

# ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В НАУЧНОЙ ШКОЛЕ ДОННАСА

**В.В. Губанов, доктор техн. наук**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

*Аннотация.* В статье рассмотрены основные этапы становления научных исследований в области расчета, проектирования и обеспечения долговечности несущих металлоконструкций высотных сооружений со стальным каркасом, выполненных в рамках научной школы д.т.н., проф. Е.В. Горохова. Изложены основные выполненные научно-исследовательские и экспериментальные работы, а также практические разработки для вытяжных башен, оболочек дымовых труб, башенных градирен, мачтовых опор сотовой связи, а также конструкций стальных укосных шахтных копров.

*Ключевые слова:* высотные сооружения, шахтные копры, дымовые трубы, мачты, экспериментальные исследования, повышение долговечности.

## ВВЕДЕНИЕ



*Губанов  
Вадим Викторович*

Под руководством Е.В. Горохова в 1980-х гг. начинается исследование высотных сооружений с металлическим каркасом, используемых в различных отраслях промышленности. Главной целью исследований было совершенствование конструктивной формы и повышение долговечности сооружений на основе исследования их действительной работы, особенностей повреждаемости и изыскания резервов несущей способности. Основными объектами стали эксплуатируемые сооружения, при этом необходимо было учитывать принципиальную особенность высотных сооружений по сравнению с обычными зданиями, а именно: значительно более тесную связь конструктивных решений с технологическим процессом, для которого предназначено высотное сооружение.

Основная научная новизна предложенных подходов состояла в следующем:

- исследование процессов износа при эксплуатации, а также разработка методов оценки влияния дефектов и повреждений на несущую способность;
- разработка способов повышения надежности и продления срока службы существующих сооружений;
- исследование действительной работы и использование опыта эксплуатации для совершенствования методов расчета и проектирования.

## РЕШЕТЧАТЫЕ БАШНИ

В 1990-х гг. под руководством Е.В. Горохова начались исследования решетчатых башенных сооружений. Были проведены натурные и численные исследования семи вытяжных башен ПО «Стирол» в г. Горловке высотой от 90 до 180 м трехгранного и четырехгранного сечения (рис. 1).

Проведенные исследования позволили получить обобщающие результаты относительно эксплуатационной надежности вытяжных башен [1]:

- выявлены основные факторы, влияющие на несущую способность и долговечность решетчатых башен;
- определены количественные характеристики влияния повреждений на параметры напряженно-деформированного состояния башен;
- разработана методика определения коэффициента условий работы для газотводящих стволов вытяжных башен, позволившая усовершенствовать конструктивные решения креплений стволов к диафрагмам;
- разработана методика определения остаточного срока службы решетчатых башен на основании данных натурных обследований.



а) вытяжная башня высотой 180 м с трехгранным стволом



б) газоотводящий ствол вытяжной башни высотой 180 м

Рис. 1. Вытяжные башни

### ВЫСОТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Натурные исследования.** Разработанная в 1980-90 годы методология оценки технического состояния, прогнозирования долговечности и продления срока службы эксплуатируемых сооружений была в дальнейшем распространена на другие типы специальных высотных сооружений с металлическим каркасом:

- а) 2000 г. — трехрожковая свеча дожигания конвертерного цеха высотой 80 м (рис. 2 а);
- б) 2002 г. — стальные дымовые трубы высотой 75 м, предназначенные для отвода газов доменных печей на Донецком металлургическом заводе (рис. 2 б);

в) 2003 г. — осветительная опора № 3, установленная на стадионе «Локомотив» в г. Донецке высотой 48,3 м (рис. 3 а);

г) 2007 г. — башенная решетчатая градирня Ясиновского коксохимического завода высотой 52,3 м и площадью орошения 1100 м<sup>3</sup> для охлаждения технологической воды (рис. 3 б).

**Теоретические исследования** в области высотных сооружений начиная с 2000-х гг. были направлены на разработку методов управления эксплуатацией сооружений, включая совершенствование методик обследования, оценки технического состояния, планирования обслуживания. Одной из главных проблем являлось создание методов учета условий эксплуатации сооружений и способов их обслуживания на стадии



а) трехрожковая свеча дожигания высотой 80 м с наружными газоотводящими стволами



б) стальные дымовые трубы высотой 75 м на оттяжках

Рис. 2. Высотные сооружения



а) осветительная опора



б) башенная решетчатая градирня высотой 52,3 м

Рис. 3. Высотные сооружения

проектирования. В рамках ее решения были получены следующие основные научные результаты [2]:

1. Разработаны математические модели изменения параметров различных типов износа во времени, которые сводят износ к эквивалентным потерям толщины элементов поперечного сечения в рамках концепции обобщенного износа, который характеризуется эквивалентной скоростью износа.

