



ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ЛОКАЛЬНОГО ПОСИЛЕННЯ ДИМОВИХ ТРУБ

В. В. Губанов, А. М. Кульчицький

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.
E-mail: vadvy@dgasa.dn.ua, 1megastroitel@gmail.com
Отримана 10 червня 2011; прийнята 24 червня 2011.*

Анотація. В статті розглядаються особливості розрахунку локального посилення димових труб для різних видів пошкоджень, таких як прогар, вигнутість оболонки, ексцентриситет стикування царг. Димові труби як листові конструкції на відміну від стрижневих мають свою специфіку пошкоджуваності та свою специфіку посилення. Для даного виду конструкцій виконана класифікація конструктивних рішень підсилення стволів металевих димових труб з різними варіантами ушкодження. Розглянуті варіанти посилення відносяться до посилення без істотної зміни конструктивної форми та розрахункової схеми конструкції. Наведено результати чисельних досліджень напружено-деформованого стану ділянок димових труб з різними конструктивними рішеннями посилення. Визначено найбільш раціональні методи підсилення для різних видів ушкоджень.

Ключові слова: димові труби, напружено-деформований стан, посилення, запас несучої здатності, конструктивні рішення.

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЁТА ЛОКАЛЬНОГО УСИЛЕНИЯ ДЫМОВЫХ ТРУБ

В. В. Губанов, А. Н. Кульчицкий

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.
E-mail: vadvy@dgasa.dn.ua, 1megastroitel@gmail.com
Получена 10 июня 2011; принята 24 июня 2011.*

Аннотация. В статье рассматриваются особенности расчёта локального усиления дымовых труб для различных видов повреждений, таких как прогар, вогнутость оболочки, эксцентриситет стыковки царг. Дымовые трубы как листовые конструкции в отличие от стержневых имеют свою специфику повреждаемости и свою специфику усиления. Для данного вида конструкций выполнена классификация конструктивных решений усиления стволов металлических дымовых труб с различными вариантами повреждения. Рассмотренные варианты усиления относятся к усилению без существенного изменения конструктивной формы и расчётной схемы конструкции. Приведены результаты численных исследований напряжённо-деформированного состояния участков дымовых труб с различными конструктивными решениями усиления. Определены наиболее рациональные методы усиления для различных видов повреждений.

Ключевые слова: дымовые трубы, напряженно-деформированное состояние, усиление, запас несущей способности, конструктивные решения.

THE FEATURES OF CHIMNEY'S LOCAL REINFORCEMENT CALCULATION

Gubanov Vadim, Kulchitskiy Artem

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.

E-mail: vadvy@dgasa.dn.ua, 1megastroitel@gmail.com

Received 10 June 2011; accepted 24 June 2011.

Abstract. The article considers the peculiarities of local strengthening chimneys calculation for various kinds of damages such as the blowhole, the concavity of a shell, the run-out of cylinder shell lining-up. Chimneys as plate structures have their own damageability specificity and strengthening specificity unlike the frame construction. It has been done the constructive decisions designs classification of metal chimneys trunks with different variants of damage for the given type of construction. The considered variants of strengthening concern strengthening without essential change of the constructive form and the settlement scheme of a design. Results of numerical researches of the intense-deformed condition of sites of chimneys with various constructive decisions of strengthening are established. The most rational methods of strengthening for various kinds of damages are defined.

Keywords: chimneys, stress-deformed state (SDS), reinforcement, bearing capacity reserve, constructive designs.

Формулировка проблемы

Металлические дымовые трубы и газоотводящие стволы являются широко распространенными сооружениями, подвергающиеся интенсивному износу. Дымовые трубы имеют относительно малый нормативный срок службы – 25 лет. В связи с эксплуатацией в агрессивных средах и подверженностью дефектам и повреждениям, актуальным становится вопрос по проектированию и расчёту усиления для такого типа сооружений. Дымовые трубы как листовые конструкции в отличие от стержневых имеют свою специфику повреждаемости и свою специфику усиления. Наиболее часто встречающиеся повреждения касаются не оболочки в целом, а локальных её участков. К таким повреждениям относятся: вогнутость, прогар, стыковка цапг с эксцентриситетом. При анализе нормативных и литературных источников [1–3], установлено, что методики расчета усиления для конкретного типа повреждения и дефекта оболочек дымовых труб разработаны недостаточно.

