

Утверждаю  
Главный конструктор  
ОАО «Авангард»

Е.В.Малютин



## Прогнозирование срока службы стеклопластиковых газоотводящих стволов

В процессе эксплуатации газоотводящие стволы и газоходы подвергаются воздействию механических нагрузок в сочетании с повышенной температурой и агрессивной средой. Одним из наиболее важных эксплуатационных факторов является высокая температура, воздействию которой внутренняя поверхность ствола подвергается в течение всего периода эксплуатации. Здесь следует сделать следующее замечание. Стеклопластиковые газоотводящие стволы по условиям эксплуатации могут быть разбиты на три группы:

- самонесущие на растяжках;
- установленные в подкрепляющую решетчатую металлическую башню;
- установленные в бетонный, кирпичный или металлический кожух.

Условия работы таких газоотводящих стволов отличаются, так как на температурный прогрев стенки ствола влияют такие факторы, как: находится ли газоотводящий ствол при свободном обдуве воздухом, то есть без накрытия его кожухом, имеются ли в кожухе сквозные отверстия и т.д. Не меньшее значение при этом имеют и материалы кожухов: металлический, металлический с отверстиями, кирпичный, бетонный, геометрические соотношения кожуха и газоотводящего ствола, толщины стенок, расстояния между поверхностями стенок, соотношения диаметров и т.д.

Проведенные тепловые расчеты показывают, что наименьший разогрев стенок наблюдается у газоотводящих стволов без кожуха или с металлическим тонкостенным кожухом с отверстиями. Наибольший разогрев стенок наблюдается у газоотводящих стволов, расположенных в кирпичном или бетонном кожухе с толщинами стенок 500÷2400 мм. Температурный разогрев стенок стеклопластикового ствола у таких конструкций составляет 150 °С для внутренней поверхности в нижней зоне ствола при температуре отводимых газов 180 °С на входе в ствол. В верхних секциях ствола температура понижается.

Высокие температуры эксплуатации газоотводящих стволов обуславливают преимущественное применение высокотемпературных термореактивных связующих для их изготовления. Наилучшим комплексом свойств для изготовления газоотводящих стволов обладают стеклопластики на основе смолы ЭТФ. Они имеют высокую прочность при температурах 180-200°С, которая мало изменяется в процессе теплового старения. Однако сохранение высоких значений характеристик при кратковременных испытаниях при повышенной температуре еще не гарантирует длительную работоспособность стеклопластиков при высоких температурах.

Температурное воздействие на стеклопластик сопровождается постепенным разрушением связующего и уносом его из материала внутренней поверхности трубы. Для исследования кинетики и механизма процесса деструкции стеклопластика, определения срока его эксплуатации при высокой температуре фирмой «Теплокон» (МАИ) совместно с ОАО «Авангард» были проведены работы по исследованию зависимости прочности при изгибе от температуры (таблица 1), прогрева материала образцов (см.рис.1) и определение прогнозируемого срока службы стеклопластика газоотводящего ствола.

Таблица 1

| Стекло-пластик | Разрушающее напряжение при статическом изгибе, МПа |       |       | Время старения при 200°С, час. | Разрушающее напряжение при изгибе при 20°С после старения при 200°С |             | Потери веса связующего, % при 20°С после старения (200°С). |
|----------------|----------------------------------------------------|-------|-------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------|
|                | 20°С                                               | 150°С | 180°С |                                | МПа                                                                 | % исходного |                                                            |
| Т-13+ЭТФ       | 457                                                | 350   | 252   | 2700                           | 390                                                                 | 85,5        | 5,1                                                        |

Для определения времени жизни стеклопластика при повышенной температуре, определяющего срок эксплуатации изделия, применялся метод изотермического старения при температурах, превышающих эксплуатационную с применением принципов температурно-временной суперпозиции и экстраполяцией полученных данных в область эксплуатационных температур. В качестве критерия выхода образцов из строя было выбрано снижение прочности при изгибе на 30%.

Несмотря на необходимость изготовления и испытания большого числа образцов и значительную продолжительность старения, этот метод широко применяется, так как дает численные значения времени жизни материалов при повышенных температурах. При этом предполагают, что структурные изменения в материале в процессе ускоренного старения при повышенных тем-

пературах идентичны структурным изменениям в условиях эксплуатации, а процесс деструкции – это реакция с постоянной энергией активации.

В процессе теплового старения стеклопластика при температурах 200°C, 220°C и 250°C была установлена зависимость между сроком жизни и температурой, которая представлена на рис.2. Для оценки статистической достоверности результатов на графике нанесены доверительные границы с точностью до 95%.