2. Разработаны структурные модели для стратегий технического обслуживания сооружений на протяжении жизненного цикла, которые включают различные мероприятия по уменьшению скорости износа и восстановлению конструкций и могут быть использованы как для новых, так и для эксплуатируемых сооружений.

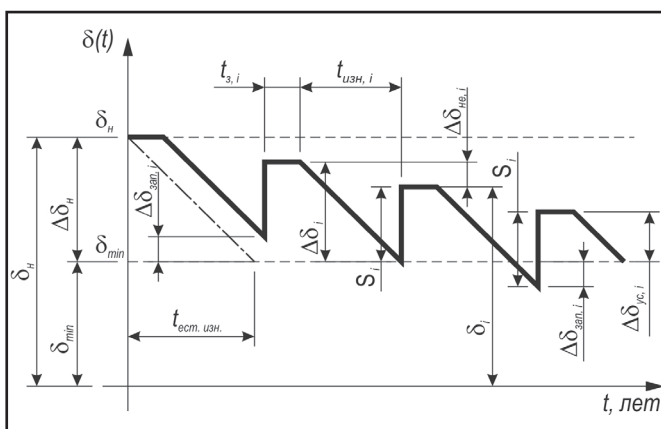
3. Разработаны математические модели (рис. 4) изменения конструктивных параметров сооружения в виде кусочно-непрерывных функций времени, кото-

рые учитывают особенности напряженного состояния стержневых элементов и цилиндрических оболочек сооружений в местах действия локальных напряжений.

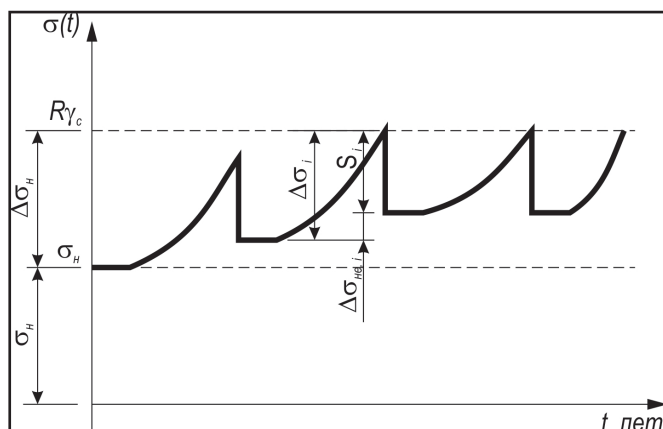
4. Разработан методический подход к расчету и проектированию высотных сооружений с применением наиболее эффективной стратегии технического обслуживания. Принципиальная новизна заключается во взаимной увязке расчетов конструкций и определения запасов несущей способности с мероприятиями по ремонту и усилению.

5. Разработаны принципы проектирования сооружений, которые обеспечивают заданный срок службы (рис. 5).

**Экспериментальные исследования оболочек дымовых труб.** Для совершенствования методов расчета и выбора конструктивных решений металлических дымовых труб и газоотводящих стволов выполнены



а) приведенная толщина



б) напряжения

Рис. 4. Изменение параметров элемента при реализации стратегии обслуживания, которая включает ремонт, усиление и восстановление противокоррозионной защиты



Рис. 5. Проектирование сооружений с учетом обслуживания

численные и экспериментальные исследования локальных напряжений в местах изменения геометрических характеристик и в зонах с наличием локальных искривлений оболочек. Экспериментальные исследования выполнены на лабораторной базе ДОННАСА в 2010–2014 гг. с использованием моделей узлов дымовых труб (рис. 6).

Основные результаты, полученные в исследова-

ниях локальных напряжений и устойчивости оболочек дымовых труб [4, 6], включают:

1. При выполнении исследований НДС оболочек обнаружено, что вклад местных напряжений составляет от 10 до 50% в общее значение приведенных напряжений.

2. Установлено, что в характерных узлах цилиндрических оболочек местные напряжения составляют от 10 до 30% от приведенных. Для инженерной практики



Рис. 6. Общий вид экспериментальной установки для исследования локальных напряжений

необходимо использовать коэффициенты учета случайных отклонений: для узла соединения цилиндра с опорным ребром футеровки  $k_p = 1,17$ ; для узла соединения цилиндра с конусом  $k_p = 1,3$ ; для узла соединения цилиндра с патрубком  $k_p = 1,2$ .

3. Получены коэффициенты увеличения напряжений в местах изменения геометрической формы, значения которых варьируются: для локальной вогнутости  $k = 1,1...1,8$ ; для эксцентриситета стыковки царг  $k = 1,1...1,2$  и западания кромок  $k = 1,14...2,5$ .

