭ 10) нормальные напряжения больше на 9,8% по сравнению с результатами программного модуля MathCAD.

Для уточнения напряженно-деформированного состояния дымовой трубы с оттяжками в зоне примыкания оттяжек, ствол моделируется конечными элементами оболочками с детальным рассмотрением конструкции лацменного узла. Кольцевые ребра лацменного узла моделируются КЭ 44 (универсальные четырехугольные оболочки), ребра-проушины КЭ 41.

В результате проведенного исследования, сравнивая модель-стержень и модель-оболочку, обнаружено, что напряжение в стволе трубы при соответствующей действующей нагрузке меньше значения модели-стержень на 7,1%. Таким образом, выбранная модель дымовой трубы оболочками в программном комплексе ПК LIRA-SAPR с учетом нелинейной работы

оттяжек, позволяет определить кольцевые, меридиональные и приведенные напряжения в лацменных узлах дымовых труб.

В третьем разделе изложены результаты экспериментальных натурных исследований существующих дымовых труб на оттяжках. Согласно обобщения опыта обследований высотных сооружений разработана методика проведения натурных исследований стальных дымовых труб на оттяжках. Для этого предложена структурная схема зонирования, отражающая схематическое описание несущих и дополнительных конструкций, которое следует учитывать при обследовании, зонировании конструкций по степени износа и влияния на безопасность. Зонирование конструкций представляет собой разбиение конструкций по уровням в нисходящем порядке. Данный подход следует учитывать и при выполнении диагностики технического состояния, вначале описывая состояние элементов низкого уровня, затем – более высокого уровня.

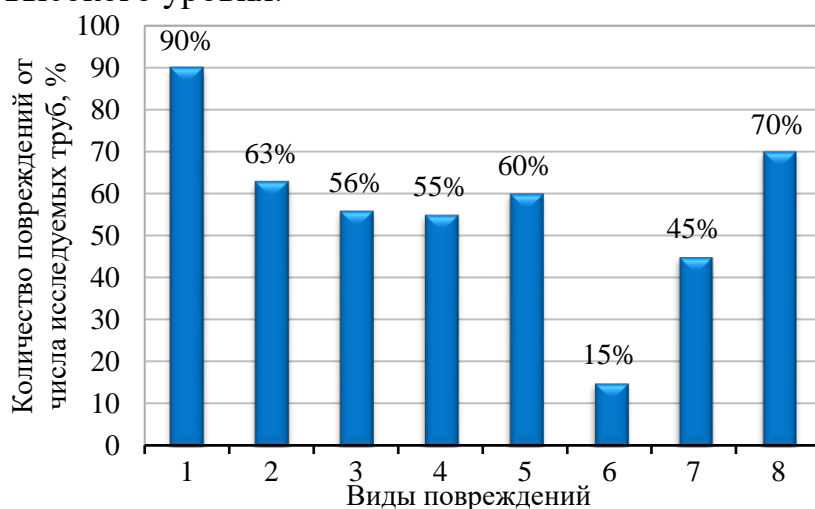


Рисунок 4 – Распространённые виды повреждений дымовых труб

1 – разрушение антикоррозионного покрытия; 2 – разрушение элементов фундамента; 3 – эксцентриситет стыковки царг; 4 – коррозионный износ стенки ствола; 5 – локальный коррозионный износ в узлах; 6 – трещины в основном металле, швах и околошовной зоне; 7 – крен ствола трубы в целом; 8 – ослабление натяжения оттяжек.

На основании разработанной методики выполнены натурные исследования и анализ результатов обследований дымовых труб с оттяжками. Основные выявленные повреждения: крен ствола 1/60 высоты, трещины в металле кожуха и в сварных швах, разрушение антикоррозионного покрытия и коррозионный износ ствола до 35% сечения; сквозные коррозионные повреждения в лацменных узлах и коррозионный износ элементов до 50% сечения, провисание и обрыв оттяжек. Все повреждения можно классифицировать на местные (локальные) повреждения, имеющие влияние на НДС узлов, и общие, имеющие общее влияние на НДС дымовых труб в целом. Наиболее распространенные виды повреждений, а также их количественные характеристики приведены на рис. 4.

Систематизация и анализ значений кренов исследуемых сооружений показал, что 47% дымовых труб эксплуатируются с креном, превышающим предельное нормативное значение (рис. 5).

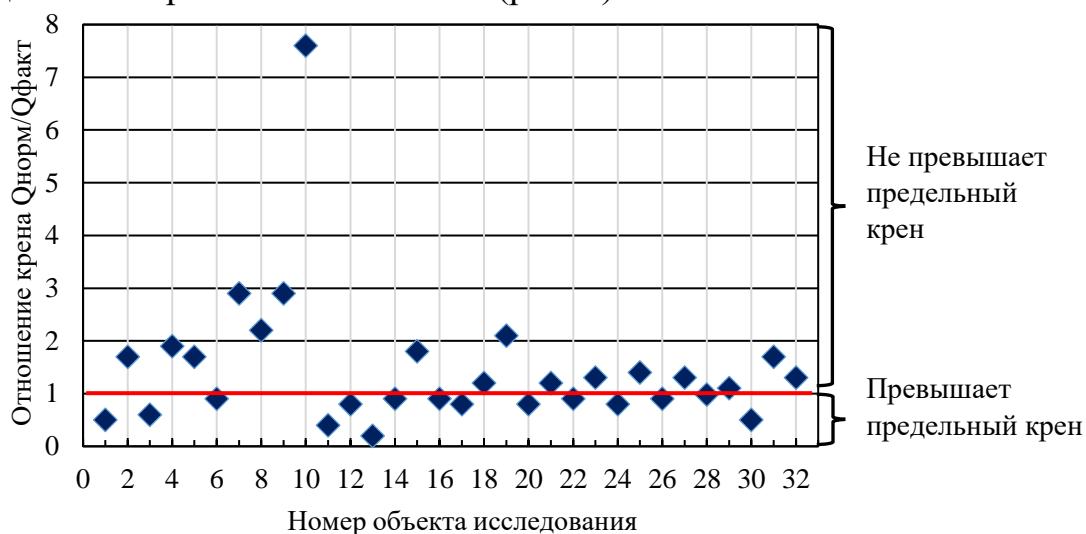


Рисунок 5 - Отношение крена $Q_{норм}/Q_{факт}$ ДЫМОВЫХ ТРУБ

Одним из основных показателей несущей способности дымовых труб, является остаточная толщина оболочки. На основании проведенных натуральных исследований были определены остаточные толщины оболочек эксплуатируемых дымовых труб на оттяжках. Анализ полученных данных показал, что в целом для исследуемых объектов характерен локальный износ на уровне оголовка, в уровне оттяжек, средней части и опорной части. Место и степень коррозионного износа зависит от условий эксплуатации и от целостности футеровки. Примерно 40% дымовых труб имеют равномерный износ по высоте, 35% - большой износ опорной части, 25% - оголовка.

Выявлены наиболее значимые повреждения, влияющие на НДС сооружения, которыми являются: общий коррозионный износ до 50% сечения, локальный износ элементов лацменного узла до 90%, крен трубы до 1/60 высоты ствола; провисание и обрыв оттяжек.

