



# VI МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ СЕМИНАР

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ  
ГАЗОПРОВОДОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ  
КОРРОЗИОННОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ  
ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

17–21 октября 2022 г.  
г. Кисловодск



**Программа создания корпоративного экспериментального комплекса для оценки работоспособности труб магистральных газопроводов с дефектами коррозионного растрескивания под напряжением и эффективности ремонтных технологий**

Кантюков Р.Р. Ряховских И.В.,

Кашковский Р.В., Арабей А.Б. (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),

# Назначение, область применения, цели и задача Корпоративного экспериментального комплекса

Утверждена 07.12.2021 заместителем Председателя Правления –  
начальником Департамента ПАО «Газпром» О.Е. Аксютиним

## Назначение

Экспериментальное и теоретическое определение количественных значений параметров математических моделей процессов разрушения МГ ПАО «Газпром», посредством реализации: лабораторных исследований; стендовых гидравлических испытаний; натурных испытаний по опытной эксплуатации участков МГ

## Область применения

Стальные трубы с номинальным диаметром от 530 мм до 1420 мм включительно, предназначенные для эксплуатации при рабочем давлении среды до 25 МПа, в том числе изготовленные из современных высокопрочных сталей категорий прочности X80-X100, а также перспективные для задач транспортировки метановодородных смесей.

## Цель

Сокращение операционных затрат ПАО «Газпром» на эксплуатацию МГ, подверженных КРН, при транспортировке природного газа, или метановодородных смесей, за счет экспериментальной количественной оценки работоспособности и ресурса труб с дефектами КРН и применения эффективных ремонтных технологий, позволяющих сохранить участки МГ со стресс-коррозионными повреждениями в работоспособном состоянии.



