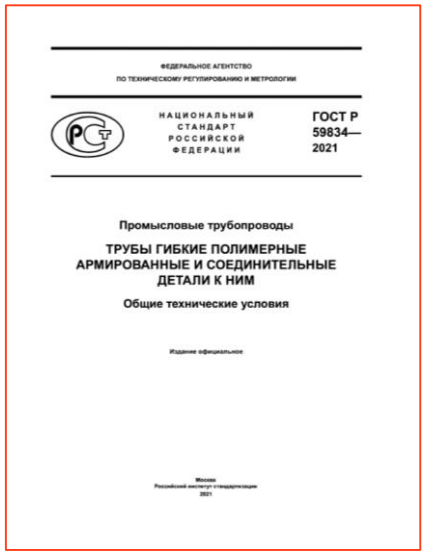
ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

Стендовые испытания полноразмерных образцов ГПАТ и моделирование эксплуатационных нагрузок методом конечных элементов

Докладчик:
Руководитель Департамента специального материаловедения
Федотова Анна Владимировна

НОРМАТИВНАЯ БАЗА ПО ПОЛИМЕРНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

Утвержденные нормативы



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59834— 2021

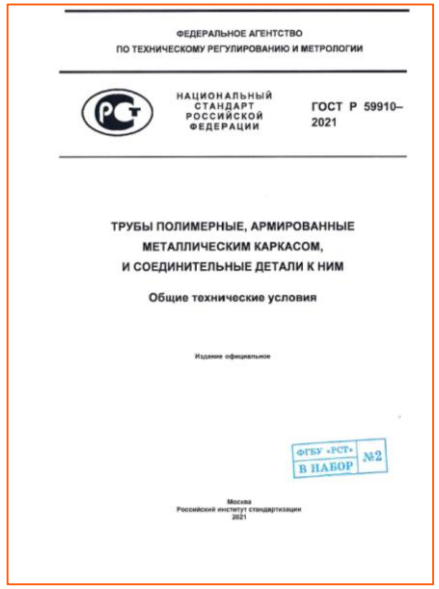
Промысловые трубопроводы

ТРУБЫ ГИБКИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ АРМИРОВАННЫЕ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ДЕТАЛИ К НИМ

Общие технические условия

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2021



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59910– 2021

ТРУБЫ ПОЛИМЕРНЫЕ, АРМИРОВАННЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ КАРКАСОМ, И СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ДЕТАЛИ К НИМ

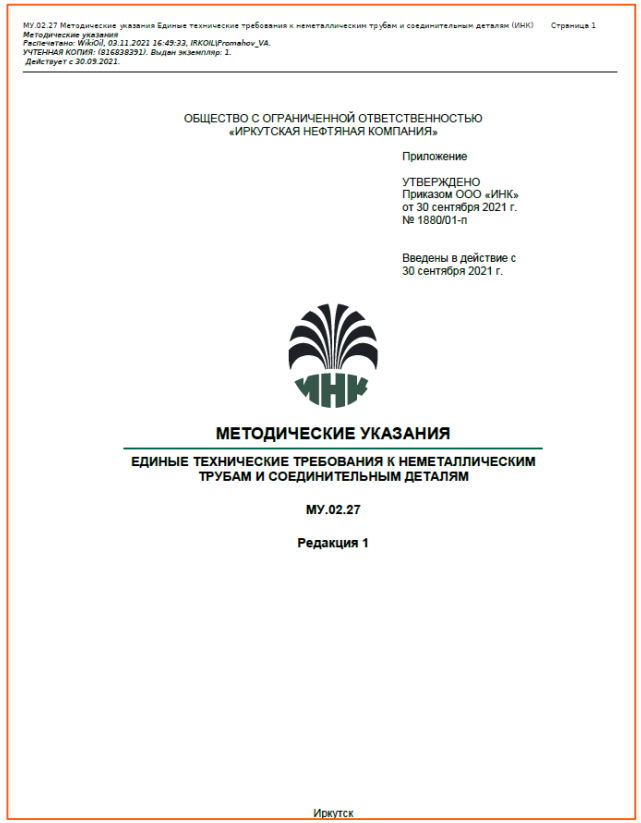
Общие технические условия

Издание официальное

ФГБУ «РСТ» В НАБОР №2

Москва
Российский институт стандартизации
2021

Утвержденные нормативы, разработанные специалистами ООО ИТ-Сервис



МУ.02.27 Методические указания Единые технические требования к неметаллическим трубам и соединительным деталям (ИНК) Страница 1
Методические указания
Распечатано: WikiOil, 03.11.2021 16:49:23, IRKOIL\Fromahov_VA.
УЧЕТНАЯ КОПИЯ: (816838391). Выдан экземпляр: 1.
Действует с 30.09.2021.

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«ИРКУТСКАЯ НЕФТЯНАЯ КОМПАНИЯ»

Приложение

УТВЕРЖДЕНО
Приказом ООО «ИНК»
от 30 сентября 2021 г.
№ 1880/01-п

Введены в действие с
30 сентября 2021 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

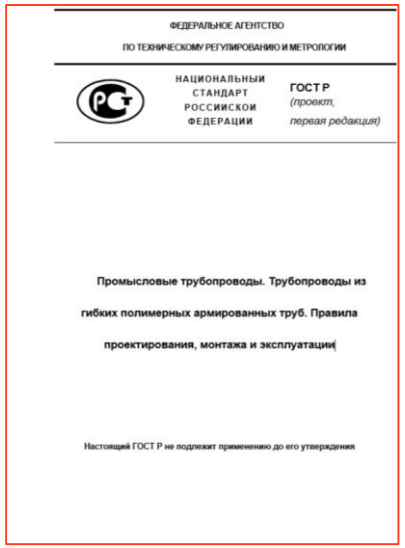
ЕДИНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТРУБАМ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫМ ДЕТАЛЯМ

МУ.02.27

Редакция 1

Иркутск

Будут введены в действие в 2023 г. Разработка проводится при участии специалистов ИТ Сервис



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р *(проект, первая редакция)*

Промысловые трубопроводы. Трубопроводы из гибких полимерных армированных труб. Правила проектирования, монтажа и эксплуатации

Настоящий ГОСТ Р не подлежит применению до его утверждения



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р *(проект, первая редакция)*

Промысловые трубопроводы. Трубы полимерные, армированные металлическим каркасом и соединительные детали к ним. Правила проектирования, монтажа и эксплуатации.

