

Э.П.ВОЛКОВ  
ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ

Том 2

ГАЗООТВОДЯЩИЕ ТРУБЫ  
ТЭС И АЭС

МОЕЙ ЖЕНЕ И ДРУГУ  
ВАЛЕНТИНЕ ИВАНОВНЕ ВОЛКОВОЙ  
ПОСВЯЩАЕТСЯ

Э.П.ВОЛКОВ

---

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ

В пяти томах

Москва  
Издательский дом МЭИ  
2014

Э.П.ВОЛКОВ

---

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ

Том 2

ГАЗООТВОДЯЩИЕ ТРУБЫ  
ТЭС И АЭС

Москва  
Издательский дом МЭИ  
2014

УДК 621.311.22:502.5  
ББК 31.37:20.18  
В 676

**Волков Э.П.**

В 676 Избранные труды. В 5 т. / Э.П. Волков. — М.: Издательский дом МЭИ, 2014 — .

ISBN 978-5-383-00877-5

Том 2. Газоотводящие трубы ТЭС и АЭС. — 2014. — 332 с.: ил.

ISBN 978-5-383-00853-9

В книге рассмотрены конструктивные и аэродинамические схемы газоотводящих труб ТЭС и АЭС. Изложены вопросы выбора газоотводящих труб при проектировании электростанций, оптимизации основных характеристик, унификации и типизации. Освещены различные проблемы их возведения, эксплуатации и надежности работы.

Предназначена для научных работников и инженеров, занимающихся разработкой, проектированием, строительством и эксплуатацией инженерных сооружений тепловых и атомных электростанций.

Табл. 55. Ил. 95. Библиогр. 120 назв.

554354

УДК 621.311.22:502.5  
ББК 31.37:20.18

ISBN 978-5-383-00853-9 (т.2)  
ISBN 978-5-383-00877-5



© Волков Э.П., 2014  
© Издательский дом МЭИ, 2014

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	7
Предисловие автора .....	11
<b>Глава первая. КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ ГАЗООТВОДЯЩИХ ТРУБ ТЭС</b> .....	13
1.1. Конструкции отечественных газоотводящих труб .....	13
1.2. Конструкции зарубежных газоотводящих труб .....	29
<b>Глава вторая. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГАЗООТВОДЯЩИХ ТРУБ</b> .....	38
2.1. Материалы для железобетонного ствола-оболочки и фундаментов труб .....	38
2.2. Материалы для футеровки .....	40
2.3. Материалы для тепловой изоляции газоотводящих труб .....	44
2.4. Материалы для стальных стволов и металлоконструкций .....	46
2.5. Материалы для антикоррозионной защиты и маркировочной окраски .....	47
<b>Глава третья. РАСЧЕТ ВЫСОТЫ ГАЗООТВОДЯЩИХ ТРУБ</b> .....	50
3.1. Общие положения по рассеянию примесей в атмосфере .....	50
3.2. Методика расчета рассеяния вредных примесей и выбор высоты газоотводящих труб .....	55
3.3. Зарубежный опыт в области расчета высоты газоотводящих труб ТЭС .....	59
<b>Глава четвертая. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗООТВОДЯЩИХ СТВОЛОВ</b> .....	65
4.1. Основные теоретические положения .....	65
4.2. Аэродинамика газоотводящих стволов с различными геометрическими характеристиками .....	69
4.3. Аэродинамические характеристики диффузоров .....	75
4.4. Выбор диффузоров для проектируемых и существующих газоотводящих труб .....	81
4.5. Аэродинамические характеристики газоотводящих труб с вентилируемыми зазорами .....	89
4.6. Аэродинамические характеристики газоотводящих труб с кремнебетонными стволами .....	101
4.7. Аэродинамика цокольной части газоотводящих труб .....	103
<b>Глава пятая. НАРУЖНАЯ АЭРОДИНАМИКА ГАЗООТВОДЯЩИХ ТРУБ</b> .....	109
5.1. Особенности обтекания газоотводящих труб ветровым потоком .....	109
5.2. Самоокутывание газоотводящих труб .....	110
5.3. Использование газоотводящих труб для градиентных метеорологических наблюдений .....	122
<b>Глава шестая. ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ ГАЗООТВОДЯЩИХ ТРУБ МОЩНЫХ ТЭС</b> .....	126
6.1. Методика оптимизационных расчетов .....	126
6.2. Графоаналитический выбор оптимальных скоростей газов в стволе трубы .....	137