Зависимость степени коррозионного износа ствола от периода эксплуатации приведена на рис. 6. Скорость износа оболочек дымовых труб варьируется в пределах для опорной и средней части от 0,01 до 0,15 мм/год, для верхней части от 0,004 до 0,155 мм/год.

Крен ствола трубы приводит к дополнительным усилиям в лацменных узлах и оболочке ствола.

Коррозионный износ оболочки линейно влияет на напряжение в ней. Так, при коррозионном износе ствола, за счет снижения жесткостных характеристик, происходит повышение напряжений в оболочке, что может привести к разрушению участка ствола. Наибольший уровень коррозионного износа наблюдается в лацменных узлах, что приводит к изменению параметров соединения и повышению напряжений. Данный вид износа вызывает местные повреждения кольцевых ребер и ребер-проушин, а также приводит к исключению оттяжек из расчетной схемы, что негативно влияет на НДС дымовой трубы с оттяжками.

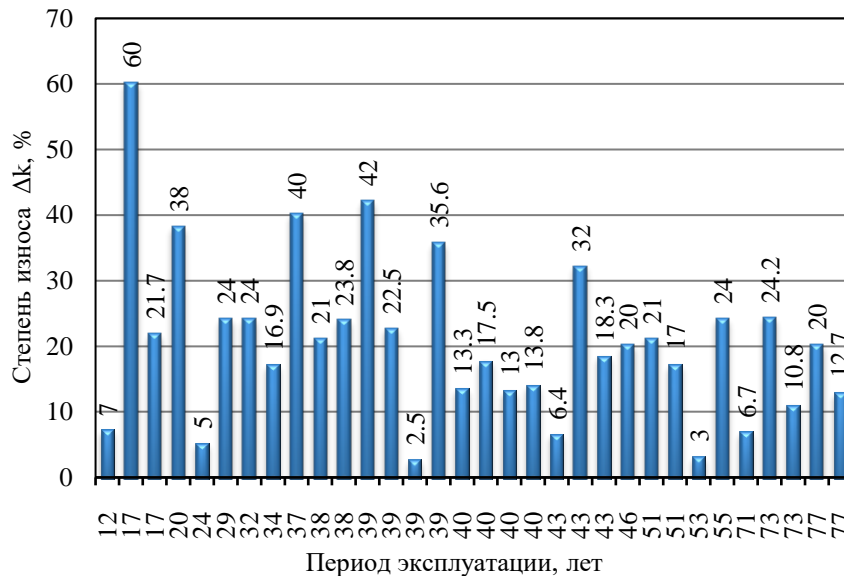


Рисунок 6 – Полученные данные степени коррозионного износа ствола при различных сроках службы

Повреждение оттяжек в виде ослабления натяжений или обрыве приводит к перераспределению момента по стволу трубы, и соответственно к значительному повышению напряжения в основании ствола.

В четвертом разделе приведены результаты численных исследований НДС наиболее ответственных элементов дымовых труб в условиях износа, необходимые для разработки рекомендаций по рациональному выбору конструктивных параметров элементов усиления.

Численные исследования проводились для типовых дымовых труб на оттяжках высотой до 100 м. Рассматривались дымовые трубы с соотношением диаметра к высоте d/H от 1/64 до 1/33. В качестве объекта исследования приняты наиболее распространенные типовые лацменные узлы (рис. 7, 10). Общие параметры варьирования численных исследований лацменных узлов типовых дымовых труб на оттяжках при износе приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Варьируемые параметры численных исследований лацменных узлов при износе

№ п/п	Исследуемые параметры	Диапазон исследования
1	2	3
Напряжение в кольцевых ребрах дымовых труб		
1	Толщина кольцевых ребер, t_p	от 16 до 6 мм (шаг 2 мм)
2	Толщина ребер крепления оттяжек, t_1	от 18 до 8 мм (шаг 2 мм)
3	Диаметр оси крепления оттяжек, $d_{кр}$	от 24 до 36 мм (шаг 2 мм)
4	Предварительное напряжение оттяжек, σ_{01}, σ_{02}	для 1-го уровня от 10 до 60 МПа; для 2-го – от 17 до 100 МПа
Напряжение в лацменных узлах на участке влияния краевого эффекта для дымовых труб		
5	Толщина оболочки ствола $t_{ст}$	от 3 до 6 мм
6	Предварительное напряжение оттяжек, σ_{01}, σ_{02}	для 1-го уровня от 6 до 15 МПа; для 2-го – от 8 до 20 кН

Для исследования НДС кольцевых ребер разработана модель лацменного узла дымовой трубы, которая включает в себя ствол, верхнее и нижнее кольцевые ребра, ребра и ось крепления оттяжек (рис. 7). Угол между оттяжками в плане составляет 90° . На рис. 7, 8 представлена исследуемая модель и максимальные приведенные напряжения в кольцевых ребрах.