Цель исследования

Определить наиболее рациональные конструктивные решения усиления участков дымовых труб с локальными повреждениями на основе изучения их реальной работы.

Задачи работы

- выполнить анализ и классификацию методов усиления оболочек дымовых труб;
- выполнить анализ работы участков дымовых труб с различными вариантами усиления;
- определить рациональные конструктивные решения по усилению участков дымовых труб с различными видами локальных повреждений.

Основной материал

В классической литературе по расчёту усиления строительных конструкций приведены методы расчёта усиления, как правило, приме-

нительно для стержневых конструкций. Дымовые трубы представляют собой тонкостенные оболочечные конструкции, в которых присутствует своя специфика повреждаемости, а также специфика расчёта усиления. При расчёте усиления дымовых труб, конструкцию ствола дымовой трубы можно представить как в виде оболочки, так и в виде стержня.

Согласно указаниям [5] усиление конструкций производят с целью снижения действующих в конструкции напряжений при заданных нагрузках. Анализ разработанных и применённых на практике методов усиления позволяет всё многообразие конкретных решений свести в группы:

- усиление без существенного изменения конструктивных форм и расчётных схем конструкций (увеличение сечений конструкций и их элементов);
- усиление изменением конструктивных и расчётных схем конструкций (регулирование напряжений в элементах существующих конструкций), таких как подведение дополнительных опор, изменение расчётной схемы, введение предварительно напряжённых элементов.

Расчёт элементов усиления и усиливаемых конструкций ведётся по методу предельных состояний и в соответствии с действующими нормами. Цель расчёта – обеспечить прочность и устойчивость конструкций, а также ограничить их деформативность.

Общий подход к расчёту усиления. Расчёт сжато-изгибаемых элементов

Согласно [5] усиление сжато-изгибаемых элементов производится, когда краевые напряжения не превышают величины $0.8 \cdot R_y \cdot \gamma_c$.

Усиливающие детали могут быть не заведены и не прикреплены в узлах, если на границах узлов соблюдено условие:

$$\frac{N_c + \Delta N_b}{A_{cn}} + \frac{M_c + \Delta M_d}{W_{cn}} \leq R_y \cdot \gamma_c,$$

где M_c – расчётный изгибающий момент от нагрузок, действующих в момент усиления; ΔM_d – приращение расчётного изгибающего момента от нагрузок, возникающих после усиления;

W_{cn} – момент сопротивления брутто основного сечения до усиления.

Усиление сечения сжато-изогнутых элементов проверяют на прочность и на устойчивость в двух плоскостях (в плоскости и из плоскости действия момента).

Проверка прочности в крайнем волокне основного сечения с учётом упругой стадии производится по формуле:

$$\frac{N_c}{A_{cn}} + \frac{\Delta N_d}{A_{cn} + \Delta A_{dn}} + \frac{M_y \cdot \gamma_c}{I_c} + \frac{M_d \cdot \gamma_{ob}}{I_{ob}} \leq R_y \cdot \gamma_c,$$

где γ_c – расстояние до нейтральной оси элемента усиления;

γ_{ob} – расстояние до нейтральной оси после усиления;

I_c – момент инерции элемента до усиления;

I_{ob} – момент инерции (общий) после усиления.

В крайнем волокне усиливающей детали:

$$\frac{\Delta N_d}{A_{cn} + \Delta A_{dn}} + \frac{M_d \cdot \gamma_d}{I_{ob}} \leq R_y \cdot \gamma_c,$$

где γ_d – расстояние до нейтральной оси усиливающей детали.

Следовательно, требуемая площадь сечения усиления локальной зоны:

$$\Delta A_{dn} \geq \frac{A_{cn} \cdot I_c \cdot I_{ob} \cdot \Delta N_b - A_{cn} \cdot D}{D},$$

где

$$D = R_y \cdot \gamma_c \cdot A_{cn} \cdot I_c \cdot I_{ob} - N_c \cdot I_c \cdot I_{ob} - M_y \cdot \gamma_c \cdot A_{cn} \cdot I_{ob} - M_d \cdot \gamma_{ob} \cdot A_{cn} \cdot I_c.$$

Основные варианты усиления повреждения дымовых труб

Основные варианты усиления участков дымовых труб с локальными повреждениями приведены в табл. 1, 2.