Настоящий ГОСТ Р не подлежит применению до его утверждения

НАУЧНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ЦЕНТРА ООО «ИТ-СЕРВИС»

Сотрудники Департамента постоянно участвуют в работе научно-практических конференций. Опубликовано более 100 научных статей в отечественных и международных изданиях. Уровень компетентности сотрудников подтвержден учеными степенями: в составе Департамента 6 кандидатов и один доктор наук. По результатам выполнения НИР, а также собственных инициативных и научных исследований, получено более 15 патентов.



Единая система оценки соответствия в области промышленной, экологической безопасности, безопасности в энергетике и строительстве
Орган по аккредитации – АО «НТЦ «Промышленная безопасность»

СВИДЕТЕЛЬСТВО ОБ АККРЕДИТАЦИИ
№ ИЛ/ЛРИ-01678*
Общество с ограниченной ответственностью "ИТ-Сервис"
(наименование организации, в состав которой входит лаборатория)
(ООО "ИТ-Сервис")
(краткое наименование организации, в состав которой входит лаборатория)
443001, Российская Федерация, Самарская обл., г. Самара, ул. Ульяновская/Ярмарочная, д. 52/55
(юридический адрес)
Испытательный центр ООО "ИТ-Сервис"
(наименование лаборатории)
443036, Российская Федерация, Самарская обл., г. Самара, Железнодорожный р-н, Набережная реки Самары, дом 1
(фактический адрес лаборатории)

аккредитована в качестве испытательной лаборатории: лаборатории разрушающих и других видов испытаний в соответствии с требованиями ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» и СДА-15-2009 «Требования к испытательным лабораториям».

Области аккредитации согласно приложению

Действительно с 30.09.2020 г.
до 30.09.2025 г.

Без приложения недействительно
(приложение от 29.07.2022 г. на 3 листах)
*Переоформление 29.07.2022 г. в связи с изменением наименования лаборатории
Расширение области аккредитации

М.П. Руководитель /В.С. Котельников/



Единая система оценки соответствия в области промышленной, экологической безопасности, безопасности в энергетике и строительстве
Орган по аккредитации – АО «НТЦ «Промышленная безопасность»

ПРИЛОЖЕНИЕ
от 29.07.2022 г.
К СВИДЕТЕЛЬСТВУ ОБ АККРЕДИТАЦИИ
№ ИЛ/ЛРИ-01678
от 30.09.2020 г.

На 3 листах Лист 1

Область аккредитации[1]

№ п/п	Методы испытаний	Нормативные документы
1.	Механические статические испытания:	
1.1.	Прочности на растяжение	
1.1.1.	При нормальной температуре	ГОСТ 1497-84, ГОСТ 9196-66
1.1.5.	Тонких листов	ГОСТ 11701-84
1.1.7.	Труб	ГОСТ 10006-80
1.1.10.	Сварных соединений металлических материалов	РД 03-495-02 (до 01.09.2022); ГОСТ Р ИСО 4136-2009 ГОСТ Р ИСО 5178-2010
1.4.	Прочности на изгиб	РД 03-495-02 (до 01.09.2022); ГОСТ 14019-2003 (ИСО 7438:1985); ГОСТ 9196-66
1.8.	Полиэтиленовых труб и их сварных соединений, пластмасс, термопластов	РД 03-495-02 (до 01.09.2022); ГОСТ Р 53652.1-2009; ГОСТ Р 53652.2-2009; ГОСТ Р 53652.3-2009; ГОСТ Р 58121.2-2018; ГОСТ Р 58121.3-2018; ГОСТ Р 55142-2012; ГОСТ ISO 11417-1-2013; ГОСТ ISO 11672-2013; ГОСТ ISO 1167-3-2013; ГОСТ ISO 11674-2013; ГОСТ Р ИСО 3126-2007; ГОСТ 27078-2014 (ISO 2505:2005); ГОСТ 18599-2001; ГОСТ 11262-2017; ГОСТ 26277-84 (до 01.09.2022); ГОСТ 26277-2021 (с 01.09.2022); СП 62.13330.2011; СП 40-102-2000, СП 42-103-2003; ГОСТ Р ИСО 13953-2020; ГОСТ Р ИСО 18899-2020
2.	Механические динамические испытания	
2.1.	Ударной вязкости	

[1] Порядковый номер и формулировка согласно перечню областей аккредитации, принятому решением бюро Наблюдательного совета от 01.04.2022 № 105-БНС.
Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим перечнем областей аккредитации следует руководствоваться заменяющим (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

М.П. Руководитель /В.С. Котельников/



Единая система оценки соответствия в области промышленной, экологической безопасности, безопасности в энергетике и строительстве
Орган по аккредитации – АО «НТЦ «Промышленная безопасность»

ПРИЛОЖЕНИЕ
от 29.07.2022 г.
К СВИДЕТЕЛЬСТВУ ОБ АККРЕДИТАЦИИ
№ ИЛ/ЛРИ-01678
от 30.09.2020 г.