4. Установлено, что для сжато-изогнутых оболочек дымовых труб потеря устойчивости происходит при достижении напряжений текучести по всей толщине оболочки на участке, длина которого равна длине волны при потере устойчивости.

Мачты мобильной связи являются особым, относительно новым типом высотных сооружений, которые широко применяются в качестве опор для технологического оборудования беспроводных телефонной связи и интернета. Данные сооружения обладают специфическими особенностями — конструктивные элементы можно охарактеризовать небольшими размерами сечений, габариты сооружений в целом — малой высотой и горизонтальным выносом оттяжек (рис. 7).

Основные результаты исследования несущих конструкций мачт мобильной связи заключаются в следующем [5]:

1. Выполнены натурные исследования 27 мачт мобильной связи, анализ и классификация дефектов и повреждений, а также определены параметры их влияния на напряженно-деформированное состояние.

2. Разработаны рекомендации по диагностике и оценке технического состояния мачт.

3. На основе численных исследований разработаны рекомендации по выбору рациональных конструктивных решений мачт мобильной связи. Определены рациональные уровни предварительных напряжений оттяжек ( $25 \div 95$  МПа) и диаметров канатов ( $12 \div 16,5$  мм).

По результатам сделанных теоретических и экспериментальных исследований защищены докторская и несколько кандидатских диссертаций под научным руководством Е.В. Горохова и его учеников [1-6].

**Внедрение результатов исследований.** Разработанные теоретические методы анализа конструктивных форм с учетом обслуживания, результаты проведенных численных и экспериментальных исследований были использованы при проектировании специальных высотных сооружений:

а) стальные отдельно стоящие футерованные дымовые трубы высотой 50 и 60 м стекольного завода в г. Константиновке для отвода дымовых газов стекольных печей (рис. 8 а);

б) водонапорные башни высотой 30 м и объемом 100 и 150 м<sup>3</sup> стекольного завода в г. Константиновке, предназначенные для обеспечения охлаждения стекольных печей (рис. 8 а);

в) дымовая труба высотой 120 м и диаметром 2,4 м в г. Кременчуге с опорной башней треугольного сечения и элементами трубчатого сечения (рис. 8 б);

г) решетчатые башни и комбинированные опоры для оборудования сотовой связи высотой 30...60 м;

д) внутренний металлический газоход для улучшения газодинамических характеристик железобетонной дымовой трубы  $H = 250$  м в г. Курахово (рис. 9).



а) мачта с решетчатым стволom и двумя уровнями оттяжек



б) комбинированная система — железобетонный столб и стальная мачта



в) мачта с трубчатым стволom

Рис. 7. Конструктивные решения мачт мобильной связи



а) дымовые трубы и водонапорная башня



б) дымовая труба высотой 120 м

Рис. 8. Высотные сооружения, запроектированные с использованием научных разработок ДОННАСА

### ШАХТНЫЕ КОПРЫ

Шахтные копры являются одними из наиболее ответственных высотных сооружений шахтной поверхности, так как они обеспечивают вертикальный транспорт и связаны с системами вентиляции горных выработок и безопасности подъёма.

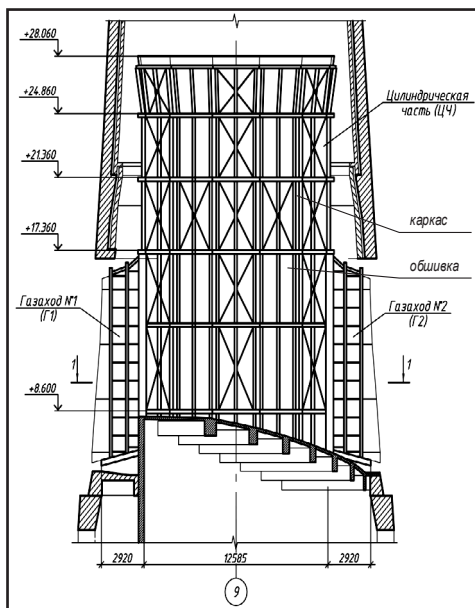


Рис. 9. Схема внутреннего газохода железобетонной дымовой трубы

В настоящее время на предприятиях угольной промышленности Донбасса находятся сотни копров, 80% из которых имеют металлический каркас и работают в условиях повышенных динамических нагрузок и интенсивного агрессивного воздействия техногенной среды (рис. 10).

Проблемы, связанные с надежностью шахтных копров, начиная с 1980-х гг. изучаются в ДОННАСА под руководством Е.В. Горохова. Особенности разработанных подходов являются комплексный учет силовых и техногенных воздействий на копры, а также рассмотрение работы копра в системе «подъемный сосуд – конструкции копра – подъемная машина».