Анализ работы участков дымовых труб с усилением

Для определения в локальных зонах оболочки с усилением, используем следующую формулу:

$$\sigma_{np(cp)} = \frac{\sigma_1 l_1 + \sigma_2 l_2 + \sigma_n l_3}{l_1 + l_2 + l_3},$$

где σ_1 – приведенное напряжение на 1-м участке,
 l_1 – зона распространения напряжения σ_1 ,
 σ_2 – приведенное напряжение на 2-м участке,

l_2 – зона распространения напряжения σ_2 ,
 σ_3 – приведенное напряжение на 3-м участке,
 l_3 – зона распространения напряжения (рис. 1).

Таблица 1. Усиление локальной вогнутости

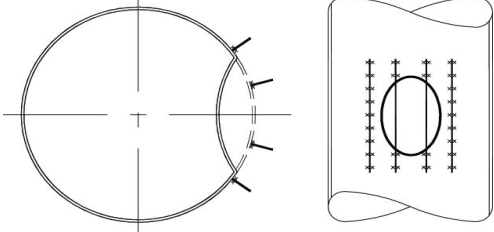
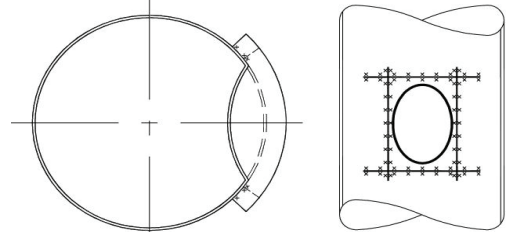
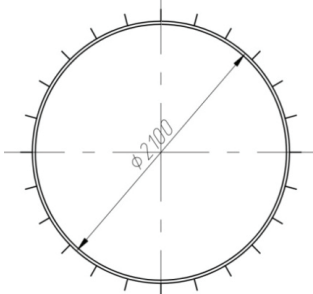
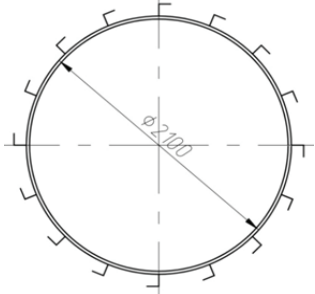
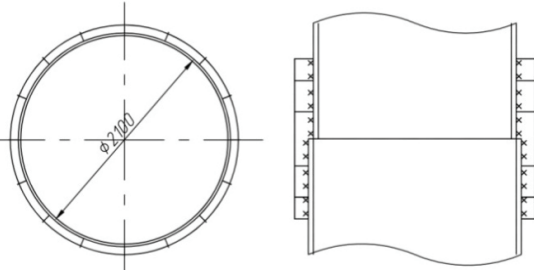
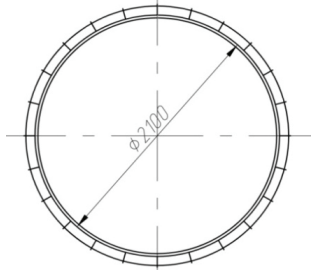
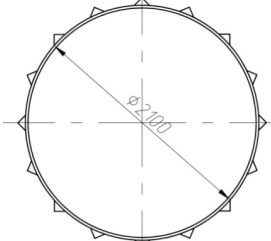
а) усиление продольными ребрами	б) усиление продольными и поперечными ребрами
	

Таблица 2. Усиление стыковки цаг с эксцентриситетом

а) усиление продольными ребрами (24 шт.)	б) усиление путем простановки Г-образных ребер по периметру оболочки в количестве 16 шт.
	
в) усиление путем простановки продольных и поперечных ребер	г) усиление путем простановки продольных ребер с дублирующей оболочкой большего диаметра
	
д) усиление путем простановки ребер в виде уголков по периметру оболочки (16 шт.)	
	

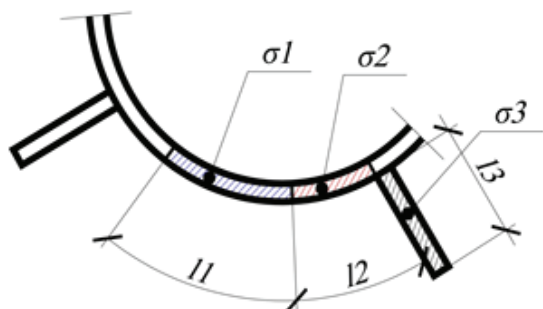


Рисунок 1. Распределение напряжений по участкам.