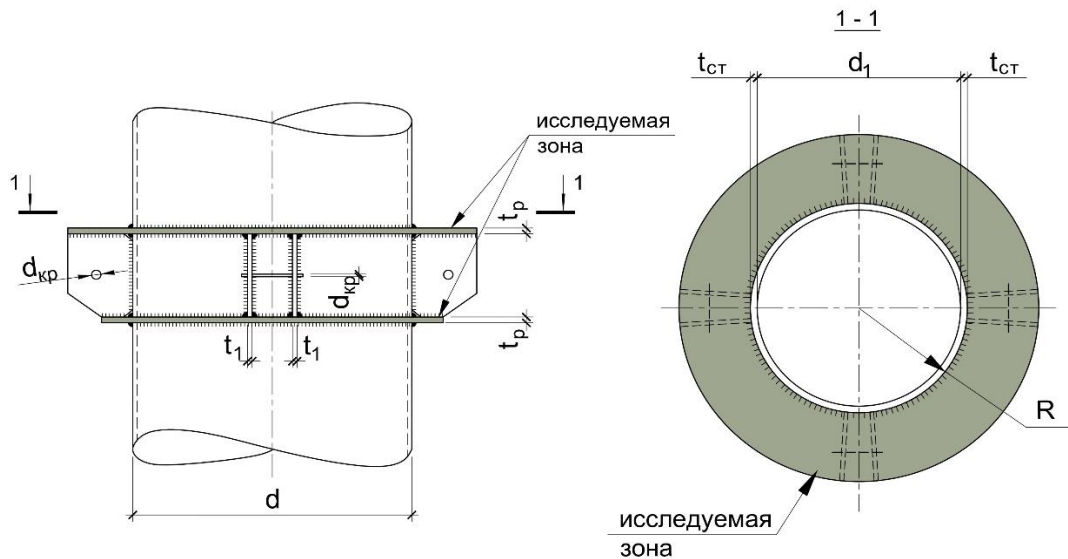


Рисунок 7 – Модель численных исследований лацменного узла

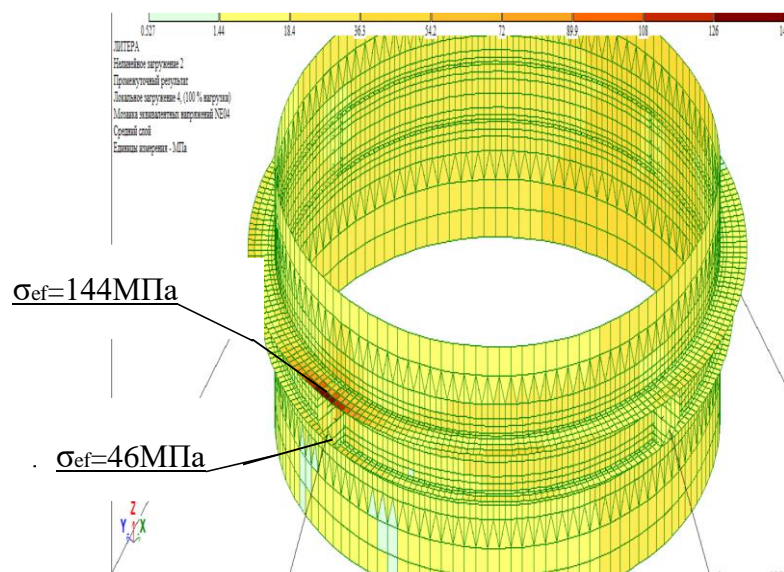


Рисунок 8 – Результаты расчета приведенных напряжений узла

Зависимости приведенных напряжений от изменения толщины кольцевых ребер, толщины ребер и оси крепления оттяжек вследствие коррозионного износа приведены на рис. 9.

Результаты расчета показывают, что коррозионный износ до 50% кольцевых ребер лацменного узла приводит к увеличению в них приведенных напряжений в 2 – 2,2 раза. Уменьшение толщины ребер и смещение оси крепления оттяжек оказывает незначительное влияние на напряжение в кольцевых ребрах.

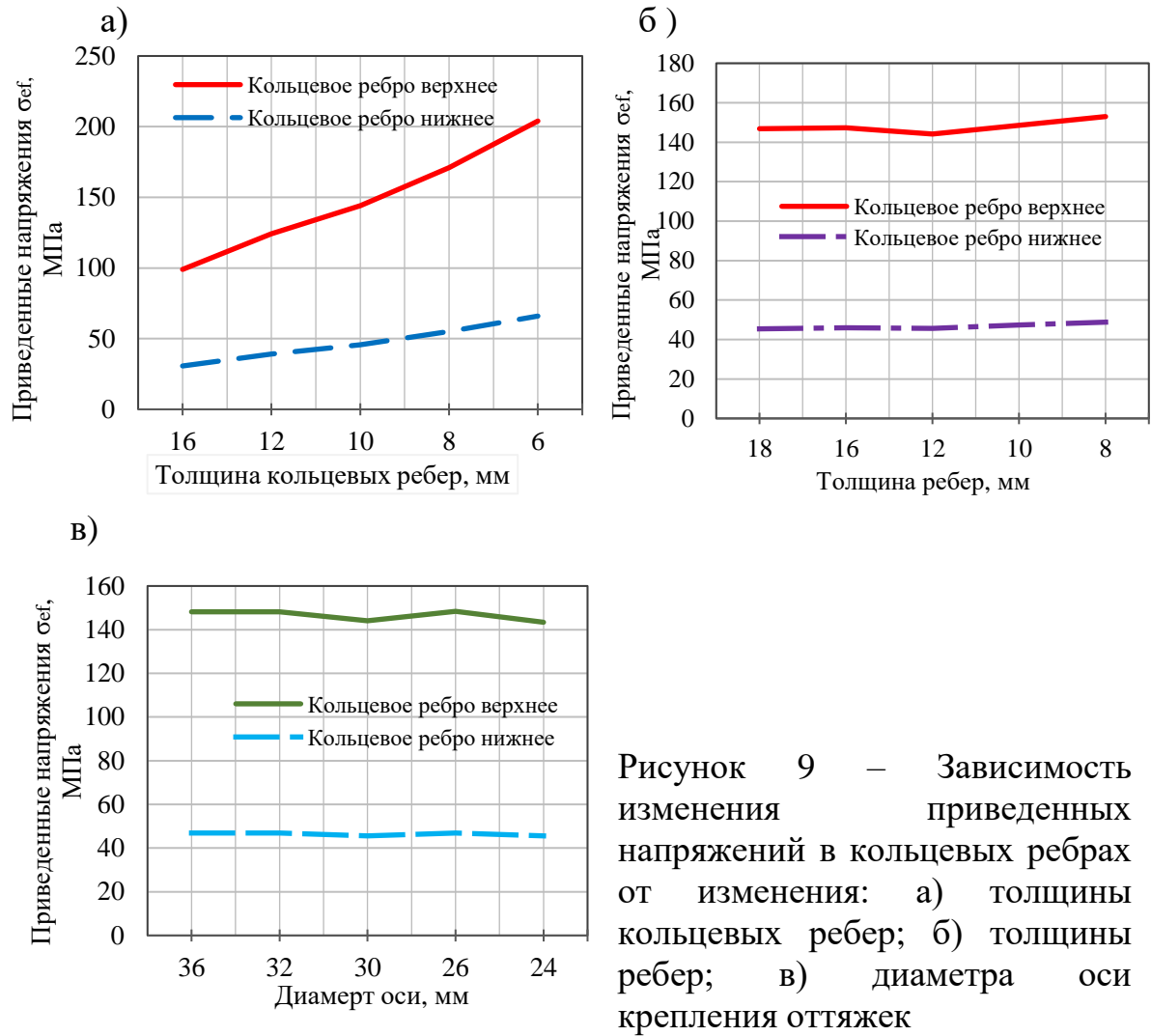


Рисунок 9 – Зависимость изменения приведенных напряжений в кольцевых ребрах от изменения: а) толщины кольцевых ребер; б) толщины ребер; в) диаметра оси крепления оттяжек

Для исследования краевого эффекта в лацменных узлах дымовых труб разработана модель узла, состоящая из ствола, кольцевых ребер и ребер-проушин (рис. 10). Ствол раскрепляется оттяжками, расположенными в два яруса. Угол между оттяжками в плане составляет 120° . Футеровка ствола трубы по всей высоте отсутствует.

