

Vladimir Luzhkov (PhD, As. Prof.),
South Ural State University,

Vera Smirnova (Dipl. Eng)
Expro Engineering,

Chelyabinsk, Russia

Дымовые трубы из стеклопластика на объектах энергетики России. Примеры конструирования.

Введение.

В настоящей публикации проанализированы тенденции по использованию стеклопластика в сооружениях дымовых труб предприятий теплоэнергетики и представлены основные результаты за 12 лет работы в области проектно-технологического инжиниринга.

Известно, что предпосылками поиска новых материалов для сооружений дымовых труб и газоходов стали снижение температуры отводимых газов до 80..180 С и повышение их степени коррозионного воздействия на стальные и железобетонные конструкции. Это произошло по трем основным причинам:

1. известные изменения в топливно-энергетическом балансе тепловых агрегатов - массовая газификация котельных и тепловых электростанций ;
2. внедрение более совершенных технических систем утилизации тепла дымовых газов;
3. падение промышленного производства в России к середине 90-х годов и, зачастую, нестабильная работа тепловых агрегатов

Начинателем и идейным вдохновителем применения стеклопластиков для дымовых труб ТЭЦ стали В.П. Осоловский (фирма ОРГРЭС) и сотрудники предприятия «Энергия+». Они, начиная с середины 90-х годов, взяв за основу опыт Минмонтажспецстроя России по применению стеклопластика для труб химических производств, приступили сначала в опытном порядке, а затем более массово, к внедрению стеклопластиковых конструкций в теплоэнергетике.

В результате этой деятельности появились первые технические документы, открывшие дорогу к применению стеклопластиков в дымовых трубах ТЭЦ:

- ☑ Информационное письмо № ИП-02-04-97 (ТП). О реконструкции дымовых труб с установкой внутренних газоотводящих стволов из стеклопластика. - М.: СПО ОРГРЭС, 1997
- ☑ Циркуляр № Ц-02-97(Т). О повышении надежности дымовых труб и газоходов тепловых электростанций. - М.: СПО ОРГРЭС, 1997.

1. Основные конструктивные формы дымовых труб с применением стеклопластиков.

На рис. 1 представлены основные принципиальные конструктивные формы дымовых трубы с использованием стеклопластика, как при реконструкции, так и новом строительстве.

Характерным для таких решений является разделение функций. Внешние силовые воздействия воспринимает внешний каркас (в роли которого может выступать оболочка или пространственная рама), но при этом этот силовой каркас отделен от воздействия дымовых газов стеклопластиковой трубой-оболочкой, повешенной к нему (каркасу). Таким образом решается проблема долговечности сооружения дымовой трубы в целом.

Это обусловлено, прежде всего, свойствами стеклопластика как конструкционного материала, имеющего известные достоинства и недостатки (см. табл.1).

