

УДК 69.036.7

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/40/25>

ВЫТЯЖНЫЕ БАШНИ - ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И ВОПРОСЫ ТИПИЗАЦИИ

©*Мелихов Р. В.*, ООО «МаксМоторс»,
г. Краснодар, Россия, *Melikhov.roman2015@yandex.ru*
©*Леонова А. Н.*, SPIN-код: 6843-9689, канд. техн. наук,
Кубанский государственный технологический университет,
г. Краснодар, Россия

EXTENSION TOWERS - FEATURES OF DESIGN, TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT AND TYPICAL ISSUES

©*Melikhov R.*, MaxMotors LLC,
Krasnodar, Russia, *Melikhov.roman2015@yandex.ru*
©*Leonova A.*, SPIN-code: 6843-9689, Ph.D.,
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

Аннотация. Рассматриваются особенности проектирования вытяжных башен. Рассмотрены конструкции и конфигурация вытяжных башен, виды несущих схем, схемы решеток, схемы диафрагм. Описываются основные конструктивные решения несущей башни, схемы опирания газоотводящего ствола, заводские монтажные типы соединений поясов несущей башни, опорные узлы и узлы крепления решеток к поясам башни. Представлены рекомендации по антикоррозионной защите стальных конструкций башен, представлена технико-экономическая оценка и вопросы типизации.

Abstract. Discusses the features of the design Exhaust towers. The design and configuration of exhaust towers, types of carrier circuits, grating diagrams, diaphragm diagrams are considered. It describes the main structural solutions of the carrier tower, the supporting scheme of the gas exhaust trunk, the factory assembly types of connections of the carrier tower belts, support units and lattice attachment points for the tower belts. Recommendations on anticorrosive protection of steel structures of towers are presented, technical and economic assessment and issues of typification are presented.

Ключевые слова: вытяжные башни, газоздушная смесь, газоотводящий ствол, решетка, диафрагма, узлы.

Keywords: exhaust towers, gas-air mixture, gas exhaust trunk, grille, diaphragm, nodes.

Одним из типов инженерных сооружений, с помощью которых отходы производства с остаточным содержанием вредных веществ выбрасываются на значительной высоте, являются вытяжные башни. Вытяжные башни представляют собой сложные инженерные сооружения.

Все многообразие современных промышленных труб может быть систематизировано по технологическому назначению и по конструктивному решению.

Промышленные трубы по технологическому назначению (по составу и температурно-влажностной характеристике отводимых сред) разделяются на два принципиально отличающихся друг от друга типа:

- вытяжные (выхлопные, вентиляционные) башни (трубы);
- дымовые (газодымовые) трубы.

Вытяжные (выхлопные, вентиляционные) башни (трубы) отводят прошедшие очистку, но сохраняющие определенную степень агрессивности газовые и газоздушные смеси влажностью более 80–90,4%, содержащие конденсат и, как правило, не имеющие высокой температуры.

Дымовые (газодымовые) трубы отводят дым и газоздушные смеси, содержащие, помимо взвесей сажи, золы и пыли, газы средней и низкой агрессивности в небольшом количестве, а также газоздушные смеси, получаемые при сжигании топлива для обжига и плавления различных материалов и загрязненные продуктами окисления веществ, находящихся в перерабатываемом сырье; влажность отводимых дымовых и газоздушных смесей не более 60%, температура 100–500° С.

По конструктивному решению, в зависимости от степени совмещения технологических и инженерных функций в сооружении, промышленные трубы могут быть разделены на три основных типа:

- свободно стоящие трубы;
- подкрепленные трубы;
- вытяжные башни.

Вытяжные башни представляют собой сооружения башенного типа, характеризующиеся четким разделением инженерных и технологических функций и состоящие из стальной несущей конструкции и одного или нескольких газоотводящих стволов. Несущей конструкцией, как правило, является решетчатая башня, а газоотводящие стволы — элемент технологических коммуникаций. По характеру конструктивного решения к вытяжным башням относятся и вытяжные сооружения типа «труба в трубе». Принципиальное отличие конструктивного решения вытяжной башни от ранее применявшихся вытяжных труб, заключающееся в четком разделении несущих и технологических функций составных элементов сооружения, является и главным преимуществом такого решения. Оно заключается в том, что для газоотводящих стволов могут быть использованы материалы, применение которых определяется в основном не прочностными характеристиками, а коррозионной стойкостью в условиях удаляемых конкретных сред. Эта же особенность сооружения позволяет в случае необходимости ограничить ремонтные работы заменой поврежденных коррозией участков газоотводящего ствола при сохранении всей несущей конструкции и неповрежденных участков ствола в проектном положении.

Опыт строительства и эксплуатации вытяжных устройств большой высоты показал, что в современных условиях наиболее распространенной конструктивной формой является стальная несущая решетчатая башня с расположенным внутри нее газоотводящим стволом, который выполнен из коррозионностойких к отводящим газам материалов. Такое компоновочное решение сооружения, естественно, не является единственным. В последние годы, в связи с резким увеличением объема строительства вытяжных устройств, появилось много других компоновочных схем. Вместе с тем, рассматривая конструктивные решения вытяжных башен, целесообразно более подробно остановиться на этой наиболее распространенной схеме, поскольку она к тому же содержит в себе основные элементы, используемые и в других схемах.

