

**Разработка и подтверждение алгоритмов расчетов  
на прочность и устойчивость промышленных трубопроводов  
с применением гибких полимерных армированных труб  
различного конструктивного исполнения**



**Заместитель директора по науке АО «ИВХИМПРОМ»  
доктор технических наук  
С.Г. СТЕПАНОВ**

## Проблемы проектирования, эксплуатации и строительства трубопроводов с ГПАТ

1. ГОСТ 70623 не учитывает факторы, влияющие на прочность трубопровода, такие как состав транспортируемой среды (нефть, НГВЖ с различным газосодержанием или пластовая/подтоварная вода), разница температур потока и окружающей среды, давлений потока в начале и конце трубопровода, условия прокладки (радиусы изгиба, влияние качества подготовки основания, на которое укладывается трубопровод) и т.д.
2. Сегодня существует один наиболее понимаемый показатель, на который можно ориентироваться при оценке остаточного ресурса трубопровода с применением ГПАТ – динамика деградации разрушающего давления, которая ГОСТом не регламентируется. Разрушающее давление является важнейшим комплексным показателем запаса прочности ГПАТ, по которому назначается рабочее давление в трубопроводе согласно ГОСТ 70623.
3. Отсутствуют статистические данные, которые учитывают вышеуказанные факторы во времени эксплуатации, для обновления существующих расчетных алгоритмов, или разработке новых.
4. Отсутствуют общепризнанные методы, определяющие техническое состояние промысловых трубопроводов с применением ГПАТ и их остаточный ресурс.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- Разработка и подтверждение математических зависимостей для выполнения расчетов на этапах проектирования и оценки технического состояния промышленных трубопроводов, построенных с применением гибких полимерных армированных труб, далее ГПАТ.
- Разработка программного продукта для выполнения расчетной части.
- Формирование предложений по внесению изменений/дополнений в ГОСТ Р 70623-2023 «Трубопроводы промышленные. Трубопроводы из гибких полимерных армированных труб. Правила проектирования, монтажа и эксплуатации»

## Имеющийся задел по работе

Зависимость для разрушающего внутреннего гидростатического давления как комплексного прочностного показателя трехслойных ГПАТ

$$P_{\text{разр.}} = \frac{f_1(\sigma_{\text{ВГ}}, \sigma_{\text{НЗ}}) + n \cdot [N_{\text{разр.}} - N_{\text{нач.}} + \sigma_M \cdot (L_o \cdot t - A_B)]}{L_o \cdot R \cdot \left[ \frac{1}{\cos^2 \varphi} + \frac{R}{2 \cdot (R + 0.5 \cdot T)} \right]},$$

где:  $P_{\text{разр.}}$  - разрушающее давление в ГПАТ, обусловленное разрушением армирующего элемента;

$N_{\text{разр.}}, N_{\text{нач.}}$  - соответственно натяжение в армирующем элементе при разрыве и начальное натяжение при намотке;

$R, T$  - соответственно внутренний радиус и толщина стенки ГПАТ;

$L_o$  - средняя геометрическая плотность армирующего элемента (среднее расстояние между осевыми линиями соседних армирующих элементов);

$\varphi, n$  - соответственно угол наклона витков намотки и число их слоев;

$\sigma_{\text{ВГ}}, \sigma_M, \sigma_{\text{НЗ}}$  - напряжения соответственно во внутреннем гидроизоляционном, в связующем армирующего, в наружном защитном полиэтиленовом слоях;

$t_{\text{ВГ}}, t_{\text{ПР}}, t_{\text{НЗ}}$  - толщины соответственно внутреннего гидроизоляционного, промежуточного армирующего, наружного защитного слоев;

$t$  - толщина прослоек связующего между армирующими элементами соседних слоев ( $t=0$  при отсутствии связующего при намотке);

$A_B$  - площадь поперечного сечения армирующего элемента;

$\eta_{\text{ВГ}}, \eta_{\text{ВВ}}$  - коэффициенты горизонтального и вертикального смятия армир. элемента (равны 0 при армировании стальными проволокой или лентой).