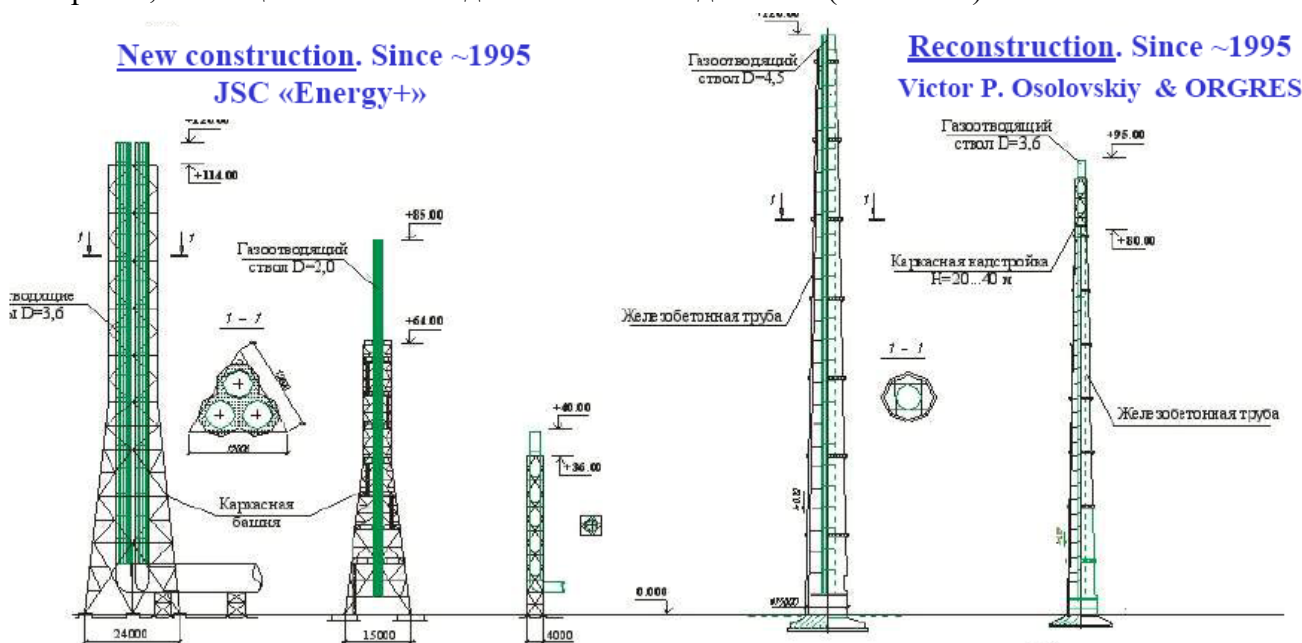


Рис. 1. Типовые конструктивные формы дымовых труб со стеклопластиковыми стволами

Advantages of FRP structures	Limitation of FRP structures
<ul style="list-style-type: none"> • High Constr. Coef. (strength/weight ~ 6000 ~ 2 steel); • High Serviceability • Very High Durability • <u>In-situ production</u> 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>T flue gas limitation < 250 C;</u> • <u>Low modulus of elasticity (0.06...0,1 E steel);</u> • Combustibility – conv. (горючесть- усл); • High price – conv. (1 FGP ~ 1,15 steel vol.);

Так, при сопоставимых показателях удельной стоимости, стеклопластик имеет достаточно высокий коэффициент конструктивного качества (по соотношению прочность/вес этот показатель в 2 раза больше чем у стали).

Но при этом, стеклопластик, особенно при повышенных температурах, имеет весьма низкий модуль упругости (особенно если сравнивать со сталью в 10...20 раз меньше). Это приводит к повышенной деформативности конструкций и проблемам с обеспечением устойчивости оболочек при изгибе.

Эти особенности поведения стеклопластика под нагрузкой приводят к тому, что все конструктивные решения, а также направление развития этих решений, ориентированы прежде всего на обеспечение устойчивости стеклопластиковых труб.

Среди типичных узлов дымовых труб со стеклопластиковыми стволами, которые, начиная с 2000 года, применяются и модифицируются нами следует выделить следующее:

1. Нами предложена и успешно применяется подвеска стеклопластиковой оболочки на гибком подвесе с горизонтальным фиксатором, который позволяет точно регулировать и фиксировать положение монтажного элемента как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях.

2. Технология изготовления конструкций позволяет просто изготавливать конструкции оптимальные по критерию минимизации гидравлических потерь в газоотводящем тракте. Из публикаций SICIND нам известно, что наши западные коллеги также используют это преимущество стеклопластиковых конструкций.

2. Технология изготовления стеклопластиковых элементов. Конструкция стенки.

В отличие от широко распространенной технологии намотки ровингом нами, основным, применяется намотка тканью. Данное технологическое решение было предложено и запатентовано в середине 80-х годов проф. В.М. Асташкиным. В коллективе с автором эта технология модифицирована в мобильный комплекс по изготовлению стеклопластиковых оболочек диаметром до 5 м непосредственно вблизи места возведения сооружения.