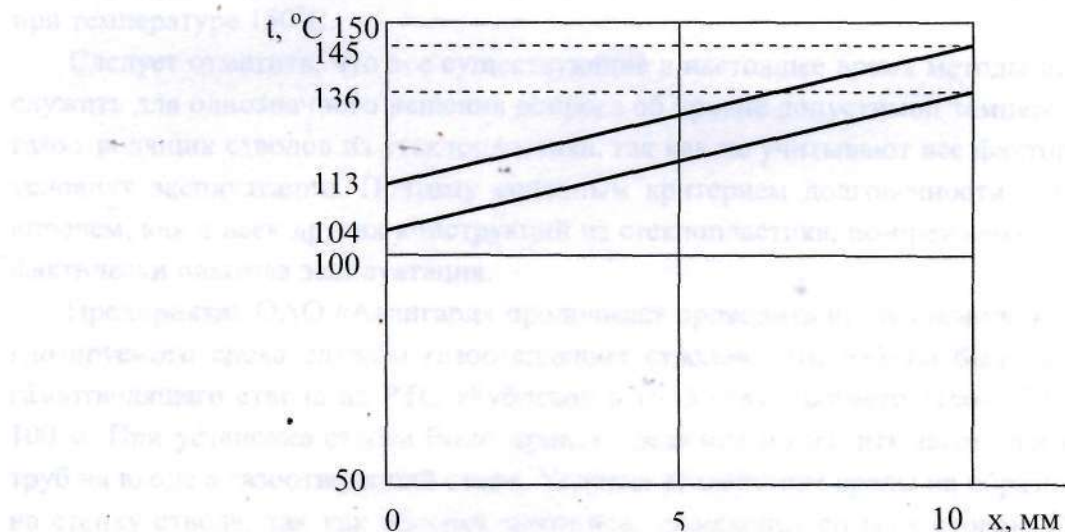


Рис.1 График температуры по толщине образца

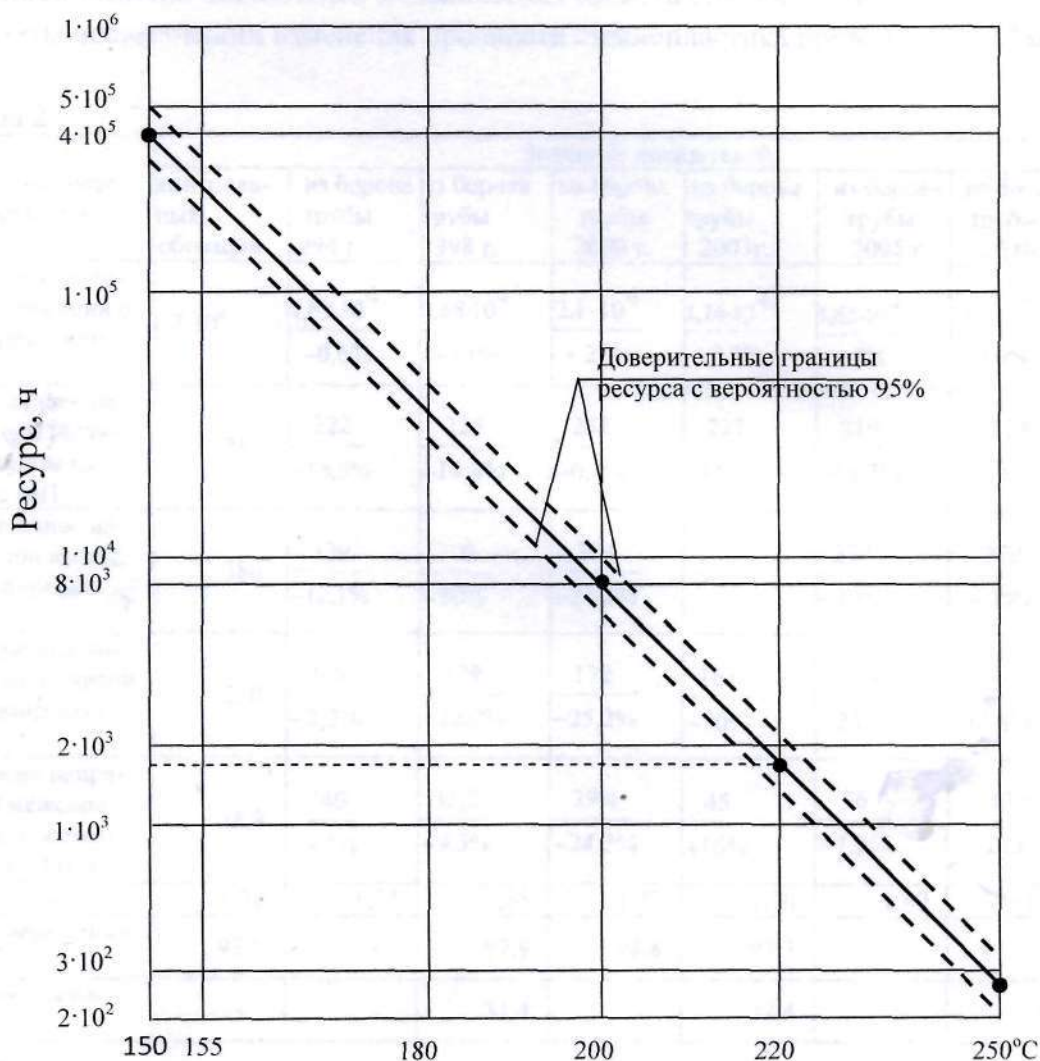


Рис.2 Зависимость срока службы от температуры

В результате проведенных теплофизических исследований стеклопластика:

- подтверждена возможность применения связующего на основе смолы ЭТФ для изготовления газоотводящих стволов;
- определена рабочая температура длительной эксплуатации стеклопластика – 140 °С;
- определены поля температур по толщине образца 10 мм;
- определен расчетный срок службы газоотводящих стволов, который составляет ~ 46 лет при температуре 150°С.