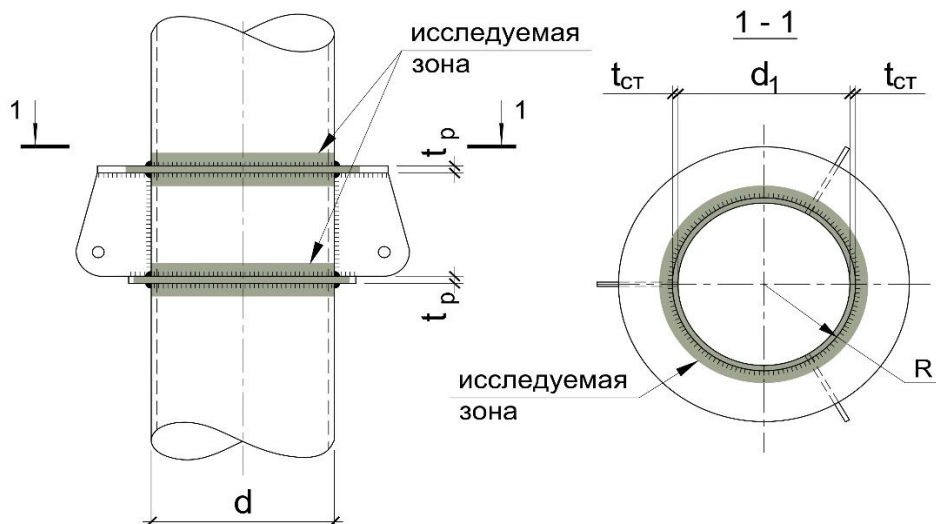


Рисунок 10 – Модель численных исследований лацменного узла

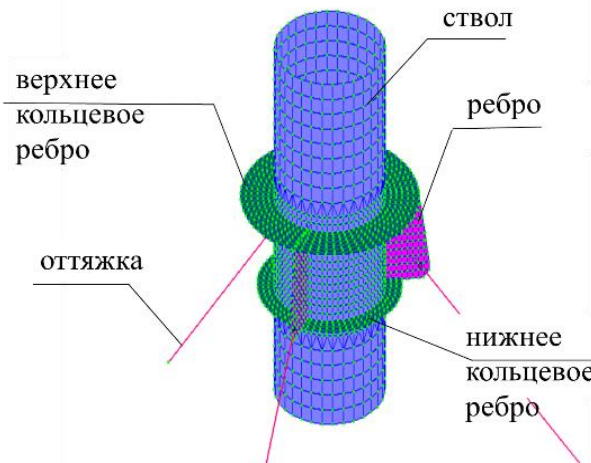


Рисунок 11 – Модель лацменного узла в ПК ЛИРА

В ПК ЛИРА коррозионный износ ствола моделируется уменьшением жесткостных параметров оболочки, а зона сквозного разрушения оболочки представлена жесткостью близкой к нулю. Провисание оттяжек учитывается в виде минимального предварительного напряжения оттяжек. На рисунках 10, 11 приведена модель лацменного узла и зона исследования.

Численные результаты расчета приведенных напряжений в виде идеальной оболочки и с учётом износа представлены на рис. 12.

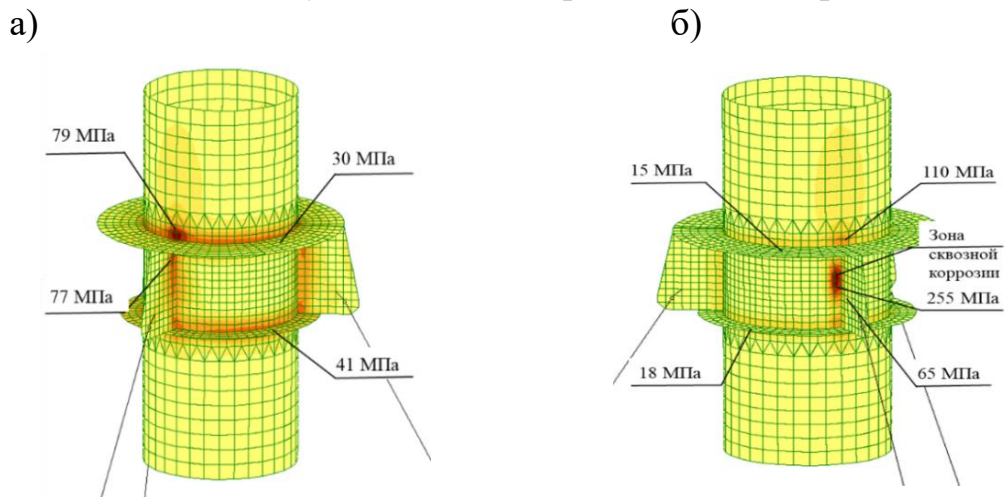


Рисунок 12 – Приведенные напряжения σ_{ef} в элементах лацменного узла:
а) идеальная оболочка; б) в процессе износа

За длительный срок эксплуатации (более 30 лет) без капитального ремонта выявленные повреждения оказывают значительное влияние на напряжения в лацменных узлах. Кольцевые и меридиональные напряжения в стволе трубы увеличиваются в 1,2 – 1,6 раза. Приведенные напряжения в стволе трубы увеличиваются в 1,4 раза, не превышают расчетное сопротивление для листового проката. За счет ослабления предварительного натяжения оттяжек, в кольцевых ребрах наблюдается уменьшение меридиональных и кольцевых напряжений в 1,4 – 2 раза. Приведенные напряжение в кольцевых ребрах уменьшаются в 2 раза.

На основании проведенных численных исследований определено влияние повреждении на несущую способность дымовых труб с оттяжками. Схема влияния выявленных повреждений приведена на рисунке 13.



Рисунок 13 – Влияния выявленных повреждений на несущую способность дымовых труб с оттяжками

В пятом разделе разработаны эффективные методы технического обслуживания с учетом их влияния на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций, которые включают повышение несущей способности за счёт восстановления предварительного напряжения в оттяжках и усиления лацменного узла дымовой трубы.

Приведены конструктивные решения по восстановлению дымовых труб, высотой до 100 м, позволяющие выполнить натяжение и замену оттяжек в двух уровнях.

Установлено, что напряжение в оттяжках уменьшается пропорционально квадрату диаметра оттяжек, и соответственно, усилия в оттяжках увеличиваются. При диаметре оттяжек от 21 до 36 мм, усилие в оттяжках увеличивается на 33 – 46% для трёх оттяжек и 33 – 36% для четырёх оттяжек. Напряжения в стволе трубы уменьшаются на 37% для трёх оттяжек и на 35% для четырёх. Рационально принимать диаметр оттяжек в диапазоне 25–31 мм. Зависимости изменения усилия в оттяжках при разных диаметрах приведена на рис. 14.

Начальное натяжение оттяжек обеспечивает требуемую жесткость ствола, регулирует величину изгибающего момента в стволе. С учетом ослабления оттяжек в период эксплуатации, рационально принимать предварительные напряжения оттяжек диаметром 25 мм в пределах