На 3 листах Лист 2

№ п/п	Методы испытаний	Нормативные документы
2.1.1.	На ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенной температурах	ГОСТ 9454-78, ГОСТ 9196-66, ГОСТ 30456-97
2.1.2.	На ударный изгиб (ГОСТ 9454-78) при температурах от минус 100 до минус 269°С	ГОСТ 22848-77
2.2.	Склонности к механическому старению методом ударного изгиба	ГОСТ 7268-82
3.	Методы измерения твердости	
3.4.	По Роквеллу (вдавливанием в поверхность образца (изделия) алмазного конуса или стального сферического наконечника)	ГОСТ 9013-59
5.	Методы технологических испытаний	ГОСТ 5564-97
5.1.	Расплющивание и сплющивание	ГОСТ 8818-73, ГОСТ 8695-75
7.	Методы определения содержания элементов	ГОСТ 25086-2011, ГОСТ 28473-90
7.1.	Спектральный анализ	Инструкция по эксплуатации оборудования
7.1.1.	Рентгенофлюоресцентный анализ	ГОСТ 28033-89
8.	Специальные виды (методы) испытаний	
8.1	Испытания на растяжение композитов полимерных	ГОСТ 32656-2017
8.2	Определение ударной вязкости по Изоду пластмасс	ГОСТ 19109-2017
8.3	Определение кольцевой жесткости полимерных труб	ГОСТ Р 56730-2015 п.8.7 ГОСТ Р 54475-2011 п.8.4
8.4	Определение водопоглощения теплоизоляционного слоя	ГОСТ Р 56730-2015 п.8.8
8.5	Определение стойкости пластмасс к воздействию химических сред по изменению массы, размеров и внешнего вида	ГОСТ 12020-2018

М.П. Руководитель /В.С. Котельников/



Единая система оценки соответствия в области промышленной, экологической безопасности, безопасности в энергетике и строительстве
Орган по аккредитации – АО «НТЦ «Промышленная безопасность»

ПРИЛОЖЕНИЕ
от 29.07.2022 г.
К СВИДЕТЕЛЬСТВУ ОБ АККРЕДИТАЦИИ
№ ИЛ/ЛРИ-01678
от 30.09.2020 г.

На 3 листах Лист 3

№ п/п	Методы испытаний	Нормативные документы
8.6	Определение скорости проникновения газов методом равного давления пластмасс	ГОСТ Р 53456.2-2009
8.7	Испытания на растяжение текстильных материалов	ГОСТ ISO 2062-2014

Места проведения испытаний: стационарные, в полевых условиях.
Протокол заседания Комиссии по аккредитации № СДА-КА-249-ИЛ/ЛРИ-146 от 29.07.2022 г.

М.П. Руководитель /В.С. Котельников/

29.07.2022 получено Свидетельство об Аккредитации с расширением области в части испытаний полимерных материалов.

ВОЗМОЖНОСТИ ООО «ИТ-СЕРВИС» В ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛИМЕРОВ

Разработка нормативной документации для контроля качества и характеристик ГПАТ и ЖПАТ в определенных условиях эксплуатации.

Проведение комплекса испытаний полимерных труб новых конструкций и товарных партий в рамках типовых испытаний на соответствие НТД.

Осуществление инспекционного контроля за производством на заводах производителях ГПАТ, а также стройконтроля при строительстве и запуске трубопровода в эксплуатацию.

Разработка и внедрение методик контроля и диагностики технического состояния ПАТ в процессе эксплуатации. Оценка эксплуатационного ресурса.

Разработка и тестирование новых полимерных материалов в лабораторных условиях. Испытания новых конструкций труб в реальных условиях эксплуатации.

ПАРАМЕТРЫ ГПАТ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТНЫХ РАСЧЕТОВ по ТЗ ЗАКАЗЧИКА

№	Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Способ определения
1	Номинальный наружный диметр трубы	d	мм	Исходные данные от производителя
2	Наружный диметр трубы	de	мм	
3	Толщина стенки трубы	e	мм	
4	Номинальное давление	Рном	МПа	Испытания на герметичность
5	Контрольное разрушающее давление	Рразрконтр	МПа	Испытание на разрушающее давление
6	Коэффициент запаса прочности к температуре полимера	fтемп		Гидравлические испытания на разрушающее давление при различных температурах.
7	Модуль упругости конструкции трубы в кольцевом направлении	Ек	Па	Гидравлические испытания с контролем расширения трубы от воздействия внутреннего давления.
8	Коэффициент ползучести	kc		Испытания на растяжение с последовательно прикладываемой нагрузкой.
9	Кратковременная осевая жесткость трубы	EA	Н	Испытания на растяжение до разрушения
10	Кратковременная изгибная жесткость трубы	EI	Па*м4	Испытание на изгиб до повреждения образца
11	Коэффициент линейного температурного расширения трубы	αт	oC-1	Испытание на циклические температурные воздействия (КЛТР)
12	Кольцевая жёсткость трубы	SN	Па	Испытание на сжатие при заданном % деформации
13	Модуль упругости в продольном направлении при растяжении	Епр	Па	Испытания на растяжение до разрушения
14	Коэффициент Пуассона в продольном направлении	μ		Расчетный параметр получаемый через модуль упругости в продольном и кольцевом направлениях

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

Сотрудниками Департамента спроектирован и запущен в эксплуатацию **Испытательный Стенд СГИ - 500.**

Стенд предназначен для гидравлических и пневматических испытаний полимерных армированных труб и прочих конструкций.

