



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

2011, ТОМ 17, НОМЕР 4, 217–224

УДК 624.014.2:624.9

(11)-0248-1

РОЗВИТОК МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ СТАЛЕВИХ ВИСОТНИХ СПОРУД

В. В. Губанов

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

E-mail: vadvy@donnasa.edu.ua

Отримана 8 липня 2011; прийнята 25 листопада 2011.

Анотація. У цій статті аналізуються методичні підходи до розв'язання задач розрахунку і проектування висотних споруд з несучим металевим каркасом. До їх числа відносяться димові труби, витяжні башти, градирні і водонапірні башти. Рекомендації щодо конкретизації методів і напрямів дослідження даються для висотних споруд з урахуванням їх дійсної роботи і процесів обслуговування у процесі експлуатації. Наводиться класифікація типів висотних споруд залежно від виду несучих конструкцій і типу обладнання. Визначальним у роботі висотних споруд є суміщення функцій несучими конструкціями. У статті наводиться класифікація граничних станів. При цьому одержано, що граничні стани першої групи для обладнання є граничними станами групи 2 для споруд в цілому. Аналіз категорій відповідальності конструкцій і елементів споруд показує, що можливе ранжування елементів і конструкцій для підвищення ефективності розрахунків.

Ключові слова: висотні споруди, надійність, розрахунок, дійсна робота, обслуговування.

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СТАЛЬНЫХ ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В. В. Губанов

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

E-mail: vadvy@donnasa.edu.ua

Получена 8 июля 2011; принята 25 ноября 2011.

Аннотация. В данной статье анализируются методические подходы к решению задач расчета и проектирования высотных сооружений с несущим металлическим каркасом. К их числу относятся дымовые трубы, вытяжные башни, градирни и водонапорные башни. Рекомендации по конкретизации методов и направлений исследования даются для высотных сооружений с учетом их действительной работы и процессов обслуживания в процессе эксплуатации. Приводится классификация типов высотных сооружений в зависимости от вида несущих конструкций и типа оборудования. Определяющим в работе высотных сооружений является совмещение функций несущими конструкциями. В статье приводится классификация предельных состояний. При этом получено, что предельные состояния первой группы для оборудования являются предельными состояниями группы 2 для сооружения в целом. Анализ категорий ответственности конструкций и элементов сооружений показывает, что возможно ранжирование элементов и конструкций для повышения эффективности расчетов.

Ключевые слова: высотные сооружения, надежность, расчет, действительная работа, обслуживание.

DEVELOPMENT OF DESIGN TECHNIQUES FOR HIGH-RISE STEELWORKS

Vadim Gubanov

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

E-mail: vadov@donnasa.edu.ua

Received 8 July 2011; accepted 25 November 2011.

Abstract. The backgrounds to solving problems in calculation, verification and design for high-rise steelworks are discussed in the paper. The analysis of responsibility levels of structural elements and the limit state classification have been done. The schemes of failure sequence have been developed for lattice and shell cylindrical structures. The advice for specification of ways in the high-rise steelworks investigations accounting for changes in structural parameters and maintenance are given. Classification of high-rise structures depending on load-carrying type structures and types of equipment is given. Matching of load-carrying structures functions is the main factor of high-rise structures functioning. The paper deals with the classification of limiting states. It is also established that the limiting state of the first group for the equipment is the limiting state of the second group for the structure as a whole. The analysis of responsibility categories of structures and structure components shows that ranging of components and structures for analysis efficiency increase is possible.

Keywords: high-rise steelworks, reliability, design, maintenance.

Высотные сооружения со стальным каркасом широко используются в различных отраслях промышленности. К их числу относятся дымовые трубы, решетчатые и вытяжные башни, градирни и водонапорные трубы. Основной задачей при проектировании и эксплуатации является обеспечение надежности и долговечности такого типа сооружений. Для этого существуют два основных метода: во-первых, проектирование с заданной вероятностью безотказной работы. Основные принципы реализованы в системе нормативных документов в рамках расчета по предельным состояниям. Другим методом является активное воздействие на конструкцию в процессе ее работы для поддержания работоспособного состояния и предотвращения аварий [2].