Габаритные размеры несущей башни и сооружения в целом предопределяются технологическими параметрами сооружения, устанавливаемыми в задании на проектирование. К этим параметрам относятся:

- количество газоотводящих стволов;
- размеры стволов (диаметр и отметка выброса отходов производства в атмосферу);
- отметка верхней площадки обслуживания;
- отметки ввода газоотходов в башню;
- габарит сооружения в основании из условия размещения его на генплане.

Принимаемое в соответствии с исходными данными конструктивное решение вытяжной башни должно удовлетворять определенным требованиям, связанным с возведением и эксплуатацией сооружения.

В соответствии с геометрическими схемами несущие башни можно классифицировать по следующим характеристикам:

- по количеству граней: трех-, четырех- и многогранные (с количеством граней более четырех);
- по конфигурации башни: без переломов граней по высоте и с переломами граней;
- по схеме решетки: с крестовой, ромбической и треугольной решеткой, кроме того, определенную разновидность представляет башня с разреженной решеткой.

Для вытяжных башен высотой до 200 м наибольшее распространение получила схема с четырехгранной несущей башней: многогранные башни для таких высот сооружения нецелесообразны как по расходу металла, так и по другим технико-экономическим показателям. Что же касается трехгранных башен, то в ряде работ показано, что расход металла на их несущие конструкции меньше на 10–15%, чем для четырехгранных. Однако эти выводы касаются в основном только радио и телевизионных башен, т. е. сооружений, для которых решающей нагрузкой является воздействие скоростного напора ветра непосредственно на башню, а ветровая нагрузка на оборудование незначительна.

В отличие от указанных выше сооружений в вытяжных башнях основная доля всей нагрузки, воспринимаемой башней, является следствием наличия в ней газоотводящего ствола, поскольку давление ветра на него составляет 60–70% от полной ветровой нагрузки на сооружение. Кроме того, к схеме вытяжной башни предъявляются и иные требования, вызванные спецификой назначения сооружения. Существенным фактором, влияющим на выбор схемы башни, является, например, условие размещения внутри нее газоотводящего ствола.

Вследствие этого для вытяжных сооружений с одним газоотводящим стволом в качестве несущей конструкции целесообразно использовать четырехгранную башню, а для сооружений с несколькими стволами, исходя из условий их размещения и работы основных элементов башни, можно рекомендовать четырехгранную при двух газоотводящих стволах, трехгранную при трех газоотводящих стволах.

Башня как несущая конструкция сооружения должна обладать неизменяемостью и необходимой жесткостью. Основные конструктивные элементы наиболее распространенной четырехгранной несущей башни с ромбической решеткой показаны на Рисунке 1.

Принимаемые схемы решетки и диафрагм должны обеспечить геометрическую неизменяемость башни независимо от условия неподвижности ее фундаментов.

Поперечная жесткость четырехгранных и многогранных башен обеспечивается диафрагмами. Расстояние между ними, как правило, в 1,5–2,5 раза превышает ширину грани башни и составляет для рассматриваемых башен примерно 6–15 м.

Устройство диафрагм в особенности необходимо в плоскости излома граней башни. Помимо функции обеспечения поперечной жесткости сооружения, диафрагмы используются как площадки, служащие для опирания газоотводящего ствола или его секций, а также для осмотра сооружения и его ремонта. Подъем на площадки осуществляется по лестнице, а иногда и с помощью лифта. Учитывая необходимость частого подъема на большую высоту башни при наличии колебаний ее под воздействием ветровой нагрузки, лестница должна быть по возможности наиболее удобной для прохода по ней и достаточно надежной.