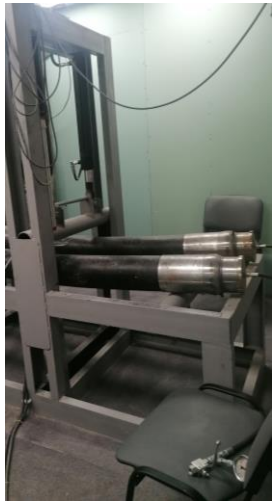
- Максимальное испытательное давление - 500 атм.
- Максимальная температура нагрева испытательной среды 90 °С.
- Оснащен видеонаблюдением и системой автоматического контроля давления.
- Оборудован системой подачи агрессивных компонентов (CO_2 и H_2S) для проведения испытаний в модельных средах.











Стенд **СГИ - 500 позволяет выполнять:**

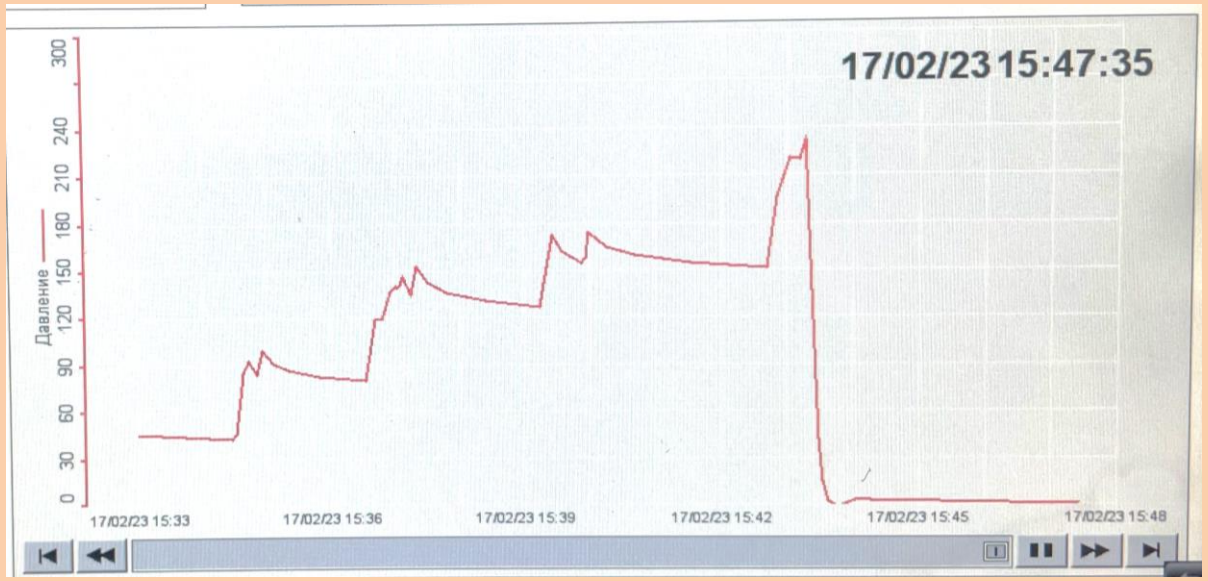
- Испытания на герметичность с различным диапазоном времени выдержки - одновременно 5 образцов;
- Испытание на разрушающее давление при нормальных и повышенных температурах.
- Испытания на выдержку под давлением с закачкой агрессивных компонентов при нормальных и повышенных температурах.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ В КОЛЬЦЕВОМ НАПРАВЛЕНИИ