В настоящее время разработаны методы определения ветровых нагрузок на высотные сооружения по нормам Украины [3], по Eurocode 1 [8], вероятностное представление нагрузок [1, 7], расчет систем решетчатых и трубчатых конструкций [6]. Для динамического и статического расчета используются программные комплексы, позволяющие решать задачи в линейной и нелинейной постановке [4]. При этом используется допущение, что свойства конст-

рукции остаются на протяжении срока службы неизменными. Это является неверным для высотных сооружений вследствие наличия износа и сложности обслуживания. Для подбора сечений и выполнения проверочных расчетов используются нормы [5], в которых не находят отражения очень многие особенности работы узлов конструкций, расчетов на выносливость и т. д. Отчасти, это объясняется отсутствием единых методических подходов к высотным сооружениям, которые не позволяют учесть существенные параметры реакции сооружений и их изменение в процессе жизненного цикла, а также учесть необходимые мероприятия по обслуживанию на стадии проектирования.

Цель данной работы – выполнить анализ особенностей конструктивных решений высотных сооружений и воздействий на них и на основании анализа определить основные направления развития методов расчета и проектирования данного типа сооружений. Для этого необходимо выполнить анализ предельных состояний, ответственности элементов и последовательности отказов.

Объектом данной работы являются отдельно стоящие высотные сооружения с технологическим оборудованием. В число не входят

специфические сооружения типа канатных дорог и общественного назначения. Классификация сооружений по основным конструктивным параметрам приводится в таблице 1.

Принципиальным моментом для рассматриваемого класса сооружений является наличие технологического оборудования, которое, кроме выполнения технологических функций, в той или иной мере участвует в восприятии нагрузок и воздействия. В графе 6 таблицы 1 указывается, насколько технологическое оборудование выполняет функции несущей системы. Наиболее распространенной конструктивной системой технологического оборудования является цилиндрическая оболочка как без внутреннего давления (дымовые трубы и газоотводящие стволы), так и с внутренним давлением (баки водонапорных башен). Основным методом расчета несущих конструкций и оборудования, в той мере, в какой оно выполняет несущие функции, является расчет по предельным состояниям. Классификация предельных состояний элементов высотных сооружений приводится в таблице 2. Следует отметить, что

разрушение башенных градирен принципиально отличается от разрушения других высотных сооружений, поскольку при этом падение конструкций может произойти только внутрь и повредить водораспределительные системы.

Значения коэффициентов надежности по ответственности γ_n непосредственно влияют на расчетный уровень напряжений и зависят от категории ответственности. На основании [9] можно выделить следующие категории ответственности конструкций и элементов высотных сооружений, учитывающие особенности их работы:

- 1) А – конструкции, отказ которых может привести к обрушению сооружения в целом;
- 2) Б – конструкции, отказ которых может привести к снижению несущей способности сооружения в целом или отказу технологического оборудования;
- 3) В – конструкции, отказы которых не влияют на функционирование других элементов.

Классификация конструкций и элементов высотных сооружений по категориям ответственности приводится в табл. 3.

Таблица 1. Конструктивные параметры высотных сооружений

№	Тип сооружения	Основные несущие конструкции	Статическая схема	Технологическое оборудование	Совмещение функций
1.	Дымовая труба – отдельно стоящая;	оболочка	консольный стержень	оболочка дымовой трубы	полное
	– с оттяжками;	оболочка и ванты	комбинированная система		частичное
	– с подкосами;	оболочка и подкосы	рамная система		частичное
	– с несущей башней	решетчатая башня	консольный стержень		на отдельных участках
2.	Вытяжная башня, включая: – несущая башня	решетчатая башня	консольный стержень	газоотводящий ствол	отсутствует
	– газоотводящий ствол	оболочка	неразрезная балка		на отдельных участках
3.	Водонапорная башня, включая: – несущая башня	решетчатая башня	консольный стержень	цилиндрический резервуар	отсутствует
	– бак		оболочка		полное
4.	Башенная градирня	решетчатая башня	пространственная система	неметаллическое ограждение, водораспределительная система	отсутствует