Распределение напряжений на участках дымовых труб до и после усиления

Поскольку методика расчёта усиления для данного вида конструкций отсутствует, наиболее рациональные методы усиления были определены на основе численного исследования. В качестве критерия оценки влияния усиления на НДС оболочки выполнено сопоставление напряжений до и после усиления, путём анализа пространственной работы исследуемого участка (табл. 3).

Выводы

1. На основании проведенного анализа установлено, что основными видами дефектов и повреждений для участков дымовых труб являются вогнутость в оболочке и эксцентриситет стыковки царг.
2. На основании численных исследований работы участков дымовых труб с усилением были определены наиболее рациональные виды усиления участков дымовых труб с локальными повреждениями.

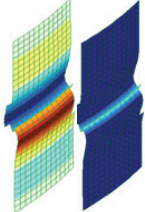
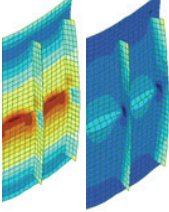
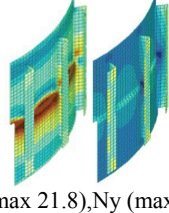
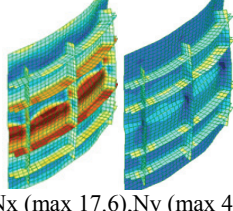
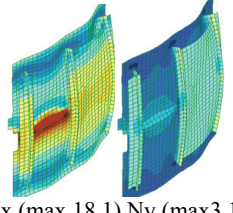
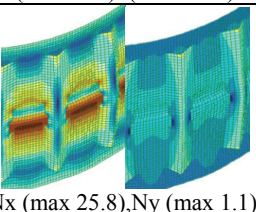
Наиболее рациональный вариант усиления для участка с вогнутостью – установка продольных и поперечных ребер. Приведенные напряжения для данного вида усиления в локальной зоне снижены на 117 %. Установка продольных ребер снижает приведенные напряжения на 105 %.

Наиболее рациональный вариант усиления эксцентриситета стыковки царг – установка продольных ребер в виде уголков (16 шт.) – приведенные напряжения в локальной зоне снижены на 64 %. Установка продольных ребер с дублирующей оболочкой большего диаметра снижает

Таблица 3. Распределение напряжений на участках дымовых труб с локальными повреждениями до и после усиления

Вид повреждения	Распределение напряжений на участке с локальным повреждением, МПа	Метод усиления	Распределение напряжений на участке после усиления, МПа	$\sigma_{пр}$, МПа до усиления	$\sigma_{пр}$, МПа после усиления	% снижения $\sigma_{пр}$
1	2	3	4	5	6	7
1. Локальная вогнутость	 N_x (max 6.0), N_y (max 0.4), (min -6.0) (min -51.7)	а) усиление поперечными ребрами	 N_x (max 6.5), N_y (max 0.4), (min -5.1) (min -32.7)	83.7	40.9	105
		б) усиление поперечными и продольными ребрами	 N_x (max 3.3), N_y (max 0.3), (min -4.0) (min -29.5)		38.5	117

Окончание таблицы 3.

Вид повреждения	Распределение напряжений на участке с локальным повреждением, МПа	Метод усиления	Распределение напряжений на участке после усиления, МПа	σ_{np} , МПа до усиления	σ_{np} , МПа после усиления	% снижения σ_{np}
1	2	3	4	5	6	7
2. Стыковка цаг с эксцентриситетом	 $N_x(\max -38.7), N_y(\max -19.5),$ $(\min -41.8) (\min -41.3)$	а) усиление продольными ребрами (24 шт.)	 $N_x(\max 15.7), N_y(\max 0.8),$ $(\min -9.8) (\min -38.1)$	72	53.4	38.4
		б) усиление путем простановки Г-образных ребер по периметру оболочки в количестве 16 шт.	 $N_x(\max 21.8), N_y(\max 2.8),$ $(\min -13.1) (\min -61.0)$		62.1	15.9
		в) усиление путем простановки продольных и поперечных ребер	 $N_x(\max 17.6), N_y(\max 4),$ $(\min -13.5) (\min -58.2)$		54.4	32.3
		г) усиление путем простановки продольных ребер с дублирующей оболочкой большего диаметр	 $N_x(\max 18.1), N_y(\max 3.1),$ $(\min -12.1) (\min -51.1)$		49.2	46.4
		д) усиление путем простановки ребер в виде уголков по периметру оболочки (16 шт.)	 $N_x(\max 25.8), N_y(\max 1.1),$ $(\min -29.5) (\min -76.8)$		43.8	64.2

приведенные напряжения в локальной зоне на 46,4 %. Установка продольных ребер (24 шт.) –

на 34,8 %, установка Г-образных ребер – на 15,9 %.