Следует отметить, что все существующие в настоящее время методы исследования не могут служить для однозначного решения вопроса об уровне допустимой температуры и сроке службы газоотводящих стволов из стеклопластика, так как не учитывают все факторы, имеющие место в условиях эксплуатации. Поэтому основным критерием долговечности газоотводящих стволов, впрочем, как и всех других конструкций из стеклопластика, по-прежнему продолжает оставаться фактически опытная эксплуатация.

Предприятие ОАО «Авангард» продолжает проводить исследования по подтверждению прогнозируемого срока службы газоотводящих стволов. Эти работы были начаты при установке газоотводящего ствола на РТС «Рублево» в 1993 году. Диаметр ствола 3250 мм, высота ствола 100 м. При установке ствола было принято решение поместить заготовки из кольца- свидетеля труб на входе в газоотводящий ствол. Условия воздействия среды на образцы более жесткие, чем на стенку ствола, так как обогрев заготовки происходит со всех сторон. Периодичность съема заготовок - в первые годы эксплуатации через 5 лет, затем через 3 года в течение 6 лет, затем через каждый год. После каждого съема составляется акт-отчет с оценкой поверхности заготовки и определением величин показателей механических свойств стеклопластика.

Результаты исследований изменения прочности стеклопластика приведены в таблице 2

Таблица 2

| Наименование показателя                                                | Значение показателей         |                               |                               |                               |                              |                               |                               |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                                                                        | контроль-<br>ных<br>образцов | из борова<br>трубы<br>1994 г. | из борова<br>трубы<br>1998 г. | из борова<br>трубы<br>2000 г. | из борова<br>трубы<br>2003г. | из борова<br>трубы<br>2005 г. | из борова<br>трубы<br>2010 г. |
| Модуль упругости при растяжении в осевом направлении, МПа              | $1,7 \cdot 10^4$             | $1,69 \cdot 10^4$<br>-0,6%    | $1,68 \cdot 10^4$<br>-1,1%    | $2,1 \cdot 10^4$<br>+ 23%     | $1,74 \cdot 10^4$<br>+2,3%   | $1,65 \cdot 10^4$<br>-3%      | $1,69 \cdot 10^4$<br>-0,6%    |
| Разрушающее напряжение при растяжении в осевом направлении, МПа        | 263                          | 222<br>-15,5%                 | 225<br>-14,4%                 | 262<br>-0,4%                  | 222<br>-15,5%                | 219<br>-16,7%                 | 228<br>-13,3%                 |
| Разрушающее напряжение при изгибе в осевом направлении, МПа            | 386                          | 339<br>-12,1%                 | 270<br>-30%                   | 304<br>-21,2%                 | -                            | 270<br>-30%                   | 270<br>-30%                   |
| Разрушающее напряжение при сжатии в осевом направлении, МПа            | 230                          | 225<br>-2,2%                  | 179<br>-22,2%                 | 172<br>-25,2%                 | 161<br>-30%                  | 174<br>-24,3%                 | 199<br>-13,5%                 |
| Разрушающее напряжение при межслойном сдвиге в осевом направлении, МПа | 38,8                         | 40<br>+3%                     | 35,2<br>-9,3%                 | 29,4<br>-24,2%                | 45<br>+16%                   | 36<br>-7,2%                   | 30,6<br>-21,1%                |
| Плотность, г/см <sup>3</sup>                                           | 1,72                         | 1,73                          | 1,65                          | 1,72                          | 1,70                         | 1,69                          | 1,73                          |
| Степень отверждения, %                                                 | 92,5                         | -                             | 97,9                          | 98,8                          | 97,3                         | -                             | 98,6                          |
| Содержание связующего, %                                               | -                            | -                             | 31,4                          | -                             | 32,4                         | -                             | 32                            |

В знаменателе указан процент снижения или превышения показателей механических свойств по сравнению с контрольными образцами.

Значения показателей: плотность, содержание связующего, степень отверждения связующего подтверждают отсутствие деструкции. Максимальное снижение показателя прочности при изгибе и сжатии не более 30% за 17 лет эксплуатации.

В заключение следует отметить, что на предприятии ОАО «Авангард» продолжаются работы в области исследования влияния условий эксплуатации на свойства стеклопластиков и расширения сферы их применения в различных отраслях промышленности.

Начальник сектора композиционных материалов  
конструкторской службы ОАО «Авангард»



Н.В. Погорелова

Прогнозирование срока службы  
стеклопластиковых изделий