Внешний вид образца до испытаний

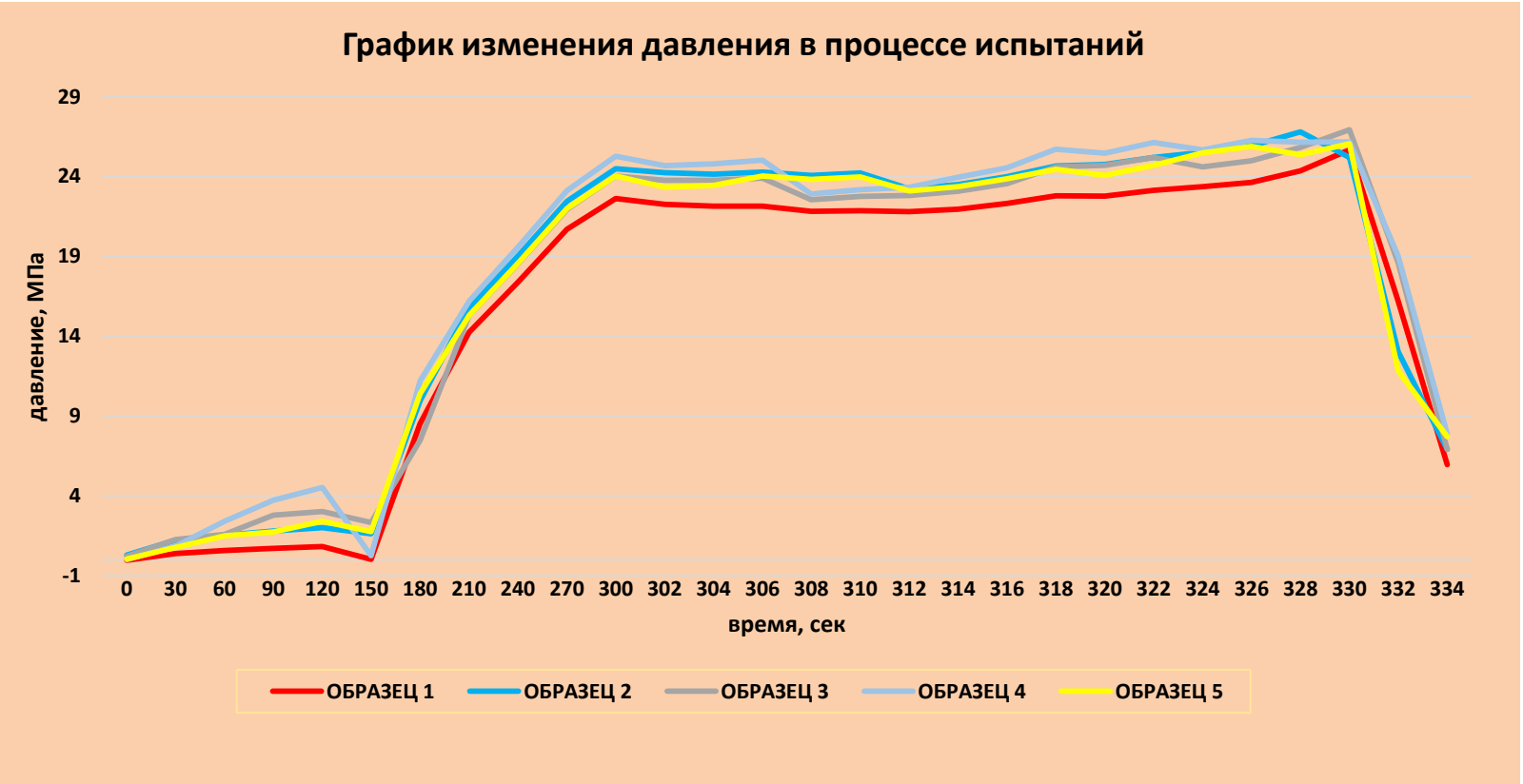


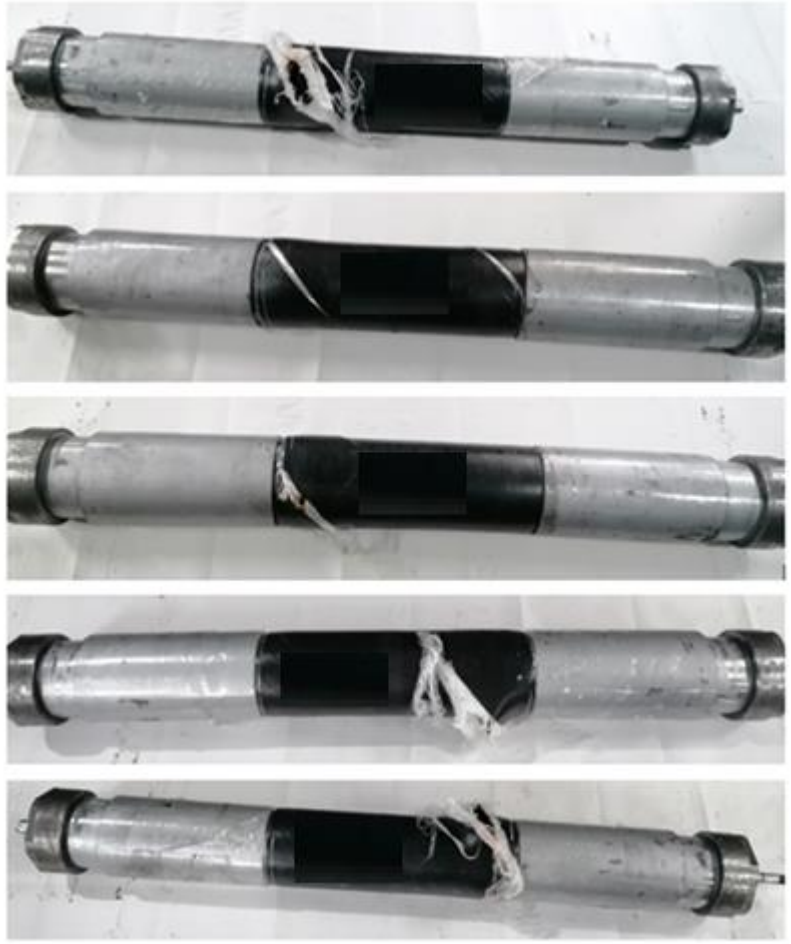






ИСПЫТАНИЯ НА РАЗРУШАЮЩЕЕ ДАВЛЕНИЕ





Внешний вид образцов после испытаний

ИСПЫТАНИЯ НА РАСТЯЖЕНИЕ

Внешний вид образца в начале испытаний



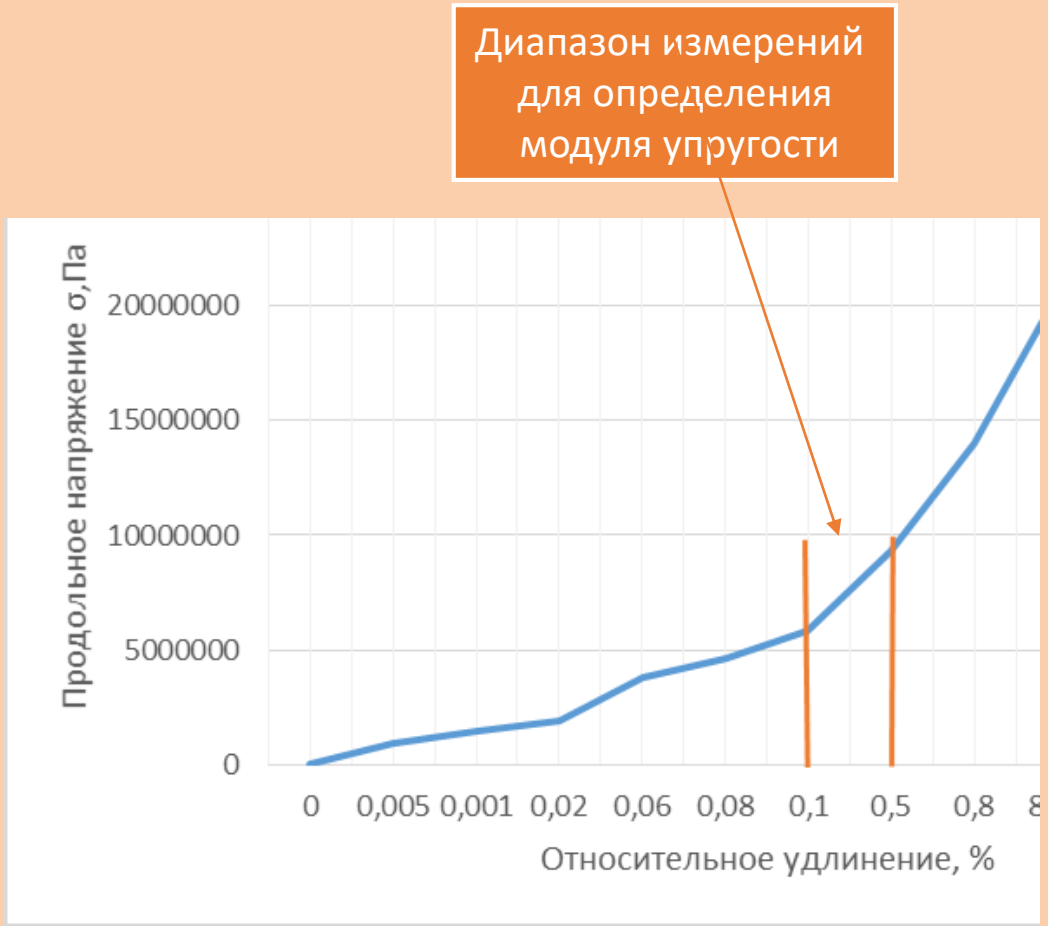


Начало разрушения образца