Production of «Sandwich» FRP shell

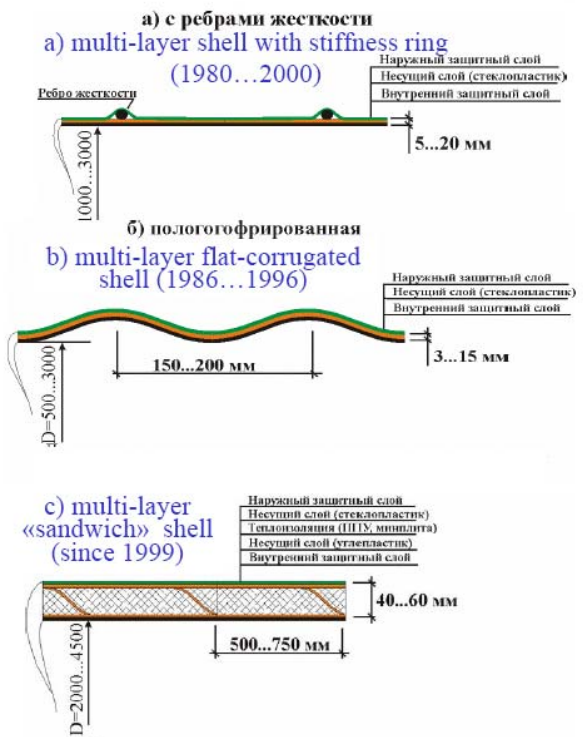


Рис. 2. Производство сэндвичевой стеклопластиковой оболочки на мобильном комплексе

С учетом применяемой нами технологии полагаем, что наиболее прогрессивной является «сэндвичевая» конструкции стенки ствола дымовой трубы – с легким утеплителем между стеклопластиковыми обшивками. Введение в середину стенки слоя утеплителя позволяет не только существенно увеличить изгибную жесткость стенки как за счет увеличения момента инерции, но и, **что особенно важно**, существенно повысить модуль упругости и прочность пластика за счет исключения влияния температуры дымовых газов на внешний конструкционный слой.

Таким образом, мы обеспечиваем местную устойчивость стенки оболочки и существенно снизить ее материалоемкость без усложнения конструкции.

3. Примеры применения технических решений. Тенденции развития

На рис. 3. показана дымовая железобетонная труба Н=120 м промышленной котельной ОАО «Молот-Энерго», которая заменяется на стеклопластиковую Н=70 м. Необходимость замены обусловлена тем, что вместо проектной мощности 3,5 МВт тепла тепловые агрегаты котельной в совокупности производят от 1,1 МВт (зимой) до 0, 1 МВт летом. Т.е. нагрузка на существующую дымовую ж/б трубу высотой 120 м составляет не более 30%, а кроме того, характеризуется большой неравномерностью. При этом в топливе тепловых агрегатов равновероятно может быть использован как мазут, так и природный газ.



«Weakness» - steel structures
production and assembling costs

Typical state of RC chimney (inspection results)



Heating Units	(2 x КВГМ-100) + (4 x ГМ-50-14/250)
Heating Value	3.5 MWt - project 1.15 (0.1) MWt - actual
Fuel type	Natural gas / Oil
Temperature, C (min / norm / max)	90 / 120 / 180;

Рис. 3. Реконструкция железобетонной дымовой трубы ООО «Молот-энерго»

Однако, данное техническое решение имеет важную особенность – не в полной мере используются свойства стеклопластика как конструкционного материала. Т.е. в стоимости сооружения доля стоимости опорного каркаса составляет до 60%, что не является эффективным. Нам давно известен этот негативный фактор, поэтому, начиная с 2004 года нами неоднократно предпринимались попытки снизить металлоемкость сооружения каркаса или полностью отказаться от него.

Апробацией новых технических решений мы занимались на сооружениях дымовых труб котельных малой мощности (до 0,5 МВт), которые работают на попутном нефтяном газе. Мы разработали и опробовали несколько типов конструкций диаметром от 0,5 до 1,2 м высотой до 40 м. Полагаем, что наилучшей конструкцией, которая имеет минимальную стоимость, эквивалентную стоимости обычной металлической дымовой трубы, но со значительно большим сроком службы является сооружение мачтового типа на оттяжках. При этом мачта выполняется из гнutoго оцинкованного профиля, а стеклопластиковый ствол выше металлической мачты на 5...8 м. Достаточно большая свободная высота стеклопластикового ствола позволяет избежать негативного влияния самоокутывания высокоагрессивными дымовыми газами.