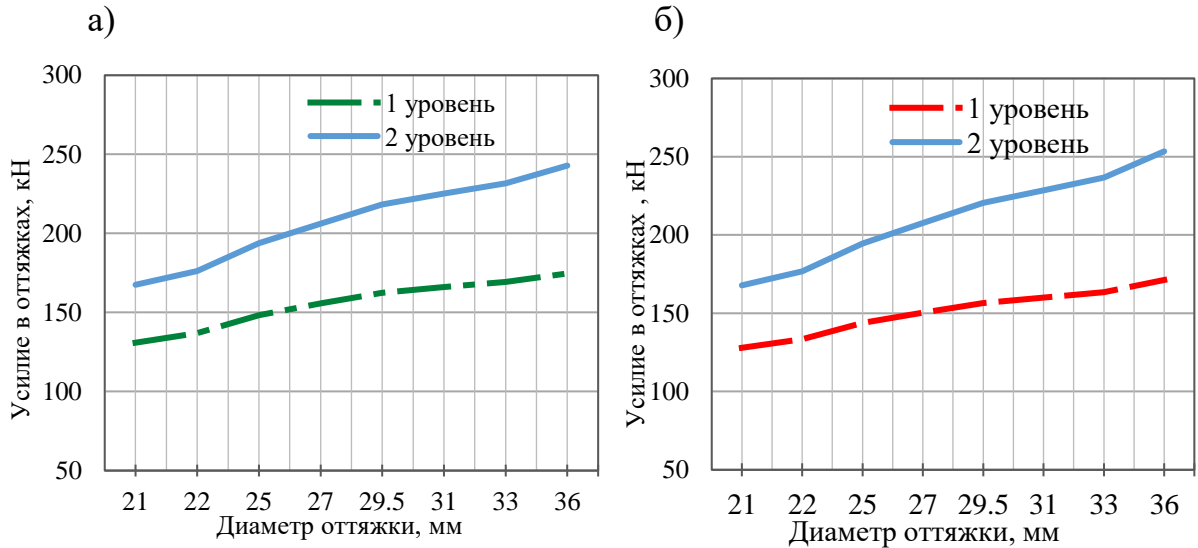


Рисунок 14 – Изменение усилия в оттяжках при разных диаметрах оттяжек (ветровая нагрузка и температура -40°C при нагреве ствола): а – с тремя оттяжками; б – с четырьмя оттяжками в плане.

60 – 100 МПа для 1-го уровня и 102 – 170 МПа для второго. Диаметр оттяжек 31 мм позволяет уменьшить напряжения в стволе трубы до 20% по сравнению с диаметром 25 мм. На рис. 15 приведены зависимости напряжений в стволе от предварительного напряжения оттяжек при действии ветровой нагрузка и температуре тёплого периода года ($+40^{\circ}\text{C}$).

Получены зависимости для определения диаметра $d=16,6+0,115H$, и предварительного напряжения оттяжек $\sigma_{01} = -10,882+0,8088H$, $\sigma_{02} = -19,706+1,397H$ (где H – высота трубы, м) при выполнении ремонтно-восстановительных работ и на стадии проектирования.

Угол наклона оттяжек к горизонтали от 20° до 84° приводит к увеличению усилий в оттяжках 1-го уровня в 3,4 раза, для 2-го в 1,3 раза. Напряжения в стволе трубы возрастают в 2,5 – 2,6 раза (рис.17). Рационально принимать угол наклона оттяжек приближенному для первого уровня к 45° , для второго – 58° , что обосновано в нормативных источниках. Однако, в условиях ограниченности застройки, угол наклона оттяжек может отличаться от рациональных значений, что в свою очередь приведёт к повышению уровня действующих усилий и напряжений. На рис. 16 приведены зависимости усилий в оттяжках при различных углах наклона с четырьмя оттяжками в плане.

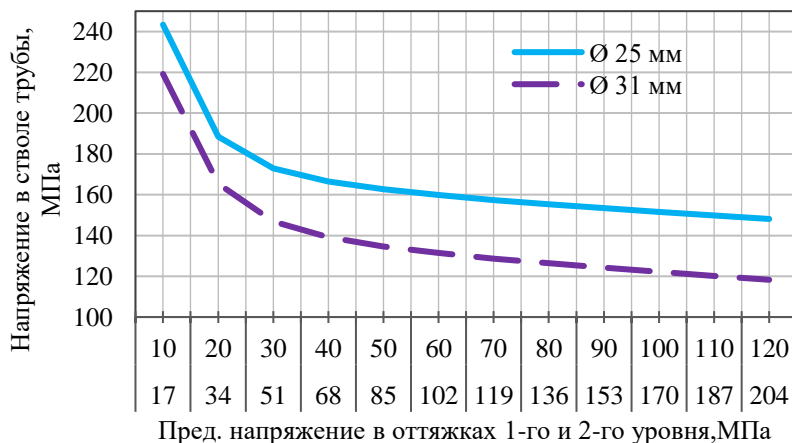


Рисунок 15 – Зависимости напряжений в стволе дымовых труб от предварительного напряжения оттяжек для диаметров оттяжек 25 и 31 мм

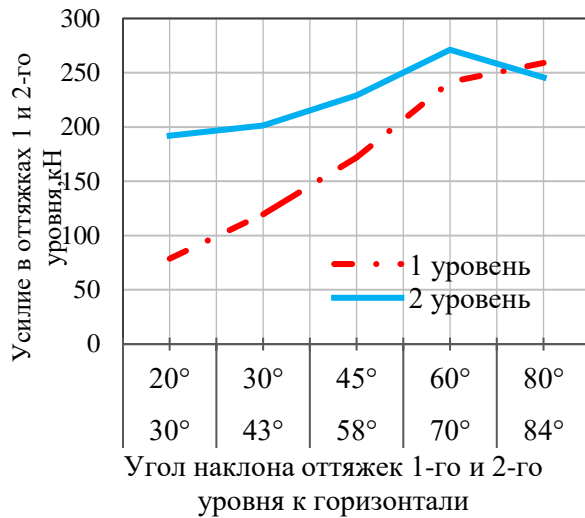


Рисунок 16 – Зависимости изменения усилий в оттяжках при различных углах наклона (ветровая нагрузка и температура -40° при нагреве ствола)

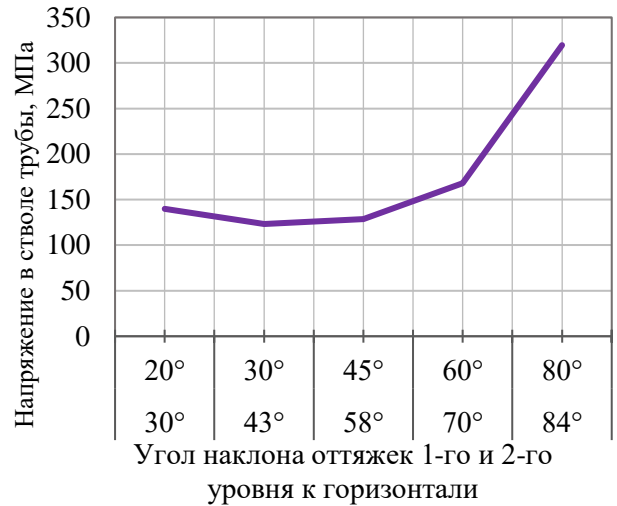


Рисунок 17 – Зависимость напряжений в стволе трубы при различных углах наклона оттяжек (ветровая нагрузка и температуре $+40^{\circ}$)

Для повышения несущей способности дымовой трубы на оттяжках предложено усиление лацменного узла второго уровня оттяжек методом усиления без существенного изменения конструктивных форм и расчётных схем. Однако, методика расчёта усиления данного вида конструкций отсутствует. Поэтому была предложена схема усиления дымовой трубы с помощью вертикальных кольцевых ребер и накладок толщиной 6 мм. Модель усиления лацменного узла представлена на рис. 25. Выполненное усиление лацменного узла в процессе монтажа представлено на рис. 26.

В качестве оценки влияния усиления на НДС оболочки на рис. 20 представлены максимальные напряжения в лацменном узле после усиления.