Литература

1. Державні будівельні норми. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації : ДБН 362-92. – Введ. 1992-07-01. – К. : Укрархбудінформ, 1995. – 18 с.
2. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81* «Стальные конструкции») / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. - М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1989. - 148 с.
3. Строительные нормы и правила. Стальные конструкции : СНиП II-23-81*. – Взамен СНиП II-В.3-72; СНиП II-И.9-62; СН 376-67 ; введ. 1982-01-01. – М. : ФГУП ЦПП, 2005. – 90 с.
4. Губанов, В. В. Расчёт и конструирование газоотводящих стволов с местными напряжениями / В. В. Губанов, А. В. Голиков // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, ДонНАБА. – 2009. – Вип. 4(78) : Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології. – С. 215–220.
5. Ребров, И. С. Усиление стержневых металлических конструкций / И. С. Ребров. – Л. : Стройиздат, Ленинградское отделение, 1988. – 288 с.
6. Code of practice for design and construction of steel chimney. Indian Standart / Part 1, 2.P. 46. 2001.
7. Model code for concrete / Steel Chimneys Part D – GRP Liners (April 2009). – ISBN 1902998030.
8. EUROCODE 3. pr EN 1993-3-2:1997 – Structural design rules for steel chimneys // B.W. Smith et al., 1997.
9. DIN 4133, Schornsteinaus Stahl, November 1991.

References

1. Building Norms and regulations. Evaluation of the technical state of steel structures of industrial buildings and facilities in operation: DBN 362–92. Kyiv: Ukrarhbudinform, 1995. 46 p. (in Ukrainian).
2. Manuals to design steel structures. Introduced to SNiP II-23-81* «Steel structures». Moscow: TsITP Gosstroia SSSR, 1989. 148 p. (in Russian).
3. Structural Rules and Regulations. Steel structures. SNiP II-23-81*. Moscow: FGUP TsPP, 2005. 90 p. (in Russian).
4. Gubanov, V. V.; Golikov, O. V. Calculation and gas pipes with local stresses. In compendium Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2009, Vol. 4(78): Towers: building materials, structures, processes, p. 215–220. (in Russian).
5. Rebrov, I. S. Strengthening of bar steel structures. Leningrad: Stroiizdat, Leningradskoe otdelenie, 1988. 288 p. (in Russian).
6. Code of practice for design and construction of steel chimney. Indian Standart / Part 1, 2.P. 46. 2001.
7. Model code for concrete / Steel Chimneys Part D - GRP Liners (April 2009). – ISBN 1902998030.
8. EUROCODE 3. pr EN 1993-3-2:1997 – Structural design rules for steel chimneys // B.W. Smith et al., 1997.
9. DIN 4133, Schornsteinaus Stahl, November 1991.

Губанов Вадим Вікторович – к.т.н., доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Інституту інженерів будівельників (The Institution of Civil Engineers, Великобританія). Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних металевих конструкцій, розрахунок та проектування висотних споруд.

Кульчицький Артем Миколайович – аспірант кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: збільшення терміну експлуатації висотних споруд на основі вдосконалення конструктивних рішень і методів розрахунку.

Губанов Вадим Вікторович – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член Института инженеров строителей (The Institution of Civil Engineers, Великобритания). Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций, расчет и проектирование высотных сооружений.

Кульчицкий Артём Николаевич – аспирант кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: продление срока эксплуатации высотных сооружений на основе совершенствования конструктивных решений и методов расчёта.

Gubanov Vadim – a Ph. D. (Eng.), assistant professor of the «Metal Structures» Department of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a member of The Institute of Civil Engineers, Great Britain. Scientific interests: the reliability of metal structures operation, calculation and altitude structures designing.

Kulchitskiy Artem – is post-graduate student of the «Metal Structures» Department of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: extending the life of altitude structures on the basis of perfection of constructive solutions and methods of calculation.