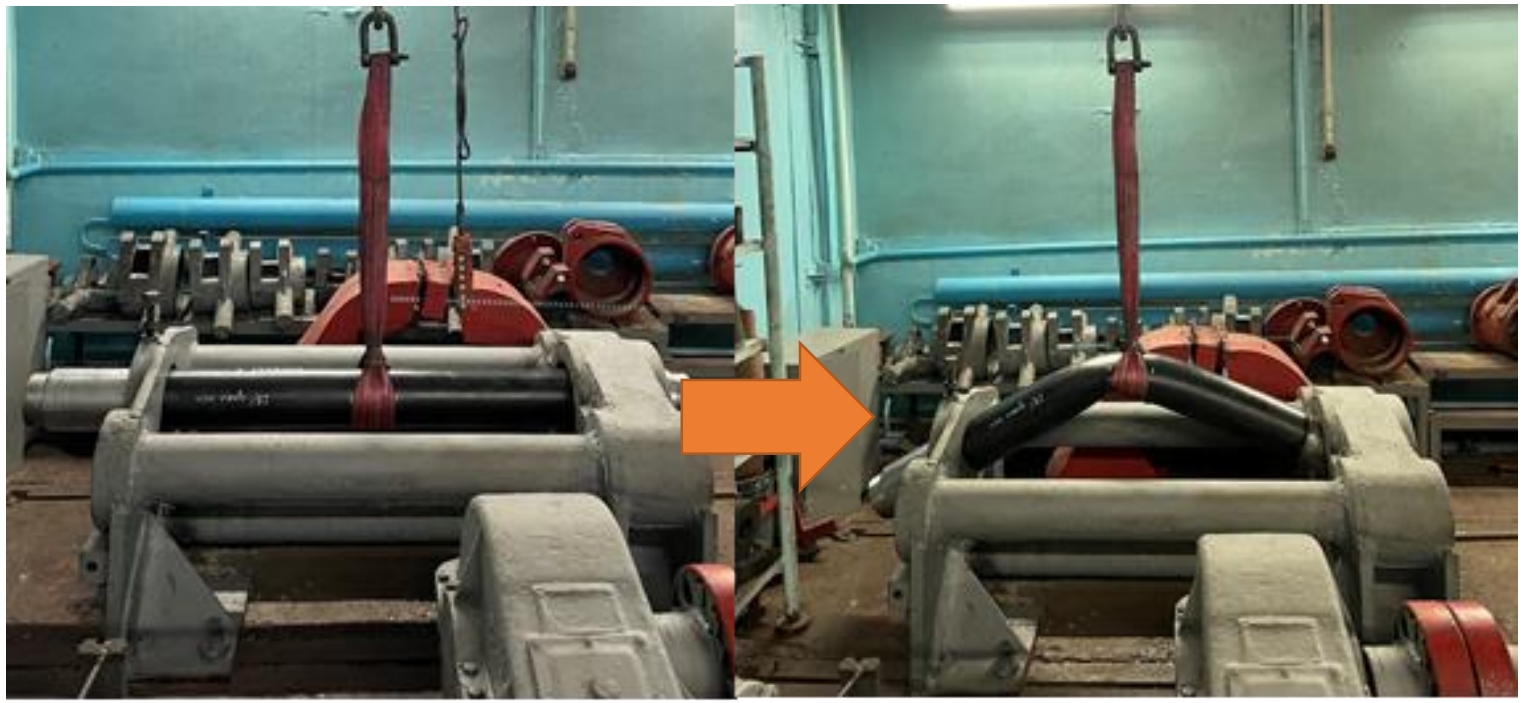




Внешний вид образца после завершении испытаний



ИСПЫТАНИЯ НА ИЗГИБ



Внешний вид образца в начале испытаний

Внешний вид образца в завершении испытаний

Предел прочности при изгибе F. МПа, вычисляли по формуле

$$F = \frac{3 * Pmax * L}{A}$$

где Pmax - максимальная нагрузка, предшествующая разрушению образца, Н.