Сэндвичевая конструкция стеклопластиковых элементов, проведенные исследования и наработанные за 12 лет инженерные решения позволили нам в конечном итоге реализовать на практике конструкции самонесущих стеклопластиковых дымовых труб. (эта тема, кстати, была моего выпускной квалификационной работой в университете).

На Челябинской ТЭЦ-1 акционерного общества «Фортум» расположены 9 металлических нефутерованных (с защитным эпоксидным окрасочным составом) дымовых труб. Каждая труба отводит дымовые газы от соответствующего котлоагрегата тепловой мощностью 2,3 МВт. Условия эксплуатации дымовых труб показаны в таблице 2. Они характеризуются стабильностью и относительно невысокими температурами отводимых газов. Высота дымовых труб 30 м, диаметр 2,8 м.

Heating Units	Fuel type (base/reserve)	Flue gases characteristics (after gas cleaning, at chimneys inlet)		
		Temperature, C (min / norm / max)	Dew point, C (gas/coal)	Volume, nm ³ /sec (min / norm / max)
ТКП- 3 200/166 (2.3 MWt)	Natural gas / Coal	- / 80 / 105;	62 / 89;	- / 60 / 80;

Первоначально, по проекту 40-х годов 20 века, и до 2006 года дымовые трубы и газоходы были. Ежегодно, в замене или капитальном ремонте, связанном с коррозионным износом сооружений, нуждались 1-2 трубы. На **рис. 7** изображена законченная монтажом стеклопластиковая труба №3 и чертеж общего вида. Дымовая труба имеет рамную опорную конструкцию высотой 6 м, установленную в существующие места крепления бывшей стальной трубы. Также в существующие места зафиксированы оттяжки, которые закреплены к стеклопластиковому стволу на отм +57 м (или же чуть выше середины трубы).

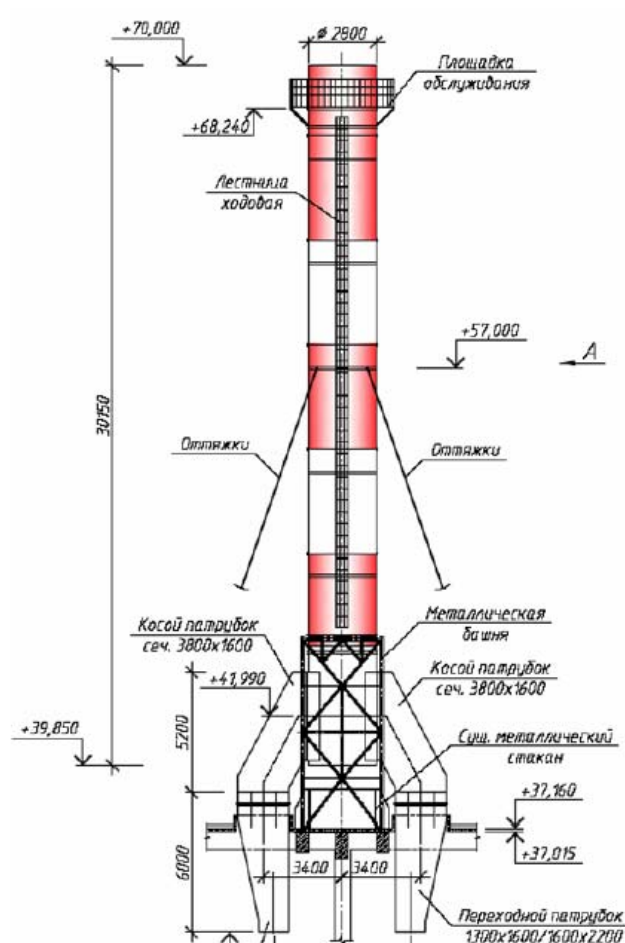


Рис.4. Самонесущая стеклопластиковая дымовая труба ТЭЦ-1 г. Челябинска

Необходимость устройства опорной стальной конструкции диктуется тем, что в низу трубы выполнены два симметричных проема размерами 3,8x1,6 м для ввода стеклопластиковых газоходов. Газоходы практически перерезают сечение трубы и подвешены к опорной рамной конструкции. Сооружение снабжено требуемыми вспомогательными конструкциями лестниц и площадок.