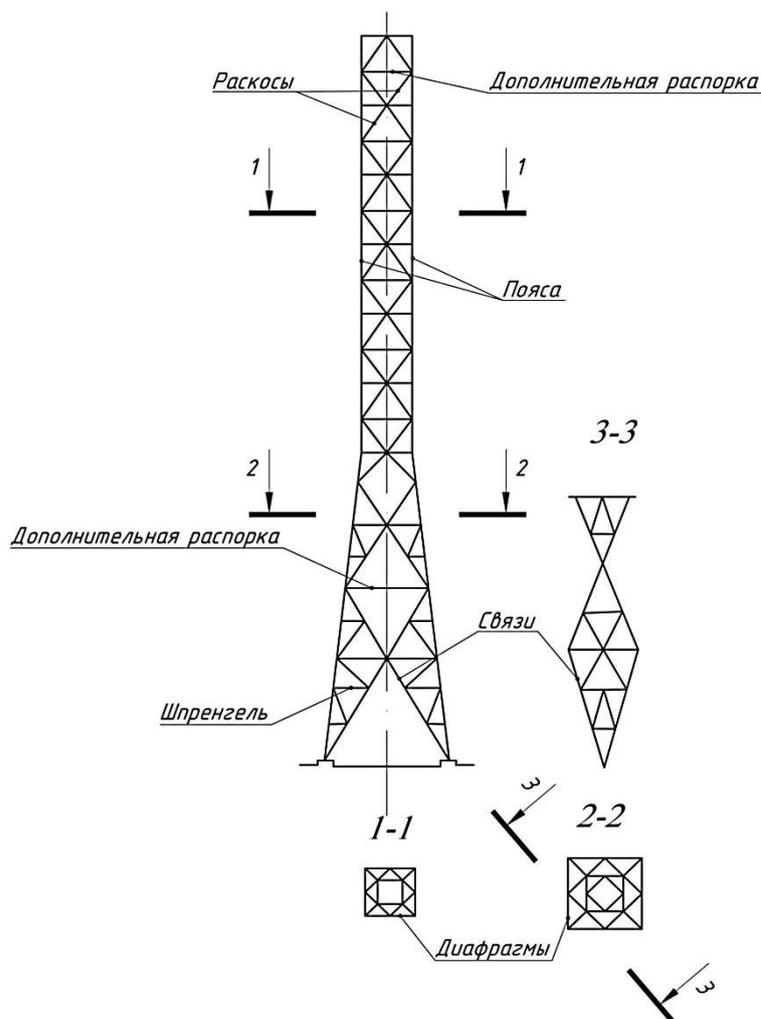


Рисунок 1. Основные конструктивные элементы башни.

Силуэт несущей башни определяется соотношением ее основных размеров и контуром очертания поясов. Наиболее распространенные типы силуэтов башен с одним и двумя переломами поясов по высоте. В ряде случаев оказываются целесообразными башни без переломов поясов, с постоянным уклоном граней по всей высоте сооружения либо с параллельными поясами. Конфигурация башни выбирается при удовлетворении всех требований, предъявляемых к данному сооружению.

Башни с двумя переломами граней по высоте являются наиболее трудоемкими в изготовлении и монтаже, так как характеризуются наибольшим количеством монтажных элементов, лишь часть которых повторяется по высоте. Вместе с тем, силуэт башни с двумя переломами граней в наибольшей степени приближается к конфигурации стержня равного сопротивления, что обеспечивает относительное постоянство усилий по всей высоте пирамидальных частей башни и приводит к уменьшению расхода стали.

В башне с одним переломом граней по высоте меньше количество монтажных единиц и больше их повторяемость по сравнению с башней, имеющей два перелома, что, естественно, снижает трудозатраты на ее изготовление и монтаж. Снижает трудозатраты на изготовление конструкций также и уменьшение общего количества трудоемких по изготовлению узлов сопряжения поясов в местах их перелома.

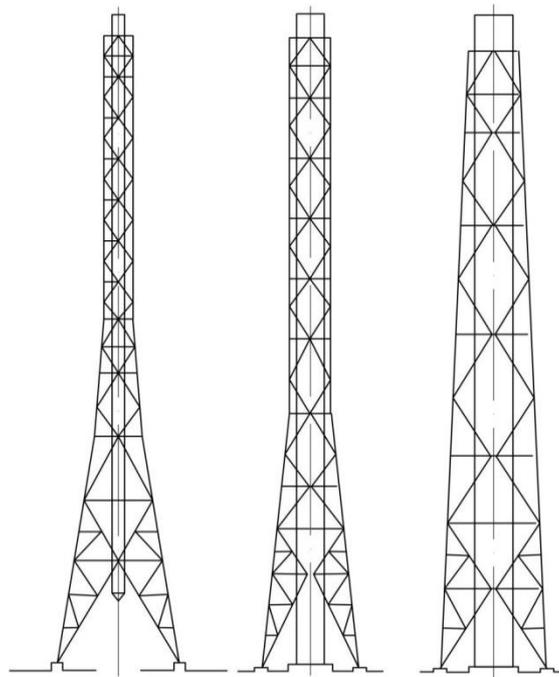


Рисунок 2. Конфигурация башен.

Схема башни с постоянным уклоном поясов в пространстве по сравнению с ранее рассмотренными вариантами башен с изломами граней по высоте характеризуется более плавным ростом усилий в поясах и относительно меньшей их величиной в верхней части башни. Башни без перелома граней в определенной степени проще в изготовлении за счет уменьшения общего количества элементов. Однако последние имеют крайне ограниченную повторяемость, и это приводит к большому количеству типоразмеров элементов, существенно увеличивающему трудозатраты на изготовление. Кроме того, схема башни с постоянным уклоном поясов по всей высоте сооружения имеет увеличенную длину элементов диафрагм и решетки, что требует повышенного расхода металла на их изготовление.

Применение башни без переломов поясов особенно целесообразно при эксплуатации сооружения в условиях повышенной агрессивности среды, когда одними из основных требований, предъявляемых к конструкциям, являются укрупнение элементов и их узловых сопряжений, а также уменьшение их общего числа. В остальных случаях выбор силуэта башни в существенной мере подчинен технологическому заданию, содержащему основные параметры разрабатываемого вытяжного устройства.

В практике проектирования встречаются особые случаи, влияющие на выбор схемы башни, когда до определенного ее уровня по высоте должно быть размещено специальное оборудование. Примером такой башни является сооружение. Его конфигурация в нижней части продиктована необходимостью размещения скрубберов.

При проектировании решетку несущей башни, как правило, принимают одного из трех типов: ромбическую, крестовую или треугольную. Решетка нижней опорной части башни решается обычно во всех случаях одинаково. Выбор типа решетки определяется необходимой степенью развязки поясов и гибкостью элементов самой решетки.