Таблица 2. Предельные состояния

№	Тип конструкции	Элементы	Критерий отказа	Группа пред. сост.
1.	Несущая решетчатая башня	в целом	1. Опрокидывание	1
			5. Чрезмерные горизонтальные деформации	2
		пояса, решетка	2. Вязкое разрушение	1
			3. Потеря устойчивости	1
		стыки поясов, узловые соединения	4. Усталостная трещина	1
		диафрагмы	2. Вязкое разрушение	1
5. Чрезмерные вертикальные и горизонтальные деформации	2			
2.	Технологическое оборудование	в целом	6. Необеспечение технологических функций	2
		оболочка	2. Вязкое разрушение	1, 2 *
			3. Потеря устойчивости из-за геометрических отклонений	1, 2 *
		стыки оболочки	4. Усталостная трещина	1, 2 *
		узлы	2. Вязкое разрушение из-за краевых напряжений	1, 2 *
3.	Средства доступа	балки площадок и лестницы	2. Вязкое разрушение	1, 2 *

Примечание: * для сооружения в целом.

Таблица 3. Категории ответственности элементов сооружений

№	Конструкция	Элемент	Категория			
			A1	A	Б	В
1.	Решетчатая башня	пояса	+	+	-	-
		решетка	-	+	+ *	-
		диафрагмы	-	+	+ *	-
2.	То же, градирни	пояса	-	+	+ *	-
		решетка	-	+	+ *	-
		диафрагмы	-	+	+ *	-
3.	Ствол отдельно стоящей дымовой трубы	оболочка	+	+	-	-
4.	Газоотводящий ствол	оболочка	-	-	+	-
5.	Бак водонапорной башни	оболочка	-	+ **	+	-
		опорные конструкции	-	+	-	-
6.	Оттяжки	-	-	+	-	-
7.	Средства доступа – лестницы и площадки	-	-	-	-	+

Примечания: * при отказе отдельных элементов;

** при полном разрушении.

Категория А1 обозначает главные несущие конструкции, которые обеспечивают отсутствие полного обрушения при аварийных влияниях.

Для конструкций категории А необходимы дополнительные методы гарантирования безопасности [9]. В качестве наиболее универсального метода для элементов из табл. 3 следует принять назначение запасов по несущей способности путем увеличения толщины элементов. Это соответствует принципу резервирования по ДБН В.1.2-14-2009.

Степень ответственности элементов связана с последовательностью отказов конструкций. Последовательность этапов отказов приводится на рис. 1 и рис. 2. Этап III может состоять из нескольких стадий, отражающих последовательность разрушения все большего количества элементов или участков оболочек. Это происходит вследствие того, что разрушение конструкций необязательно будет происходить лавинообразно из-за особенностей ветровых нагрузок, максимумы которых являются редким явлением. Схемы разрушения рекоменду-

ется использовать при количественном анализе вероятности разрушения конструкций.

На основании анализа предельных состояний и видов отказов элементов можно определить основные направления развития методов расчета высотных сооружений, схематично представленные на рис. 3. Следует отметить необходимость учета изменения конструктивных параметров сооружений в процессе жизненного цикла. Это связано с тем, что как неблагоприятные изменения (износ), так и благоприятные (усиление) приводят к изменению динамических свойств сооружения, влияющих на значение инерционных сил, возникающих при пульсациях скорости ветра.

Выводы

1. В силу того, что технологическое оборудование высотных сооружений выполняет двойные функции, отказ технологических конструкций соответствует первой группе для самих технологических конструкций и второй группе для сооружения в целом.



Рисунок 1. Последовательность отказов несущих конструкций решетчатых сооружений.



Рисунок 2. Последовательность отказов сооружения с несущей цилиндрической оболочкой (стволом).