Самым непростым оказалась задача надежного жесткого соединения монтажных элементов между собой, т.к. в отличие от подвесной системы монтажный стык должен передавать продольные и кольцевые усилия, а также местные изгибающие моменты.

Для этого, применено известное из деревянных конструкций соединение на стальных нагелях. Раструбное соединение было модифицировано следующим образом:

- при изготовлении элементов сопрягаемые торцы тщательно подгоняются с формированием **торцевого упора**, фиксирующего глубину посадки элементов.
- сопрягаемые концы элементов **монтажными кондукторами-столиками**

При сборке конструкции, верхний элемент вставляется и осаживается до замыкания торцов в упор. После этого при помощи монтажных кондукторов обеспечивается равномерный зазор по окружности трубы, устанавливаются нагеля из нержавеющей стали, а зазор заполняется клеевым полимерным составом, с волокнистым наполнителем. Сверху наносится герметик (например полиуретановый). После полимеризации клея монтажные столики могут быть демонтированы (см. рис. 5).

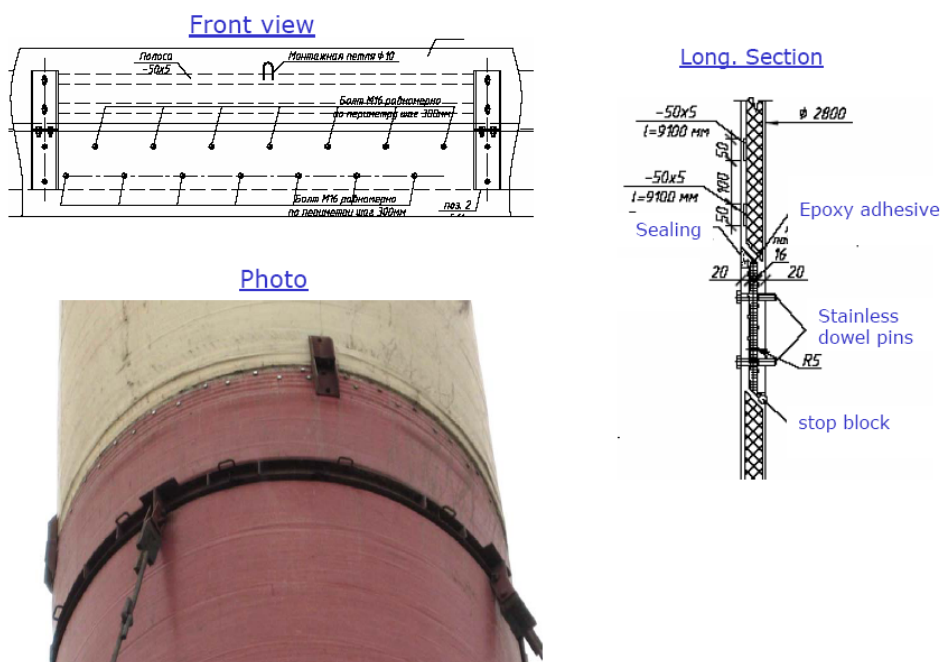


Рис.5. Self-supporting FGP chimney №3. Joint Details

Выполненные расчеты на заданные нормами проектирования показали что прочность, общая и местная устойчивость трехслойной стеклопластиковой оболочки обеспечена с запасом.

Заключение.

1. Сложившиеся современные условия эксплуатации дымовых труб теплоэнергетики России и экономическая конъюнктура рынка определяют необходимость применения стеклопластиковых оболочек в составе сооружений дымовых труб.

2. Опыт проектно-технологических инженеринговых разработок показывает, что вектором развития технических решений является выполнение самонесущих дымовых труб с применением сэндвичевых стеклопластиковых оболочек.