A - площадь поперечного сечения образца, м^2.

Максимальную деформацию, ε мм/мм. вычисляли по формуле

$$\varepsilon = \frac{6 * \delta * h}{L^2}$$

где δ— значение деформации (прогиб), м.

Кратковременная изгибная жесткость трубы EI рассчитывалась по формуле:

$$EI = (F*L^3) / (48* \delta)$$

где:

F – максимальная нагрузка, предшествующая разрушению образца (Н),

L – длина образца (м),

δ – прогиб (м)

МОДЕЛИРОВАНИЕ И СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ.

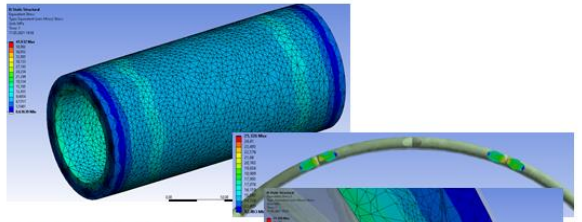
Цифровая модель армированной трубы и результат моделирования его разрушения в программном комплексе ANSYS.



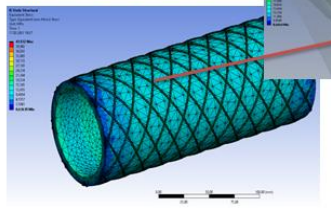
Исходные данные для создания математической модели.

Материал	ПЭ2НТ11-9	П/Э·454·текс·Z·85
Приведенная плотность	959 кг/м³	113,4 кг/м³
Модуль Юнга	1106 МПа	2212,6 МПа
Коэффициент Пуассона	0,44	0,381
Модуль всестороннего сжатия	3072,2 МПа	3098,9 МПа
Модуль сдвига	3840,3 МПа	8010,9 МПа
Предел текучести	21 МПа	72,6 МПа (46,1 МПа)
Модуль пластического упрочнения	46,2 МПа	-

Образец армированной трубы - виртуальная модель.



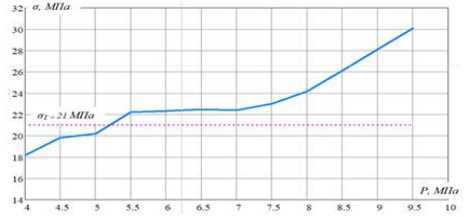
а) внешний вид



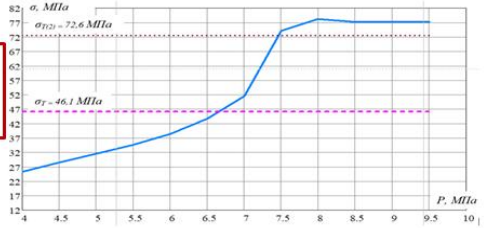
предел текучести нити указан дважды, большее значение – расчетное по предоставленным данным, меньшее – по справочным данным

б) вид армирующего слоя

1. Конечно-элементная модель с распределением полей напряжений

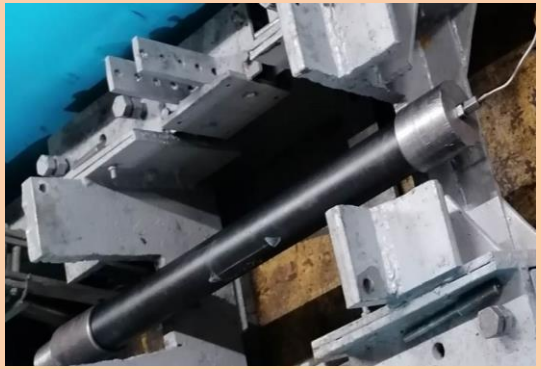


2. Изменение максимальной величины напряжений в полиэтиленовом элементе композитной трубы в зависимости от давления.

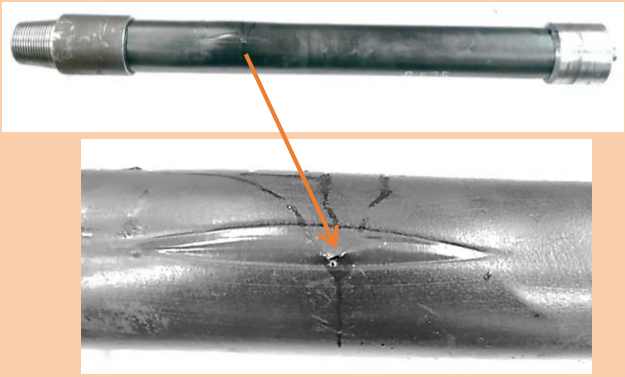


3. Изменение максимальной величины напряжений в армирующем элементе в зависимости от давления.

Результаты испытаний на герметичность и определение давления разрушения образца трубы армированного полиэфирными нитями.



Образец до начала испытаний и после разрушения.



Рабочее давление, МПа	4,0
Давление гидравлического испытания на прочность, МПа	6,0
время выдержки, требования НТД	12 ч
Примечания по ходу испытаний	фактическая выдержка составила 2,5 мин. потом наблюдалось падения давления до 2МПа вследствие расширения трубы (при этом трещали армирующие нити)
РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЙ	Образец герметичен
Нормативное разрушающее внутреннее давление, не менее МПа	9,5
РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЙ	Разгерметизация образца при 8МПа (разрушение по телу трубы)
Заключение	Не соответствует

Выводы:

1. Анализ прочностного расчета композитной трубы, полученный в ходе моделирования, показал, что разрушение данного образца ГПАТ способно начаться уже при значении давления в системе, равного 5,2 МПа, что соответствует 1.3 от рабочего давления (4 МПа).