На основании выполненного большого комплекса научно-исследовательских работ, направленных на исследование действительной работы и повышение ресурса шахтных копров, были получены следующие основные результаты:

1. Выполнены натурные обследования, оценка технического состояния и разработка документации по приведению конструкций в работоспособное состояние для 55 копров.

2. Изучены процессы повреждаемости копров и разработаны методы прогнозирования их остаточного срока службы.

3. Проведены экспериментальные динамические исследования укосных копров, которые позволили разработать новые, более точные методы определения нагрузок и выявить резервы несущей способности основных конструкций копров.

4. Разработаны методы динамического расчета копров для различных расчетных ситуаций, включая заклинивание подъемного сосуда, обрыв канатов и др.

5. Разработаны методы диагностики копров, а также методы усиления конструкций копров с учетом их напряженно-деформированного состояния, особенностей износа и степени ответственности элементов.

6. Разработаны способы реконструкции копров в зависимости от изменения параметров производственного процесса и технологического



а) станковая



б) полушатровая



Рис. 11. Шахтный копер после реконструкции

Рис. 10. Конструктивные системы укосных шахтных копров

оборудования. Большой экономический эффект достигается за счет увеличения глубины ствола. Это требует замены подъемной машины и выполнения сложного комплекса работ по диагностике, расчету и усилению копра.

Разработанные способы реконструкции копров в зависимости от изменения параметров производственного процесса и технологического оборудования внедрены в проекты реконструкции копров шахт Краснолиманская и Красноармейская–Западная №1 (рис. 11.).

По результатам выполненных теоретических и экспериментальных исследований копров были защищены докторская и несколько кандидатских диссертаций под научным руководством Е.В. Горохова и его учеников [7-9]. На основании исследований разработаны новые конструктивные решения шахтных копров [13-15], а также ряд нормативных документов [10-12].

#### Список литературы:

1. Губанов В.В. Обеспечение долговечности решетчатых башен. – Дисс. на соискание научной степени кандидата технических наук, Макеевка, 1995 г.
2. Губанов В.В. Обеспечение заданной долговечности металлических промышленных высотных сооружений. – Дисс. на соискание научной степени доктора технических наук, Макеевка, 2013 г.
3. Пчельников С.Б. Обеспечение надежности специальных промышленных зданий. – Дисс. на соискание научной степени кандидата технических наук, Макеевка, 2007 г.
4. Голиков А.В. Совершенствование методов расчета узлов металлических дымовых труб на прочность. – Дисс. на соискание научной степени кандидата технических наук, Макеевка, 2011 г.
5. Межинская И.В. Расчет и проектирование мачт мобильной связи с учетом характерных дефектов и повреждений. – Дисс. на соискание научной степени кандидата технических наук, Макеевка, 2013 г.
6. Кульчицкий А.Н. Расчёт тонкостенных оболочек дымовых труб с локальными геометрическими отклонениями. – Дисс. на соискание научной степени кандидата технических наук, Киев, 2015 г.
7. Куценко В.Н. Резервы несущей способности и обеспечение долговечности стальных конструкций шахтных копров. – Дисс. на соискание научной степени кандидата технических наук, Одесса, 1985 г.
8. Куценко В.Н. Обеспечение безопасности строительных конструкций укосных шахтных копров. – Дисс. на соискание научной степени доктора технических наук, Макеевка, 2007 г.
9. Кострицкий А.С. Учет динамического характера особых нагрузок на конструкции укосных шахтных. – Дисс. на соискание научной степени кандидата технических наук, Макеевка, 2003 г.
10. Методика обследования несущих стальных конструкций шахтных копров / Е.В. Горохов, В.Н. Куценко, К.Л. Пиличев, В.В. Махина, В.П. Матвеев, П.С. Листовенко; ЦБНТИ Минуглепрома УССР. – Донецк, 1984.
11. РД 12.003-92. Металлические конструкции шахтных копров. Порядок и организация обследования несущих металлических конструкций шахтных копров. – К., Госуглепром Украины, 1993. – 102 с.
12. РД 12.005-94. Металлические конструкции шахтных копров. Требования к эксплуатации. – К., Госуглепром Украины, 1994. – 68 с.
13. Шахтный копер: а. с. № 881283 / Е.В. Горохов, В.Н. Куценко. Заявл. 19.02.80; опубл. 1981. Бюл. № 42. – с. 158.
14. Предохранительное устройство к грузоподъемному механизму: а. с. № 969635 от 01.07.82 / Е.В. Горохов, В.Н. Куценко. – Заявл. 15.01.79; опубл. 1982. Бюл. № 40. – с. 81.
15. Шахтный копер: а. с. № 953166 / Е.В. Горохов, В.Н. Куценко. – Заявл. 06.01.81; опубл. 21.04.1982. Бюл. № 31. – с. 178.