6.3. Методика учета частичных нагрузок подключенного оборудования при выборе оптимальных характеристик газоотводящих труб.....	142
<b>Глава седьмая. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ГАЗООТВОДЯЩИХ ТРУБ.....</b>	<b>148</b>
7.1. Теплообмен в газоотводящей трубе .....	148
7.2. Особенности расчета теплопередачи в газоотводящей трубе .....	156
7.3. Методы расчета температурных полей в газоотводящих трубах .....	161
7.4. Массообмен в газоотводящей трубе .....	174
<b>Глава восьмая. СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СТВОЛА ГАЗООТВОДЯЩЕЙ ТРУБЫ.....</b>	<b>186</b>
8.1. Общие положения .....	186
8.2. Определение ветровой нагрузки .....	190
8.3. Расчет горизонтальных сечений .....	192
8.4. Напряжения в арматуре при совместном действии внешних сил и изменения температуры .....	205
8.5. Расчет раскрытия горизонтальных трещин .....	210
8.6. Расчет вертикальных сечений .....	211
<b>Глава девятая. ОСНОВЫ ВЫБОРА ЧИСЛА И ТИПА ГАЗООТВОДЯЩИХ ТРУБ И ИХ УНИФИКАЦИЯ.....</b>	<b>213</b>
9.1. Основы выбора числа и типа газоотводящих труб на ТЭС .....	213
9.2. Унификация газоотводящих труб .....	218
9.3. Унифицированный цоколь газоотводящих труб.....	220
<b>Глава десятая. ЭКСПЛУАТАЦИЯ И НАДЕЖНОСТЬ ГАЗООТВОДЯЩИХ ТРУБ .....</b>	<b>230</b>
10.1. Общие положения.....	230
10.2. Ввод газоотводящих труб в эксплуатацию .....	231
10.3. Эксплуатация газоотводящих труб с прижимной футеровкой .....	233
10.4. Эксплуатация газоотводящих труб с противодавлением .....	238
10.5. Повышение газоплотности и коррозионной стойкости газоотводящих труб методом управляемых золовых отложений .....	244
10.6. Оценка надежности газоотводящих труб с проходным зазором.....	265
<b>Глава одиннадцатая. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ЗА СОСТОЯНИЕМ ГАЗООТВОДЯЩИХ ТРУБ ТЭС .....</b>	<b>275</b>
11.1. Наблюдение за состоянием газоотводящей трубы.....	275
11.2. Тепловой и аэродинамический контроль газоотводящих труб .....	278
11.3. Контроль состояния газоотводящей трубы с помощью тепловизионной установки .....	281
11.4. Аппаратура и приборы для проведения измерений в газоотводящих трубах .....	287
<b>Глава двенадцатая. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ ТРУБЫ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ.....</b>	<b>299</b>
12.1. Общие положения по выбору вентиляционных труб АЭС.....	299
12.2. Компонувочно-конструктивные решения по вентиляционным трубам АЭС .....	301
12.3. Особенности рассеяния в атмосфере газоаэрозольных выбросов АЭС .....	306
12.4. Распространение выбросов из вентиляционных труб АЭС в условиях промплощадки .....	312
<b>Приложения .....</b>	<b>321</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>325</b>

# ПРЕДИСЛОВИЕ

## Уважаемый читатель!

Начну с того, чтобы сказать, почему я с большим желанием осмелился дать мою скромную оценку этой замечательной книге. Мы с ее автором сотрудничаем в течение многих лет, еще со времени моей работы в МЭИ – тогдашней «кузнице» по подготовке по-настоящему образованных инженеров и научных школ в области энергетики, и я хорошо знаком с тем, что сделано академиком Э.П. Волковым.

Перед Вами книга, посвященная проблемам разработки, проведения исследований, проектирования, возведения и эксплуатации газоотводящих труб ТЭС и АЭС, — некая энциклопедия по данному вопросу.

Первоначально представляется, а что может быть нового и неизвестного в этом традиционном и давно известном сооружении? Оказывается очень много нового и интересного. Главное — это разработка основ создания и проектирования промышленных дымовых труб, позволяющих на стадии выбора и проектирования обеспечить основное условие их работы — надежность. Понимая, что дымовые трубы, пожалуй, единственный элемент электростанции, который не может быть даже краткосрочно выведен из эксплуатации, становится ясной сложность задачи обеспечения их 100 %-ной надежности.

Автор показал два главные фактора (кроме механической прочности), которые оказывают основное влияние на надежность их работы: аэродинамические характеристики и теплотехнические параметры. В главах, посвященных этим вопросам, приведены основные научные разработки автора и большого коллектива исследователей, работавших под его руководством.