Данный результат подтверждается наблюдениями, сделанными в процессе натурных испытаний на герметичность. При достижении давления свыше 4,5 МПа начали трещать армирующие нити.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ.

Исходные данные:

Расчет на прочность сегмента трубы ГПАТ армированной металлической лентой

Материал армирующей ленты – Сталь 35Г;

Материал полиэтилена – ПЭ2НТ11-9;

Коэффициент трения между стальными лентами – 0,35;

Коэффициент трения между полиэтиленом и стальными лентами – 0,25.

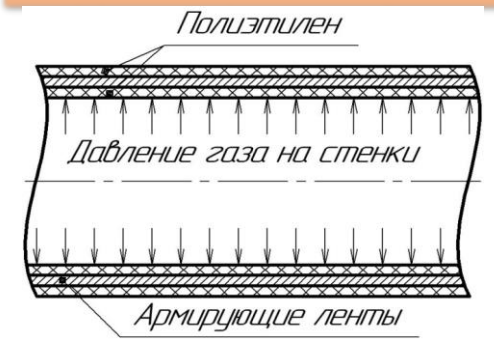
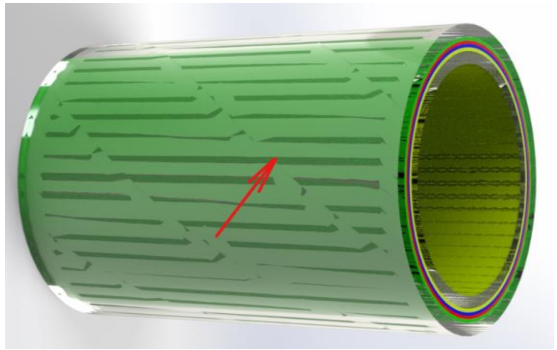


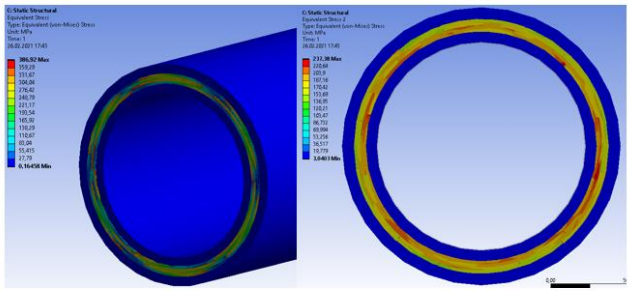
Схема нагружения композитной трубы



Модель композитной трубы

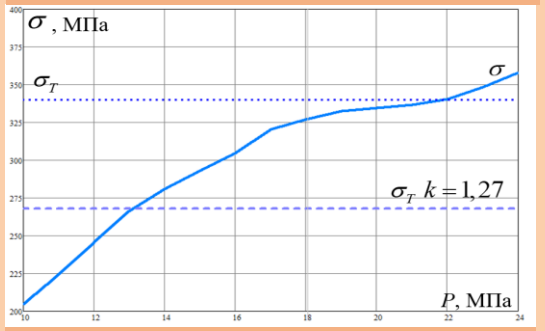
Результаты расчета напряжений в элементах трубы при различных давлениях.

В армирующей ленте		На кромке армирующей ленты		Внутреннее кольцо (полиэтилен)		Коэффициент запаса
σ, МПа	*P*, МПа	σ, МПа	*P*, МПа	σ, МПа	*P*, МПа	
309,1	16,3	309,1	13,1	19,1	14,8	1,1
283,3	14,2	283,3	12,1	17,5	13,5	1,2
261,5	12,8	261,5	11,2	16,2	12,4	1,3
242,9	11,9	242,9	10,3	15,0	11,5	1,4
226,7	11,1	226,9	>10	14,0	10,7	1,5
204,5	10,0	237,4	10,0	13,0	10,0	Рабочее давление

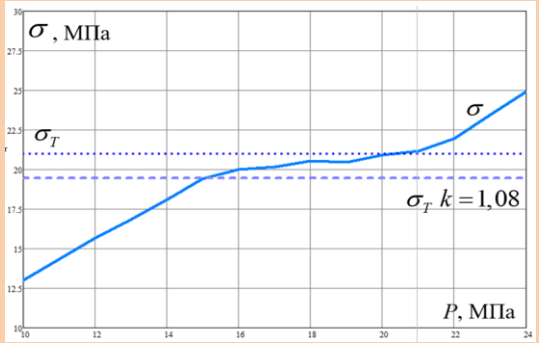


Напряжённо-деформированное состояние трубы

Напряжения в армирующей ленте



Напряжения в полиэтилене (внутреннее кольцо)



Выводы:

1) Максимальное давление газа, при котором сохраняется прочность всех слоёв армированной трубы составляет 13 МПа с коэффициентом запаса прочности 1,27. Полученное давление на 30% превышает давление газа, воспринимаемого трубой в рабочих условиях.

2) Наиболее нагруженной областью трубы является центральная часть арми-рующей ленты. Полиэтилен не выполняет несущей функции, полностью разрушает-ся при достижении внутреннего давления 15 МПа с учётом наличия армирующей ленты в составе конструкции трубы.

3) Коэффициент запаса трубы на рабочем давлении P = 10 МПа составляет ~ 1,4.

Спасибо за внимание!

Федотова Анна Владимировна

+ 7 846 987 65 43
+ 7 927 756 24 02
Fedotova@its-samara.com