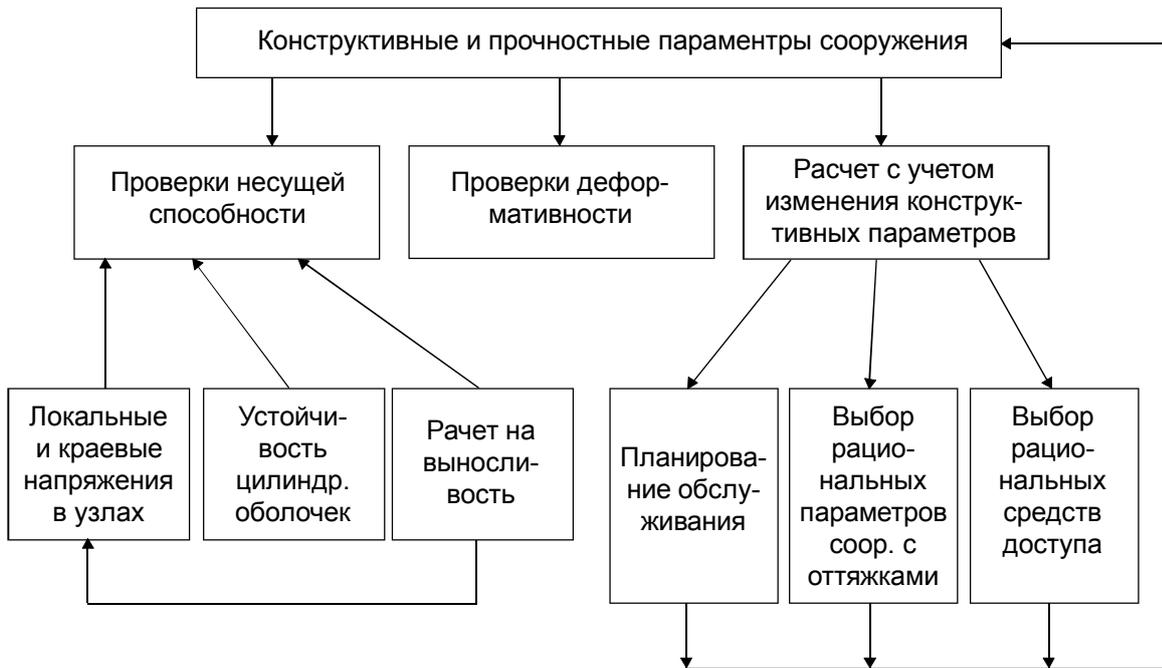


Рисунок 3. Развитие методов расчета высотных сооружений с учетом обслуживания.

2. Категория ответственности отдельных элементов зависит от количества отказавших элементов. Поскольку вследствие унификации сечений уровень нагруженности элементов различен, одновременные отказы маловероятны, поэтому обоснованным является присвоение таким элементам более низкой категории по сравнению с требованиями [9].
3. При расчете конструкций категории А должна обеспечиваться их устойчивость к воз-

действиям среды. Основным методом для элементов высотных сооружений является резервирование в виде назначения запасов по толщине.

4. Основные направления совершенствования расчетов включают учет влияния изменения конструктивных параметров сооружения на его несущую способность в процессе эксплуатации. Этот вопрос требует дальнейшего исследования.