Изложенная методика расчета аэродинамических характеристик позволяет для всех существующих в мире типов и конструкций газоотводящих труб при любых параметрах уходящих газов и конструктивных схемах определить все необходимые показатели, обеспечивающие



их надежную работу. Такие же методы расчета предложены и для определения температурных полей и параметров массообмена в газоотводящих стволах в целях обеспечения отсутствия потоков конденсации агрессивных сред (в первую очередь высококонцентрированных растворов серной кислоты).

В книге последовательно рассмотрены методы расчета и меры, обеспечивающие повышение надежности работы дымовых труб промышленных предприятий. При этом изложены новые по постановке вопросы по применению специальных диффузоров, устанавливаемых на газоотводящих трубах в случае проблем с обеспечением работы тягодутьевых устройств при эксплуатации энергетических установок, подключенных к трубе на полной нагрузке, или в случае подсоединения к уже работающей газоотводящей трубе дополнительного энергетического оборудования. Приведены результаты исследовательских работ и даны номограммы для выбора диффузоров в каждом конкретном случае.

Один из диффузоров был установлен на уникальной дымовой трубе с кремнебетонным стволом, позволяющим проводить его монтаж с помощью промышленных методов. Описание такой трубы высотой 320 м, ее аэродинамические расчеты в случае подключения к ней четырех блоков мощностью 300 МВт каждый и экспериментальная отработка ее цокольной части даны в главе, посвященной выбору аэродинамических характеристик труб.

Большое место в книге занимают вопросы наружной аэродинамики газоотводящих труб. Здесь впервые введен термин «самоокутывание», что означает подсос части выходящих газов, содержащих агрессивные или радиоактивные примеси, из основного потока в зону разрежения, возникающую с подветренной стороны газоотводящей трубы. Проведенные автором исследования позволяют определить гидродинамические характеристики, указывающие на возникновение явления самоокутывания, и тем самым обеспечить надежную эксплуатацию трубы (без разрушения ее «оголовка») или предотвратить ухудшение радиоактивной обстановки на промплощадке атомной электростанции.

Значительное внимание в книге уделено проблеме выбора оптимальных параметров дымовых труб (высоты и скорости выхода газов). С использованием расчетных соотношений построены номограммы

для выбора оптимальных скоростей и высот газоотводящих труб в зависимости от количества подключенного энергооборудования, режимов его работы и метеорологических параметров. Данные номограммы получены на основании одних и тех же методических подходов для газоотводящих труб различных типов и конструктивных схем. С учетом результатов подобных расчетов проведены типизация газоотводящих труб и их унификация. Для выбранного ограниченного ряда типоразмеров разработаны и исследованы унифицированные цокольные части газоотводящих труб, позволяющие промышленными методами осуществить их быстрый монтаж на строительной площадке.

Две главы книги посвящены вопросам эксплуатации газоотводящих труб и методам эксплуатационного контроля. Особый интерес представляют методы повышения газоплотности и коррозионной стойкости за счет регулирования золовых отложений, что особенно важно в условиях реальной эксплуатации газоотводящих труб при изменении проектного топлива (в случае использования на электростанции угля).

Пожалуй, впервые в технической литературе представлены материалы, рассматривающие особенности рассеяния газоаэрозольных выбросов АЭС с учетом возмущений, возникающих в потоке ветра при обтекании им главного корпуса АЭС, в условиях относительно небольших высот вентиляционных труб при невысокой температуре вентиляционных выбросов. С помощью аэродинамических продувок, проведенных в большой аэродинамической трубе Института механики МГУ, были получены интересные результаты по распространению радиоактивных вентиляционных выбросов из труб АЭС в условиях промплощадки. Было показано, что в случае относительно большого числа атомных энергетических блоков (более трех-четырех) при их определенной компоновке могут быть варианты, когда выбрасываемые радиоактивные аэрозоли могут попадать в тракт заборного вентиляционного воздуха, что абсолютно недопустимо. Эти результаты имеют большую практическую ценность.

Важно отметить, что основные разработки автора (прежде всего выбор оптимальных скоростей газа и высот дымовых труб) положены в основу нормативных документов, обязательных при расчетах всех промышленных газоотводящих труб.

Если учесть, что в книге имеются также сведения и об используемых материалах, применяемых при строительстве газоотводящих труб всех известных конструктивных схем, становится очевидным универсальность настоящего издания, написанного крупным ученым-энергетиком для научных сотрудников и инженеров, занимающихся исследованиями, проектированием, строительством и эксплуатацией этих важных инженерно-промышленных сооружений.

*Академик А.Е. Шейдлин*