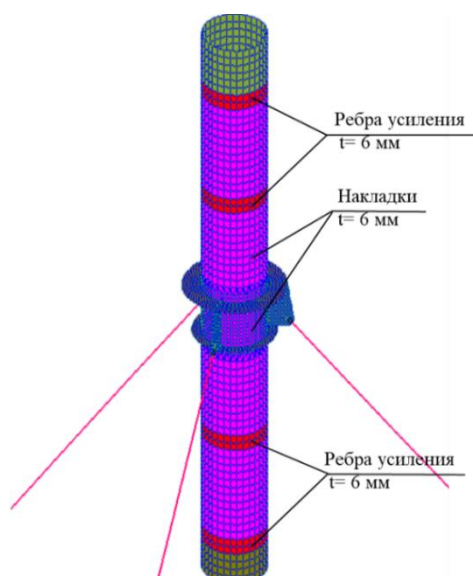


Рисунок 18 – Моделирование элементов усиления в ПК Лира



Рисунок 19 – Усиление лацменного узла накладками

Меридиональные напряжения в стволе для данного вида усиления уменьшаются в 2 раза, кольцевые в 1,4 раза. Приведенные напряжения в стволе трубы уменьшаются в 2 раза. При натяжении провисающих оттяжек (13–17 МПа для 1-го уровня, 22–30 МПа для 2-го уровня), в кольцевых ребрах лацменного узла наблюдается увеличение меридиональных напряжений в 1,2–2 раза, кольцевых – в 2,8 раза. Приведенные напряжения в кольцевых ребрах увеличиваются в 2,8 раза и не превышают расчетное сопротивление для листового проката.

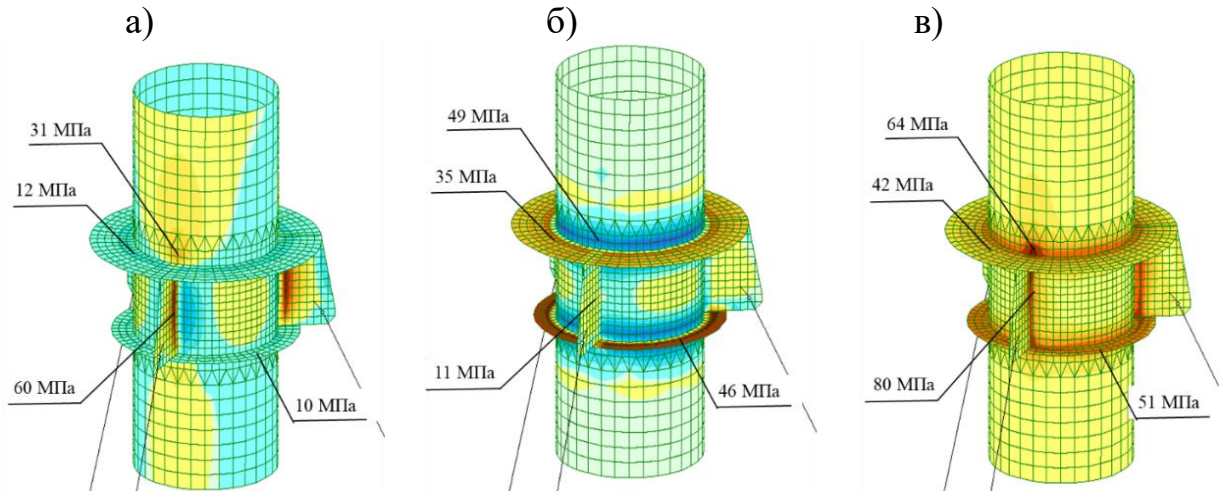


Рисунок 20 – Максимальные напряжения в элементах лацменного узла после усиления: а) меридиональные напряжения σ_x , б) кольцевые напряжения σ_y , в) приведенные напряжения σ_{ef}

Результаты исследования усиления показали, что увеличение толщины накладок от 5 до 10 мм оказывает влияние на изменение приведенных напряжений в лацменном узле трубы в пределах 30–55%. Зависимость изменения приведенных напряжений от толщины накладок усиления представлена на рис. 21.

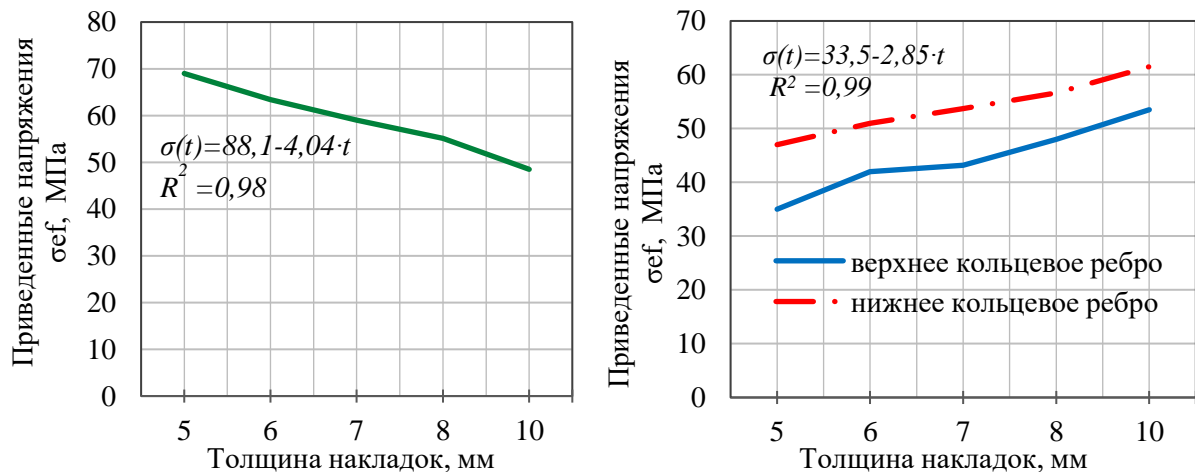


Рисунок 21 – Зависимость изменения приведенных напряжений от толщины накладок усиления: а – в оболочке ствола; б – в кольцевых ребрах

На рис. 22 разработана обобщенная схема методики оценки несущей способности, позволяющей выполнять оценку технического состояния дымовых труб на оттяжках.