При проектировании крестовой и треугольной решетки длина панелей всех поясов, при прочих равных условиях, получается одинаковой. Раскосы крестовой решетки подбирают обычно из условия работы их только на растяжение, а треугольной — на сжатие. Для рассматриваемых сооружений расход металла на решетки этих типов отличается незначительно.

Треугольная решетка обладает некоторыми преимуществами по сравнению с крестовой, так как общее количество элементов в ней почти в 2,5 раза меньше. Это способствует не только снижению трудоемкости изготовления и монтажа конструкций, но и улучшению условий эксплуатации сооружения. Применение ромбической решетки еще больше увеличивает общее количество элементов несущей башни, однако позволяет вдвое уменьшить свободную длину как поясов, так и решетки.

Крестовая и треугольная решетки геометрически неизменяемы, что обеспечивает неизменяемость башни по высоте, а неизменяемость башен с ромбической решеткой может быть обеспечена только при условии установки дополнительных распорок. Такие распорки в практике проектирования почти всегда устанавливаются в верхнем ромбе, а также в первом снизу ромбе решетки. При этом следует иметь в виду, что наличие дополнительных распорок приближает работу ромбической решетки к крестовой со сжатыми раскосами. Вот почему в данном случае при расчете несущей башни необходимо учитывать возникающее на ограниченном участке по высоте перераспределение усилий, обусловленное совместностью деформирования поясов и решетки. Особое влияние на это перераспределение оказывает нижняя распорка, если при этом не учтена реальная подвижность фундаментов. В связи с этим в ряде случаев оказывается целесообразным принимать схему ромбической решетки без распорки в нижнем ромбе.

Учитывая указанные выше недостатки и преимущества перечисленных типов решеток, выбор того или иного вида из них нужно производить исходя из габаритных размеров сооружения и конкретных условий его эксплуатации.

Поперечную жесткость сооружения обеспечивают устройством диафрагм в горизонтальных плоскостях. Их неизменяемость достигается соответствующим подбором геометрической схемы элементов диафрагм или привариваемым к ним настилом, или тем и другим одновременно.

Наиболее ответственной и сложной по своей схеме и конструктивному решению является нижняя диафрагма, особенно если на нее опирается газоотводящий ствол. Эта диафрагма отличается большими пролетами изгибаемых элементов и многоступенчатой передачей вертикальной нагрузки. При восприятии нагрузки от веса ствола она значительно утяжеляется по сравнению с остальными диафрагмами башни. Верхняя диафрагма башни, к которой предусматривается подвеска газоотводящего ствола на период его монтажа или ремонта, не отличается особой сложностью, так как ее элементы имеют относительно небольшие пролеты и, как правило, не требуют дополнительного усиления для восприятия этой временной нагрузки.

Не менее важным назначением диафрагм является использование их в качестве площадок, необходимых для обслуживания сооружения в процессе его эксплуатации. В соответствии с этим требованием на участках вокруг газоотводящего ствола необходимо устраивать настил, который также обеспечивает подходы к поясам башни и к отдельным

узлам решетки. В зависимости от абсолютного габарита башни и его относительного размера a/D разрабатывают различные схемы диафрагм и настила. В верхней части сооружения размер башни в плане определяется, как правило, исходя из условия нормального размещения ствола и проходов вокруг него. Вот почему в большинстве случаев диафрагмы в этой зоне выполняются со сплошным настилом или с настилом, имеющим небольшие просветы.

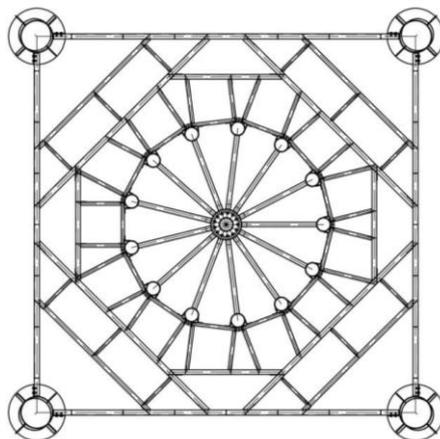


Рисунок 3. Конструкции диафрагм башни.

Газоотводящий ствол вытяжной башни находится под постоянным воздействием горизонтальных и вертикальных сил. Горизонтальные силовые воздействия возникают от давления ветрового потока и при сейсмических явлениях; вертикальные — от веса ствола, теплоизоляции, антикоррозионной защиты, а также веса конденсата, пыли и других отложений на его стенках. Применяемые схемы опирания газоотводящего ствола на несущие конструкции башни обеспечивают, как правило, отдельную передачу горизонтальных и вертикальных силовых воздействий. Ветровая нагрузка, воспринимаемая газоотводящим стволом, передается им на башню в плоскости диафрагм, при этом специальными конструктивными мероприятиями обеспечивается свобода взаимных вертикальных перемещений башни и ствола.

Вертикальные силовые воздействия могут быть полностью восприняты непосредственно газоотводящим стволом при любом способе его опирания. Вследствие этого в целях облегчения всего сооружения целесообразно стремиться к максимально возможной разгрузке башни от веса газоотводящего ствола, т. е. стремиться опирать газоотводящий ствол на самостоятельный фундамент, не связанный с фундаментами несущей башни. При таком решении башня выполняет функцию опоры для газоотводящего ствола только на действие горизонтальных сил.