## ИМЕЮЩИЙСЯ ЗАДЕЛ ПО РАБОТЕ

Оценка соответствия расчетных и экспериментальных данных по разрушающим давлениям



Номинальный диаметр (DN), мм	Расчетное давление разрушения $P_1$ , МПа	Экспериментальное давление разрушения $P_2$ , МПа	Отклонение S, %
<b>ГПАТ, армированные стальной кордной проволокой</b>			
50	27.25	25.66	6.20
100	12.58	13.89	9.43
125	16.08	18.4	12.61
200	14.44	16.2	10.86
<b>ГПАТ, армированные полиэстерной нитью</b>			
100	61,43	64,3	4,46
<b>ГПАТ, армированные стальной лентой</b>			
149	28,78	31,075	7,37

Полученное среднее значение по отклонениям расчетных и фактически полученных значений давлений разрушения для разного конструктивного исполнения ГПАТ позволяет рассчитывать на достоверность полученной зависимости.

Необходимо отметить, что результаты получены на образцах ГПАТ не участвующих в эксплуатации.

Для полноценной оценки применимости или доработки предлагаемой формулы для различных конструкций ГПАТ необходимо ее адаптировать к условиям строительства и эксплуатации на базе статистических данных характеристик труб, имеющих определенные сроки наработки в промышленных условиях.

## ПРЕДЛАГАЕМЫЕ РЕШЕНИЯ

Представленную формулу предлагается взять за основу с дополнением полученных в процессе выполнения работы новых функциональных зависимостей



## ЭТАПНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ



1. Разработка математических зависимостей/алгоритмов с учетом влияния конструктивных и эксплуатационных факторов для выполнения расчетов на этапах проектирования и оценки технического состояния промышленных трубопроводов, построенных с применением ГПАТ различного конструктивного исполнения.
2. Разработка и адаптация Программного продукта для выполнения расчетов промышленных трубопроводов на основе ГПАТ с учетом влияния конструктивных и эксплуатационных факторов, условий строительства.
3. Нарботка статистических расчетов на основе фактических данных эксплуатации трубопроводов с ГПАТ и подтверждение достоверности разработанных математических зависимостей.
4. Разработка предложений по внесению изменений/дополнений в ГОСТ Р 70623-2023 «Трубопроводы промышленные. Трубопроводы из гибких полимерных армированных труб. Правила проектирования, монтажа и эксплуатации» в части представления подтвержденных математических зависимостей при проектировании и эксплуатации трубопроводов с ГПАТ.

## Предлагаемые этапы совместного выполнения работ заинтересованными организациями по актуализации ГОСТ



1. Сформировать рабочую группу от заинтересованных организаций, эксплуатирующих промышленные трубопроводы с применением ГПАТ, предприятий изготовителей ГПАТ и экспертных организаций для:
  - 1.1. Определение направлений теоретических, лабораторных и промышленных исследований по показателям, влияющим на изменение деформационно-прочностных характеристик ГПАТ с учетом сроков и условий эксплуатации и определяющим техническое состояние трубопровода;
  - 1.2. Распределение направлений работ по сбору и консолидации информации по вышеуказанным направлениям, в т.ч. по существующим наработкам оценки технического состояния трубопроводов с применением ГПАТ;
  - 1.3. Формирование базы данных и анализ результатов уже выполненных исследований
  - 1.4. Определение наиболее перспективных направлений в области оценки технического состояния трубопроводов с ГПАТ, в т.ч. расчетной части;
2. По результатам работы Рабочей Группы и заинтересованных сторон сформулировать консолидированные предложения по внесению изменений/дополнений в ГОСТ Р 70623-2023 «Трубопроводы промышленные. Трубопроводы из гибких полимерных армированных труб. Правила проектирования, монтажа и эксплуатации».



## **РАЗРАБОТЧИКИ:**

### **СТЕПАНОВ СЕРГЕЙ ГАЕВИЧ**

заместитель директора по науке АО «ИВХИМПРОМ», доктор технических наук  
тел. +7 915 842 42 40; E-mail: step-sg@mail.ru;

### **ДОДОНОВ ОЛЕГ АЛЬБЕРТОВИЧ**

председатель совета директоров АО «ИВХИМПРОМ», генеральный директор НПП «Росхимволокно»,  
тел. +7 930 355 35 55; E-mail: oleg@ivchimprom.ru

### **КАБАНОВА ЮЛИЯ СЕРГЕЕВНА**

генеральный директор АО «ИВХИМПРОМ»  
тел. 8-930-357-06-95; E-mail: kabanova@ivchimprom.ru

### **СИДОРОВ ДМИТРИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ**

начальник отдела инжиниринга и надежности трубопроводов (Лукойл-инжиниринг, Пермь)  
тел. +7 912 546 90 92; E-mail: dasidorov@lukoil.com

**БЛАГОДАРИМ ЗА ВНИМАНИЕ**