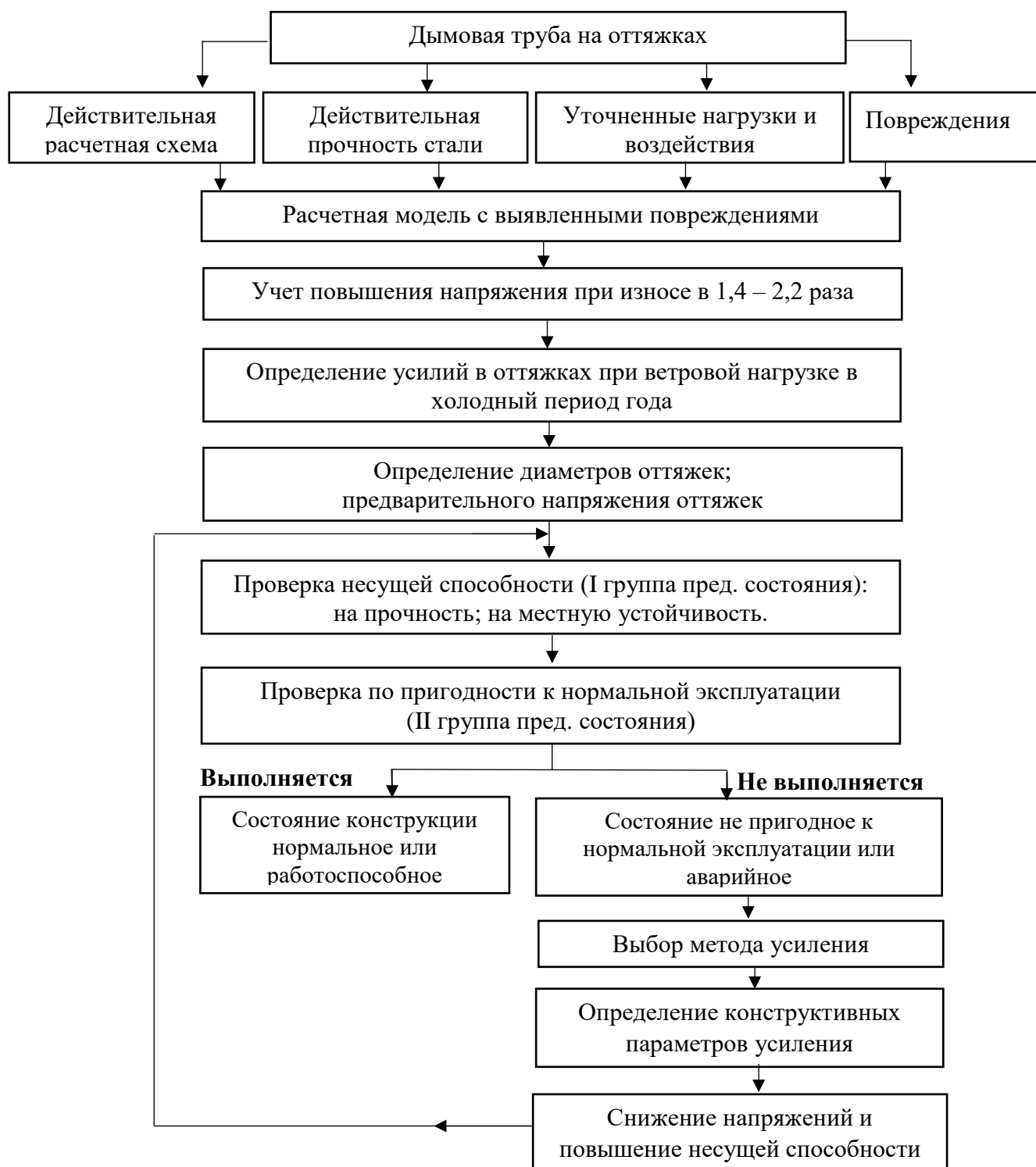


Рисунок 22 – Схема методики оценки несущей способности дымовых труб на оттяжках

ВЫВОДЫ

1. Основываясь на результатах натуральных исследований 32 дымовых труб проведен анализ образования и развития повреждений. Выявлены наиболее значимые повреждения, влияющие на НДС сооружения, которые включают: общий коррозионный износ до 50% сечения, локальный износ лацменного узла до 90%, крен трубы до 1/60 высоты ствола, обрыв оттяжек и

ослабление предварительного натяжения. Наиболее ответственными элементами дымовых труб являются лацменный узел и оттяжки.

2. На основании исследования влияния повреждений лацменного узла на несущую способность дымовых труб с оттяжками установлено:

– коррозийный износ до 50% кольцевых ребер лацменного узла приводит к увеличению в них приведенных напряжений в 2 – 2,2 раза для дымовых труб с соотношением d/H от 1/64 до 1/33.

– коррозийный износ стенки в уровне лацменного узла дымовой трубы, а также при совместном провисание оттяжек приводят к увеличению приведенных напряжений в стволе трубы в 1,4 раза. За счет ослабления предварительного натяжения оттяжек, приведенные напряжение в кольцевых ребрах, уменьшаются в 2 раза.

3. Разработанные конструктивные решения по восстановлению, предусматривают натяжение и замену оттяжек в двух уровнях. Это приведет к повышению долговечности дымовых труб с оттяжками и поможет выполнить мероприятия по их техническому обслуживанию. Получены рациональные уровни предварительных натяжений оттяжек. Приведены зависимости для определения диаметра оттяжек ($d=16,6+0,115H$) и предварительного напряжения оттяжек ($\sigma_{01} = -10,882+0,8088H$, $\sigma_{02} = -19,706+1,397H$).

4. Основой предложенного метода технического обслуживания дымовых труб с оттяжками является усиление лацменного узла, позволяющее уменьшить приведенные напряжения в стволе трубы в 2 раза. Однако, при натяжении провисающих оттяжек (13-17 МПа для 1-го уровня, 22-30 МПа для 2-го уровня), в кольцевых ребрах лацменного узла наблюдается увеличение приведенных напряжений в 2,8 раза.

При усилении лацменного узла выведены зависимости напряжений от толщины листа в стволе ($\sigma=88,1-4,04 \cdot t$) и кольцевом ребре ($\sigma=33,5-2,85 \cdot t$).

5. Разработанная методика определения НДС конструкций дымовых труб в условиях износа, принята для повышения долговечности стальной дымовой трубы на оттяжках $H=20$ м на предприятии ООО «ФИРМА «ПРОМСТРОЙРЕМОНТ», а также внедрена в учебный процесс в ГОУ ВПО «ДОННАСА» при подготовке специалистов по направлениям подготовки 08.03.01, 08.04.01 «Строительство».

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Губанов, В. В. Влияние конструктивных параметров на напряженно-деформированное состояние дымовой трубы с двумя уровнями оттяжек / В.В. Губанов, Е.Н. Оленич, А.В. Оленич. – Текст : непосредственный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научно-технические достижения студентов строительной-архитектурной отрасли: Сб. науч. тр. – Макеевка: ДОННАСА, 2019. – Выпуск 2019-4(138). – С. 57-63. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2019/vestnik_2019-4\(138\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2019/vestnik_2019-4(138).pdf) (Приведен анализ численных исследований влияния отдельных

конструктивных элементов на изменение напряжения в стволе трубы и разработаны рекомендации по выбору рациональных конструктивных решений дымовых труб с двумя уровнями оттяжек)

2. Губанов, В. В. Анализ влияния конструктивных характеристик оттяжек на усилие в дымовой трубе / В.В. Губанов, **Е.Н. Оленич**, А.В. Оленич. – Текст : непосредственный // Сборник тезисов докладов по материалам конференции «Научно-технические достижения студентов строительно-архитектурной отрасли» 19 апреля 2019 г. – Макеевка: ДОННАСА, 2019. – С. 149-150. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://donnasa.ru/publish_house/journals/studconf/2019/stud_konf_tezis_2019.pdf (*Приведен анализ влияния конструктивных характеристик оттяжек на усилие в дымовой трубе*).