Опыт проектирования и эксплуатации вытяжных башен показал, что иные варианты опирания газоотводящего ствола, например путем подвески или прикрепления одновременно на все или несколько диафрагм, в большинстве случаев нецелесообразны, поскольку требуют устройства компенсаторов и усложняют решения узлов.

Вытяжные башни являются одним из видов высотных специальных сооружений. В силу новизны и специфики назначения конструктивные решения вытяжных башен не нашли еще достаточного освещения в специальной технической литературе. Вместе с тем, такие важные показатели сооружения, как технологичность его изготовления и монтажа, расход металла, эксплуатационные качества с учетом повышенных требований в условиях агрессивности среды и надежность сооружения в целом предопределяются в первую очередь именно тем,

насколько удачно сконструировано сооружение. Именно поэтому при разработке конструкций вытяжных башен вопросам выбора типов сечений элементов сооружения, а также решению основных узлов их сопряжения между собой должно быть уделено особое внимание.

При проектировании вытяжных башен основной расчетной нагрузкой является воздействие скоростного напора ветра на его несущие и ограждающие конструкции. В связи с этим особое значение приобретает вопрос выбора типа сечений элементов сооружения, поскольку от размеров и формы принимаемых профилей во многом зависит суммарная величина ветровой нагрузки, действующей на сооружение.

В вытяжных башнях, как правило, основная доля ветровой нагрузки возникает от давления ветра на газоотводящий ствол, и все же тип сечений элементов несущей башни оказывает также существенное влияние на общую величину ветровой нагрузки и, следовательно, на весовые показатели сооружения в целом. На основе обобщения опыта проектирования вытяжных башен установлено, что вес башни из элементов крестового сечения превосходит вес башни из элементов трубчатого профиля в среднем на 15–20%. Вот почему выбор профиля элементов башни должен быть достаточно четко обоснован с учетом таких показателей, как расход металла, его стоимость в зависимости от профиля, трудоемкость изготовления и монтажа, эксплуатационные показатели.

Заводские соединения поясов несущей башни необходимы для трансформации сечения пояса по высоте сооружения в связи с изменением усилий в нем и для получения отправочного элемента требуемого размера, когда длина его превышает стандартную длину данного вида проката. Количество и расположение монтажных стыков поясов башни определяются габаритом транспортных средств и условиями монтажа сооружения. Во всех этих случаях нужно стремиться к уменьшению количества как заводских, так и монтажных стыков, поскольку они увеличивают трудоемкость изготовления конструкций и в определенных условиях могут способствовать снижению их надежности. Заводские соединения элементов выполняются только на сварке. Монтажные соединения могут быть выполнены на монтажной сварке, высокопрочных болтах и на болтах нормальной точности, работающих на растяжение (фланцевые соединения) и на срез. Монтажные соединения на сварке для конструкций вытяжных башен получили наибольшее распространение. Вместе с тем, они достаточно трудоемки в исполнении и требуют повышенного контроля качества, особенно для сечений закрытого профиля.

Использование монтажных соединений на высокопрочных болтах в определенной степени сдерживается необходимостью организации специальных работ по зачистке сопрягаемых поверхностей, контролю натяжения болтов и т. д. при относительно небольшом общем объеме этих соединений в каждом из сооружений. Фланцевые соединения поясов несущей башни также имеют достаточно широкое распространение для сечений закрытого профиля. Вместе с тем, к их применению при значительной величине растягивающих усилий в поясах башни следует подходить с определенной осторожностью. Опыт эксплуатации вытяжных башен показал, что в ряде случаев в таких соединениях появляются усталостные трещины металла поясов в околошовной зоне сопряжения фланца с трубой. Прогрессивным соединением поясов несущей башни является сопряжение их на болтах нормальной точности, работающих на срез. Такие монтажные соединения позволяют резко снизить трудоемкость монтажа сооружения, однако требуют дополнительной экспериментальной проверки их работы в условиях знакопеременной нагрузки.

Несущая конструкция вытяжной башни по статической схеме представляет собой консольный стержень, закрепленный в основании. Закрепление четырехгранной башни на

фундаменте осуществляется четырьмя опорными узлами, в каждом из которых сходятся один из поясов башни и два раскоса смежных граней. Через опорный узел башни на фундамент передаются нормальная и перерезывающая силы. В зависимости от направления ветрового потока нормальная сила может быть сжимающей или растягивающей. Сжимающая сила передается на фундамент через опорную плиту, растягивающая, как правило, воспринимается анкерными болтами. В ряде случаев возможно восприятие растягивающих сил специальными закладными деталями, применение которых может оказаться целесообразным, в первую очередь, для строительства в районах с расчетной температурой ниже -40°C . В нижней пирамидальной части башни ее пояса и грани имеют определенный уклон, что может оказаться целесообразным, в первую очередь, для строительства в районах с расчетной температурой ниже -40°C .