Литература

1. Пичугин, С. Ф. Ветровая нагрузка на строительные конструкции [Текст] / С. Ф. Пичугин, А. В. Махинько. – Полтава : АСМІ, 2005. – 342 с.
2. Губанов, В. В. Способы повышения надежности и долговечности высотных сооружений с металлическим каркасом [Текст] / В. В. Губанов // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, ДонНАБА. – Макіївка, 2009. – Вып. 2009-4(78) : Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології. – С. 209–214.
3. Державні будівельні норми. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування [Текст] : ДБН В.1.2-2:2006. – Замість СНиП 2.01.07-85 ; надано чинності 2007-01-01. – К. : Мінбуд України, 2006. – 61 с.
4. Евзеров, И. Д. Применение ПК Лира для решения сложных геометрически нелинейных динамических задач [Текст] / И. Д. Евзеров, М. В. Лазнюк // Збірник наукових праць УкрНДІпроектстальконструкція ім. В. М. Шимановського / Під загальною редакцією заслуженого діяча науки і техніки України, д. т. н., професора О. В. Шимановського. – К. : Вид-во «Сталь», 2009. – Вип. 3. – С. 192–199.
5. 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.
6. Чернышев, Д. Д. Работа высотных башен с пакетами вытяжных труб на ветровую нагрузку [Текст] / Д. Д. Чернышев, И. С. Холопов, А. В. Атаманчук // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, ДонНАБА. – Макіївка, 2009. – Вып. 2009-4(78) : Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології. – С. 13–21.
7. Pichugin, S. Features of probabistic design of steel communication structures [Текст] / S. Pichugin, A. Makhinko // Збірник наукових праць УкрНДІпроектстальконструкція ім. В. М. Шимановського / Під загальною редакцією заслуже-

References

1. Pichugin, S. F.; Mahinko, A. V. Wind loading on building structures. Poltava: ASMI, 2005. 342 p. (in Russian)
2. Gubanov, V. V. Methods of reability and lasting increasing of altitudinal structures. In *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2009, Vol. 4(78): Towers: building materials, structures, processes, p. 209–214. (in Russian)
3. National Structural Rules and Regulations. The system of reliability and safety provision of constructional projects. Loads and effects: DBN B.1.2-2:2006. Kyiv: Minbud of Ukraine, 2006. 61 p. (in Ukrainian)
4. Evzerov, I. D.; Laznyuk, M. V. Lira PC use for complex geometrical non-linear dynamic problem solving. In *compendium V. M. Shimanovsky UkrNDIproektstalkonstruksiya*. Kyiv: Stal, 2009, Vol. 3, p. 192–199. (in Russian)
5. Structural Rules and regulations. Steel structures: SNiP II-23-81*. Moscow: FGUP TsPP, 2005. 90 p. (in Russian)
6. Chernyshev, D. D.; Kholopov, I. S.; Atamanchuk, A. V. High-albitud towers operation with air pipes bank on the wind loading. In *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2009, Vol. 4(78): Towers: building materials, structures, processes, p. 13–21. (in Russian)
7. Pichugin, S.; Makhinko, A. Features of probabistic design of steel communication structures. In *compendium V. M. Shimanovsky UkrNDIproektstalkonstruksiya*. Kyiv: Stal, 2009, Vol. 3, p. 172–191.
8. Eurocode 1. pr EN 1991-1-4 – Action on structures. – Part 1-4: General action – Wind actions, 2006.
9. National Structural Rules and Regulations. General principles of reliability and constructive safety of building and construction structures: DBN B.1.2-14-2009. Kyiv: Minregionbud of Ukraine, 2009. 37 p. (in Ukrainian)

- ного діяча науки і техніки України, д. т. н., професора О. В. Шимановського. – К. : Вид-во «Сталь», 2009. – Вип. 3. – С. 172–191.
8. Eurocode 1, pr EN 1991-1-4 – Action on structures. – Part 1-4: General action – Wind actions, 2006.
 9. Державні будівельні норми. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст] : ДБН В.1.2-14-2009. – Уведено вперше зі скасуванням в Україні ГОСТ 27751, СТ СЭВ 3972-83, СТ СЭВ 3973-83, СТ СЭВ 4417-83, СТ СЭВ 4868-84 ; чинні з 2009-12-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 37 с. – (Гос. стандарт Союза ССР).

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; вдосконалення методів розрахунку висотних споруд; планування експлуатаційного процесу висотних будівельних конструкцій та висотних споруд.

Губанов Вадим Вікторович – к. т. н., доцент кафедри 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; совершенствование методов расчета высотных сооружений; планирование эксплуатационного процесса высотных строительных конструкций и высотных сооружений.

Vadim Gubanov – PhD (Eng), Associate Professor of the Metal Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: it is operational reliability of metal structures, improvement of methods of analysis high-rise buildings, the operational planning process high-rise building structures and high-rise buildings.