3. Губанов, В. В. Напряженно-деформированное состояние лацменного узла дымовых труб с четырьмя оттяжками в условиях эксплуатации / В.В. Губанов, Е.Н. Оленич, А.В. Оленич. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса: сборник статей международной научно-практической конференции, 3-4 декабря 2019 г., Волгоград / М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Волгогр. гос. техн. ун-т., Ин-т архитектуры и строительства. - Волгоград: ВолгГТУ, 2019. – С.51-57. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_41745168_60829293.pdf (*Приведены численные исследования и анализ влияния различных конструктивных параметров на работу лацменного узла дымовых труб*).

4. Губанов, В. В. Влияние количества оттяжек на напряженно-деформированное состояние стальных дымовых труб / В.В. Губанов, **Е.Н. Оленич**. – Текст : непосредственный // Металлические конструкции – 2020. – Т. 26, № 3. – С. 131-142. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2020-3/03_gubanov_olenich.pdf (*Выполнены численные исследования и анализ влияния различных конструктивных параметров на работу дымовых труб с тремя и четырьмя оттяжками в плане. Приведены рекомендации по рациональному выбору конструктивных решений дымовых труб с тремя и четырьмя оттяжками в плане*).

5. Губанов, В. В. Усиление лацменных узлов дымовых труб / В.В. Губанов, С.Н. Мишура, **Е.Н. Оленич**. – Текст : непосредственный // Металлические конструкции – 2022. – Т. 28, № 1. – С. 19-31. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2022-1/02_gubanov_mishura_olenich.pdf (*Приведен анализ влияния повреждений в процессе износа и усиление на НДС лацменного узла дымовой трубы. Разработан метод усиления лацменного узла без существенного изменения конструктивных форм и расчётных схем.*)

6. Губанов, В. В. Особенности износа стальных дымовых труб на оттяжках труб / В.В. Губанов, **Е.Н. Оленич**. – Текст : непосредственный // Металлические конструкции – 2022. – Т. 28, № 4. – С. 167-181. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

http://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2022-4/st_01_gubanov_olenich.pdf
(Приведена методика проведения натурных исследований стальных дымовых труб с оттяжками. Представлены наиболее распространённые виды повреждений стальных дымовых труб на оттяжках, определены количественные характеристики этих видов).

АННОТАЦИЯ

Оленич Елена Николаевна. **Несущая способность дымовых труб на оттяжках с учётом технического обслуживания.** – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2.1.1 – Строительные конструкции, здания и сооружения. – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». – г. Макеевка, 2023 г.

Диссертация посвящена уточнению несущей способности стальных дымовых труб на оттяжках для повышения долговечности с учетом процессов износа и технического обслуживания.

Во **введении** обосновывается актуальность и общая характеристика работы. Определена цель, задачи исследований, дана характеристика объекта и предмета исследований, сформулирована научная новизна и практическая значимость результатов, полученных в диссертационной работе.

В **первом разделе** анализируется состояние вопроса. Рассматриваются общие конструктивные особенности дымовых труб, методы расчета нагрузок, приведены существующие методы расчета оболочек стальных дымовых труб и анализ повреждений конструкций. Представлены общие методы технического обслуживания конструкций.

Во **втором разделе** для выполнения численных исследований разработан программный комплекс статического расчета на основании прямого численного решения системы нелинейных уравнений. Разработана расчетная схема дымовой трубы в программном комплексе ПК ЛИРА для двух типов КЭ.

В **третьем разделе** изложены результаты натурных исследований эксплуатируемых дымовых труб на оттяжках. Согласно обобщенного опыта проведения обследований высотных сооружений, разработана методика проведения натурных исследований стальных дымовых труб на оттяжках. На основании данной методики выполнены натурные исследования и анализ результатов обследований дымовых труб с оттяжками. Выявленные повреждения: крен ствола 1/60 высоты, трещины в металле кожуха и в сварных швах, разрушение антикоррозионного покрытия и общий коррозионный износ ствола до 50% сечения; локальный износ лацменного узла до 90% сечения, обрыв оттяжек и ослабление предварительного натяжения. Установлено, что наиболее ответственными элементами дымовых труб являются лацменный узел и оттяжки.

В **четвертом разделе** приведены результаты численных исследований НДС наиболее ответственных элементов дымовых труб в условиях износа,

необходимые для разработки рекомендаций по рациональному выбору конструктивных параметров элементов усиления.

В пятом разделе разработаны эффективные методы технического обслуживания с учетом их влияния на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций. Приведены конструктивные решения по восстановлению и усилению типовых дымовых труб высотой до 100 м. Разработана обобщенная схема методики несущей способности, позволяющее выполнить оценку технического состояния конструкций.

В выводах приведены основные результаты, полученные в диссертации, имеющие научную новизну и основные решения поставленных задач.

Ключевые слова: дымовая труба, оттяжки, цилиндрическая оболочка, напряженно-деформированное состояние, расчетная схема, лацменый узел, износ, техническое обслуживание, усиление, ремонт.

ABSTRACT

Olenich Elena. **Bearing capacity of chimney stacks on suspensions with regard to maintenance.** - Manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. 2.1.1 - Engineering Structures, Buildings and Constructions. - Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture". - Makiyivka, 2023.

The thesis is devoted to specifying a bearing capacity of steel chimneys on straps to increase durability with an allowance for wear and maintenance processes.

The introduction substantiates the relevance and general characteristics of the work. The aim and objectives of the research are defined, the characteristics of the object and subject of research are given, scientific novelty and practical significance of the results obtained in the dissertation work are formulated.

The first section analyzes the state of the art. General structural features of chimneys, methods of load calculation are considered, existing methods of calculation of steel chimney shells and analysis of structural damages are given. General methods of structural maintenance are presented.

In the second section a program complex of static calculation based on the direct numerical solution of the system of nonlinear equations has been developed for numerical research. The calculation scheme of a chimney in the program complex PC LIRA for two types of BE is executed.

The third section contains the results of field studies of operating chimneys on suspended chimneys. According to the generalized experience of inspection of high-rise structures the manual procedure of full-scale studies of steel chimneys in suspended position has been developed. On the basis of the given technique field research and analysis of the results of investigation of chimneys with guy wire have been made. Revealed damages: barrel roll 1/60 height, cracks in the casing metal and in the welds, destruction of the anticorrosive coating and general corrosion wear of the barrel up to 50% of the cross-section; local wear of the lapel assembly up to 90% of the cross-section, breakage of the braces and weakening of

the pre-tension. It is established that the most important elements of the chimneys are the lapel assembly and the guy wires.

The fourth section presents the results of numerical research of the deflected mode of the most critical elements of chimneys under the conditions of wear and tear which are necessary for development of recommendations on the rational choice of structural parameters of reinforcement elements.

In the fifth section effective methods of maintenance with account of their influence on the stress-strain state of the bearing structures are developed. Structural solutions for restoration and strengthening of typical chimneys of boiler houses up to 100 m high are presented. A generalized scheme of the load-carrying capacity method allowing to estimate the technical state of structures has been developed.

The conclusions contain the main results obtained in the thesis, which have scientific novelty and the main solutions to the problems set.

Keywords: steel chimney, guys, cylindrical shell, the stress-strain state, calculation scheme, lacustrine assembly, wear, maintenance, reinforcement, repair.