В нижней пирамидальной части башни ее пояса и грани имеют определенный уклон в пространстве. При малых усилиях в опорном узле опорная плита может быть установлена горизонтально. Это значительно упрощает производство работ по установке и заделке анкерных болтов в фундаментах и позволяет осуществлять монтаж сооружения методом поворота. Однако при этом появляется необходимость крепления анкерных болтов непосредственно за опорную плиту, что возможно только при небольших усилиях (до 1 МН). Наиболее четкая передача усилий и более рациональные условия изготовления опорного узла достигаются при установке опорной плиты перпендикулярно оси пояса, а анкеров — параллельно ему. Такое решение, являющееся более надежным, получило в практике строительства вытяжных башен большой высоты широкое распространение. Монтаж сооружения методом поворота в таком случае может быть выполнен при использовании съемных анкерных болтов, сопрягаемых с закладными деталями на специальных муфтах. При подборе сечений анкерных болтов следует стремиться к минимальному их количеству (но не менее четырех), одновременно необходимо учитывать, что диаметр анкеров обычно не должен превышать 90–100 мм. В тех случаях, когда четырех анкерных болтов таких размеров оказывается недостаточно, из конструктивных соображений их количество увеличивают до восьми. Горизонтальная неподвижность опорного узла обеспечивается специальными закладными элементами, соединение которых с опорной плитой работает на сдвиг. Закладные элементы устанавливаются, как правило, в плоскостях граней башни, при этом желательно ограничиваться только двумя закладными деталями, располагаемыми с внешней стороны башни.

Передача усилий от пояса и раскосов к элементам опорного узла, непосредственно связанным с фундаментом, осуществляется через систему ребер и траверс. Ребра, расположенные в плоскости граней башни, служат одновременно фасонками для крепления опорных раскосов.

Решетка несущей башни передает значительные по величине перерезывающие силы, возникающие от действия ветровой нагрузки. Для обеспечения четкой передачи этих усилий в узлах крепления решетки к поясам несущей башни раскосы, как правило, центрируются на ось пояса. Наиболее распространено крепление решетки через вертикальные фасонки, раскрепленные горизонтальными ребрами жесткости и приваренные к поясам башни заводскими швами. Крепление решетки к узловым фасонкам осуществляется на болтах нормальной точности, монтажной сварке и реже — на высокопрочных болтах.

Решения узлов опирания ствола, находящегося под воздействием горизонтальных и вертикальных нагрузок, как правило, предполагают отдельную передачу этих воздействий на несущую башню; при этом учитывается необходимость обеспечения свободы вертикальных перемещений ствола от температурных деформаций. По мере накопления

опыта проектирования, строительства и эксплуатации вытяжных башен конструкции узлов опирания газоотводящего ствола совершенствовались, их решения упрощались. Все многообразие этих решений может быть сведено к четырем основным типам, отличающимся характером передачи горизонтального и вертикального воздействий и средством обеспечения свободы вертикальных перемещений.

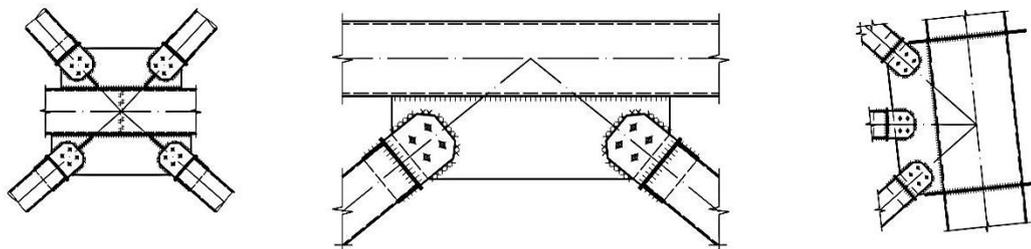


Рисунок 4. Узлы.

Первый тип: газоотводящий ствол опирается на каждую диафрагму с совмещенной передачей со ствола на башню горизонтального и вертикального воздействия. Температурные перемещения погашаются устройством специальных компенсаторов вблизи узла опирания каждой секции газоотводящего ствола.

Второй тип: газоотводящий ствол целиком опирается на диафрагму, расположенную в нижней части сооружения или на собственный фундамент или вспомогательную опору. Горизонтальные силы передаются в плоскости нескольких или всех диафрагм, обеспечивая свободу вертикальных температурных перемещений газоотводящего ствола с помощью специальных катков.

Третий тип: газоотводящий ствол опирается на несущую башню и передает вертикальные и горизонтальные нагрузки на башню отдельно, но, в отличие от предыдущего, однотипным решением — тяжами. Вертикальная нагрузка передается через подвеску газоотводящего ствола на наклонных тяжах в одном из ярусов нижней части башни, а горизонтальная — горизонтальными тяжами в уровне основных узлов примыкания решетки к поясам башни.

Четвертый тип: ствол целиком опирается на диафрагмы в нижней части сооружения и передает на нее вертикальную нагрузку. Горизонтальные силы передаются в плоскостях диафрагм башни через специальные скользящие упоры. Вполне естественно, что каждый из этих типов опирания газоотводящего ствола на несущую башню при сохранении их принципиальных решений допускает варьирование отдельных элементов и деталей узлов, обусловленное величиной передаваемых сил, материалом конструкций и принятым способом изготовления, транспортирования и монтажа газоотводящего ствола. Вопросы заводской или монтажной приварки всех выступающих деталей ствола (опорных колец, ребер жесткости и др.) решаются в зависимости от способа изготовления и условий транспортирования.

Материал для изготовления конструкций вытяжных башен определяется одновременно с выбором компоновочной схемы сооружения путем вариантного проектирования и соответствующего технико-экономического анализа. В этом анализе в обязательном порядке необходимо учитывать, что качественные показатели материала, наряду с другими факторами, оказывают существенное влияние не только на надежность сооружения и первоначальную стоимость его строительства, но и, что особенно важно, на последующие затраты во время эксплуатации. При этом следует иметь в виду, что затраты, связанные с преждевременным износом сооружения, включают в себя не только стоимость проведения

капитального ремонта, но и в ряде случаев огромные убытки от вынужденной полной или частичной остановки производственного процесса.

Характерным примером рационального проектирования в этом отношении может служить применение в качестве материала для газоотводящих стволов титана, высокая стоимость которого для некоторых видов производств окупается уже в течение 3–4 лет благодаря существенному продлению срока нормальной эксплуатации вытяжной башни. Учитывая различное функциональное назначение конструкций несущей башни и газоотводящего ствола, материал для их изготовления следует выбирать с учетом своих, специфических, требований и условий эксплуатации. В частности, для материала несущих конструкций важно учитывать его способность сопротивляться коррозионному воздействию окружающей атмосферы. В комплексе вопросов, связанных с предназначением материалов газоотводящих стволов, должны быть дополнительно учтены такие факторы, как проникновение коррозии, влияние изменения температуры наружного воздуха на температуру отводимых газов, приводящее к образованию конденсата, возможность нарушения нормального технологического процесса и, как следствие этого, изменения в составе отводимых газов, их температуре и влажности.

В главе СНиП П-28-73 нет рекомендаций по способам антикоррозионной защиты стальных конструкций вытяжных башен. Некоторые предложения по этому вопросу, приведенные ниже, составлены на основе обобщения опыта эксплуатации вытяжных башен и сведений литературных источников.

Антикоррозионная защита применяется только для малоуглеродистой и низколегированных сталей, например, марок Ст. 3, 10Г2С1 и др. (высоколегированные стали особой защиты не требуют). Наибольшее значение имеет антикоррозионная защита лакокрасочными материалами, которые используются главным образом для наружной поверхности несущих конструкций и газоотводящего ствола и, в меньшей степени, для его внутренней поверхности, находящейся в контакте с отводимыми средами. Несомненным преимуществом лакокрасочной защиты строительных металлоконструкций является ее экономичность. Особое внимание при нанесении лакокрасочных покрытий должно быть уделено качеству подготовки поверхности под окраску, поскольку от этого в большой степени зависит срок службы покрытия, так как коррозионная стойкость металла обычно повышается с улучшением чистоты обработки его поверхности.

На поверхности металлоконструкций не должно быть грубых необработанных швов, брызг сварки, наплывов металла, раковин, рисок, трещин, заусениц, острых кромок. Все острые края должны иметь радиус закругления более 5 мм. Поверхность металлоконструкций нужно очищать от ржавчины, окалины, грязи, защитной смазки и жировых загрязнений, а при ремонтных работах от старой разрушившейся краски. Во избежание окисления свежеччищенной поверхности стали ее следует грунтовать не позднее 3–4 ч после окончания процесса очистки. Окраска осуществляется при температуре не ниже +10 °С.

Основными защитными материалами являются масляные краски для наружных работ, атмосферостойкие перхлорвиниловые (марок ПХВ и ХВ), эпоксидные (марок ЭП) и некоторые другие лакокрасочные материалы. Выбор тех или иных лакокрасочных материалов определяется в зависимости от состава газа, его концентрации и влажности.

Одним из основных принципов современного строительного проектирования является экономическая целесообразность принимаемых проектных решений, направленных на создание оптимального для заданных условий сооружения.

Помимо полного соответствия технологическим требованиям, требованиям необходимой прочности и долговечности, сооружение должно быть экономично по затратам материалов и средств на его возведение.

Оно должно отвечать требованиям удобства и минимальных затрат при эксплуатации. В методических рекомендациях предлагается оценивать экономическую эффективность разрабатываемых конструкций по следующей номенклатуре показателей:

- стоимость в деле (сметная стоимость или себестоимость), руб.;
- годовые капиталовложения в организацию производственной базы, руб. в год.;
- годовые эксплуатационные расходы, руб. в год.;
- сроки возведения сооружения, мес.;
- приведенные затраты, руб.;
- масса конструкций и расход основных материалов, т.;
- трудоемкость изготовления и монтажа, чел.-дн.

Для проведения сравнительных расчетов по стальным конструкциям и фундаментам вытяжных башен количество технико–экономических показателей можно ограничить стоимостью, трудоемкостью изготовления и монтажа и весом конструкций с обязательным учетом эксплуатационных расходов. Основным критерием при выборе варианта конструкции является минимум приведенных затрат, при равенстве этого показателя в сравниваемых вариантах предпочтение отдается варианту с меньшей трудоемкостью изготовления и монтажа, и, наконец, при равных приведенных затратах и трудоемкости изготовления принимается вариант конструкции с минимальным весом.

Для возможности сравнения все технико–экономические показатели определяются на расчетную единицу измерения, в качестве которой для сооружений типа труб и башен рекомендуется сооружение в целом. Для вытяжных башен при многообразии их типоразмеров и различных районах строительства сопоставление технико–экономических показателей на сооружение будет достаточным только в случае, когда рассматриваются варианты конструкций сооружения одного конкретного объекта.

При этом могут быть рассмотрены и такие варианты, когда одни и те же технологические и санитарно–гигиенические требования к вытяжным башням будут удовлетворены при различной совокупности высоты и диаметра газоотводящего ствола.

Список литературы:

1. Солодарь М. Б., Кузнецова М. В., Плишкин Ю. С. Металлические конструкции вытяжных башен. Ленинград: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1975. 182 с.
2. Левитанский И. В. Решетчатые конструкции из труб // Облегченные металлические конструкции. М.: Госстройиздат, 1963.
3. Кузнецова М. В. Некоторые вопросы статического расчета башенных сооружений. Л.: ЛДНТП, 1958.
4. Жук Н. П. Курс коррозии и защиты металлов. М.: Металлургия, 1968.
5. Абарин А. А., Козьмин Н. Б., Кузнецов Н. Ф. Особенности работы и расчета ферм из труб // Промышленное строительство. 1970. №6. С. 32.
6. Амиро И. Я. Исследование устойчивости ребристой цилиндрической оболочки при продольном сжатии // Прикладная механика. 1960. Т. VI. №3. С. 272-289.
7. Губанов В. В. Развитие методов расчета стальных высотных сооружений // Металлические конструкции. 2011. Т. 17. №4. С. 217-224.
8. Горланов С. П., Кудинов А. А. Отвод уходящих газов ГТУ через вытяжную башню градирни тепловой электростанции // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре:

сб. ст. по материалам 72-й Всероссийской научно-технической конференции. Самара. 2015. С. 191-197.

9. Козлова В. Л., Столицына М. В., Отлева Т. И., Амелин А. А. Совершенствование формирования исходных данных в автоматизированной системе расчета высотных сооружений типа башен, мачт, вытяжных труб // Строительство-2016: материалы II Брянского международного инновационного форума. 2016. С. 252-258.

10. Атаманчук А. В., Холопов И. С., Чернышев Д. Д. Ветровые нагрузки на элементы трехгранных башен и пакеты вытяжных труб // Металлические конструкции. 2007. Т. 13. №1. С. 17-24.

References:

1. Solodar, M. B., Kuznetsova, M. V., & Plishkin, Yu. S. (1975). Metallicheskie konstruksii vytyazhnykh bashen. Leningrad, Stroiizdat. Leningr. otd-nie, 182. (in Russian).

2. Levitanskii, I. V. (1963). Reshetchatye konstruksii iz trub. Oblegchennye metallicheskie konstruksii. Moscow, Gosstroizdat. (in Russian).

3. Kuznetsova, M. V. (1958). Nekotorye voprosy staticheskogo rascheta bashennykh sooruzhenii. Leningrad, LDNTP. (in Russian).

4. Zhuk, N. P. (1968). Kurs korrozii i zashchity metallov Moscow, Metallurgiya. (in Russian).

5. Abarinov, A. A., Kozmin, N. B., & Kuznetsov, N. F. (1970). Osobennosti raboty i rascheta ferm iz trub. *Promyshlennoe stroitel'stvo*, (6), 32. (in Russian).

6. Amiro, I. Ya. (1960). Issledovanie ustoichivosti rebristoi tsilindricheskoi obolochki pri prodol'nom szhatii. *Prikladnaya mekhanika*, 4(3), 272-289. (in Russian).

7. Gubanov, V. V. (2011). Razvitie metodov rascheta stal'nykh vysotnykh sooruzhenii. *Metallicheskie konstruksii*, 17(4), 217-224. (in Russian).

8. Gorlanov, S. P., & Kudinov, A. A. (2015). Otvod ukhodyashchikh gazov GTU cherez vytyazhnuyu bashnyu gradirni teplovoi elektrostantsii. In: *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture: sb. st. po materialam 72-i Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Samara, 191-197.* (in Russian).

9. Kozlova, V. L., Stolitsyna, M. V., Otleva, T. I., & Amelin, A. A. (2016). Sovershenstvovanie formirovaniya iskhodnykh dannykh v avtomatizirovannoi sisteme rascheta vysotnykh sooruzhenii tipa bashen, macht, vytyazhnykh trub. In: *Stroitel'stvo-2016: materialy II Bryanskogo mezhdunarodnogo innovatsionnogo foruma*, 252-258. (in Russian).

10. Atamanchuk, A. V., Kholopov, I. S., & Chernyshev, D. D. (2007). Vetrovye nagruzki na elementy trekhgrannykh bashen i pakety vytyazhnykh trub. *Metallicheskie konstruksii*, 13(1), 17-24. (in Russian).

*Работа поступила
в редакцию 28.01.2019 г.*

*Принята к публикации
03.02.2019 г.*

Ссылка для цитирования:

Мелихов Р. В., Леонова А. Н. Вытяжные башни - особенности проектирования, технико-экономическая оценка и вопросы типизации // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. №3. С. 194-206. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/40/25>.

Cite as (APA):

Melikhov, R., & Leonova, A. (2019). Extension towers - features of the design, technical and economic assessment and typical issues. *Bulletin of Science and Practice*, 5(3), 194-206. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/40/25>. (in Russian).