# Взаимосвязь моделей разрушения труб МГ



## Многостадийная кинетическая модель КРН

Модель «КРН» и «Коррозия», стадия 1

$$\frac{da}{dt} = K_0 (t - t_0)^{n_0 - 1}$$

Модель «КРН», стадия 2

$$\frac{da}{dt} = r \cdot \exp\left(-\frac{a_{max}}{m}\right)$$

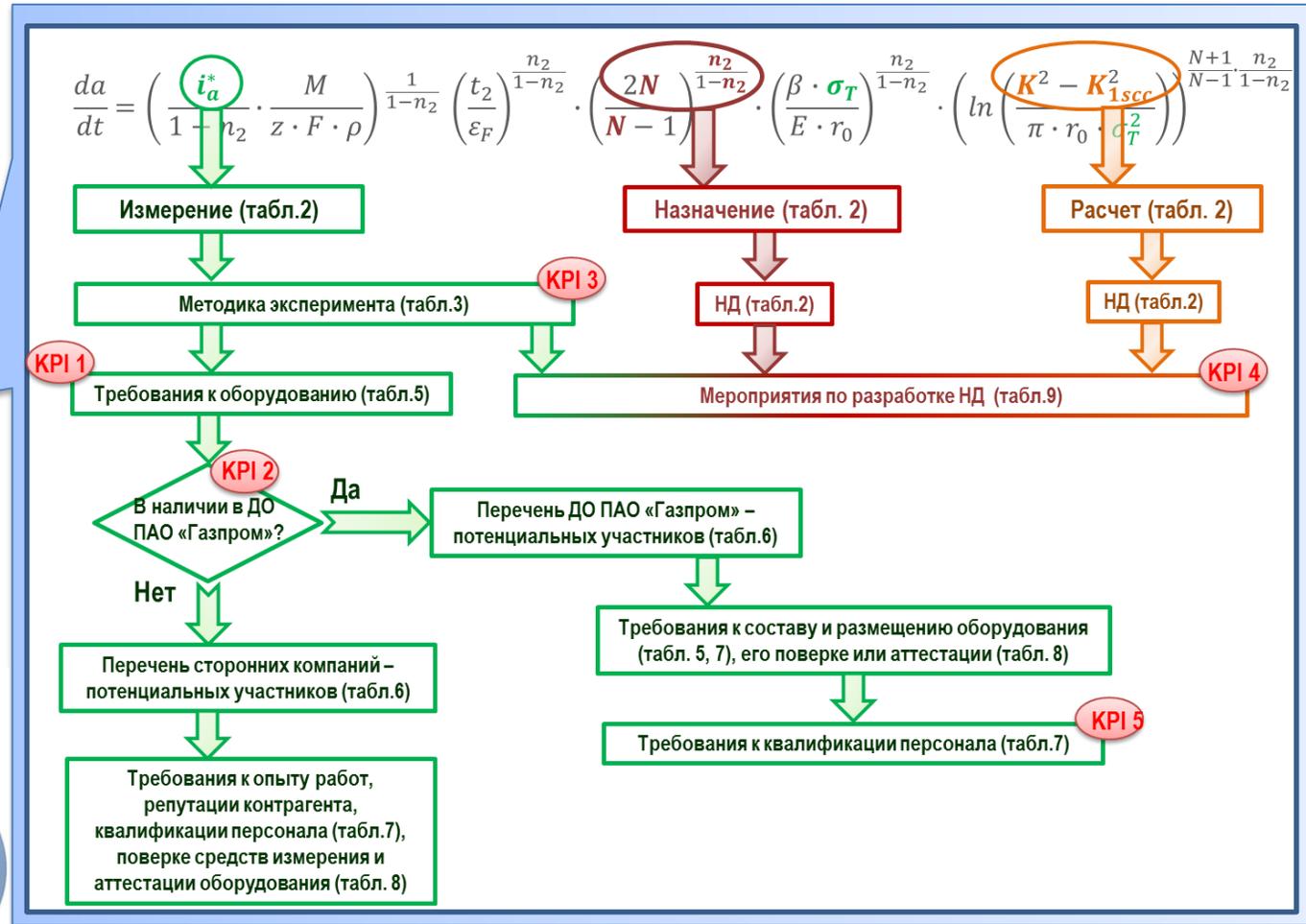
Модель «КРН», стадия 3

$$\frac{da}{dt} = \left( \frac{i_a^* \cdot M}{1 - n_2 \cdot z \cdot F \cdot \rho} \right)^{\frac{1}{1 - n_2}} \left( \frac{t_2}{\varepsilon_F} \right)^{\frac{n_2}{1 - n_2}} \cdot \left( \frac{2N}{N - 1} \right)^{\frac{n_2}{1 - n_2}} \cdot \left( \frac{\beta \cdot \sigma_T}{E \cdot r_0} \right)^{\frac{n_2}{1 - n_2}} \cdot \left( \ln \left( \frac{K^2 - K_{1sc}^2}{\pi \cdot r_0 \cdot \sigma_T^2} \right) \right)^{\frac{N+1}{N-1} \cdot \frac{n_2}{1 - n_2}}$$

Модель «КРН», стадия 4

$$\frac{da}{dt} = A_i \left[ \left( N_b \frac{K_{max}}{f_b^Y} \right)^{n_3} + \left( N_l \frac{K_{max}^\beta \Delta K_l^\alpha}{f_l^Y} \right)^{n_3} \right]$$

Общее количество параметров во всех моделях – **121 ед.**



# Оценка эффективности реализации программы

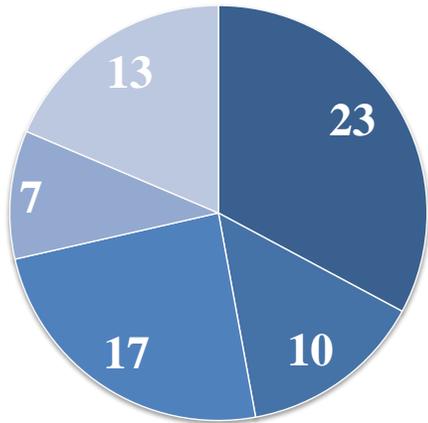
## Перечень ключевых показателей эффективности реализации Программы

Ключевой показатель			Текущее значение	Целевое значение	Значение показателя по годам реализации Программы		
ID	Наименование	Ед. изм.			2022 г.	2023 г.	2024 г.
KPI_1	Оснащенность оборудованием	ед.	38	61	47	55	61
KPI_2	Выполнение работ собственными силами	%	60	85	60	70	85
KPI_3	Инновационность	ед.	0	4	1	2	4
KPI_4	Нормативно-методическое обеспечение	ед.	0	5	1	4	5
KPI_5	Квалифицированный персонал	чел.	3	7	4	5	7

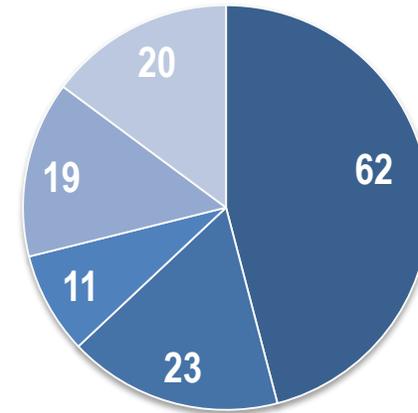
Таблица 1 – Кинетические уравнения стадий разрушения, описание параметров и способов их определения

Параметр	Краткое описание	Ед.изм.	Способ определения			Примечание
			Назначение	Измерение	Расчет	
<b>Модель «КРН», стадия 3</b> <b>Развитие индивидуальной трещины в колонии</b>						
$\frac{da}{dt} = \left( \frac{i_a^*}{1 - n_2} \cdot \frac{M}{z \cdot F \cdot \rho} \right)^{\frac{1}{1-n_2}} \left( \frac{t_2}{\varepsilon_F} \right)^{\frac{n_2}{1-n_2}} \cdot \left( \frac{2N}{N-1} \right)^{\frac{n_2}{1-n_2}} \cdot \left( \frac{\beta \cdot \sigma_T}{E \cdot r_0} \right)^{\frac{n_2}{1-n_2}} \cdot \left( \ln \left( \frac{K^2 - K_{1scc}^2}{\pi \cdot r_0 \cdot \sigma_T^2} \right) \right)^{\frac{N+1}{N-1} \cdot \frac{n_2}{1-n_2}} + H_{cr}(B_0, C_{кр.объем}, C_B, K_{max}, \Delta K, f_b)$						
$i_a^*$	Скорость растворения свежесформированной поверхности металла	А/м <sup>2</sup>	По таблице Б.4 Р Газпром 2-2.3-1190-2019 [1]	Будет определен в рамках этапа 2 НИР	-	Измеряется с учетом характеристик грунта
$n_2$	Показатель спада тока растворения металла в вершине трещины, зависящий от природы металла, состава электролита, температуры и электродного потенциала	-	0,3	-	Требует разработки (этап 2 НИР)	Назначение по таблице Б.3 Р Газпром 2-2.3-1190-2019 [1]
$M$	Атомная масса железа	г/моль	58,5	-	-	
$z$	Число электронов, участвующих в реакции окисления железа	шт.	2	-	-	
$F$	Постоянная Фарадея	Кл/моль	96460	-	-	
$\sigma_T$	Предел текучести стали	Па	Согласно ТУ на трубу	ГОСТ 1497	-	-
$K$	Коэффициент интенсивности напряжений при заданной статической нагрузке и глубине трещины	МПа·м <sup>0,5</sup>	-	-	ГОСТ 25.506	-
$K_{1scc}$	Пороговый коэффициент интенсивности напряжений для начала роста трещины в данной коррозионной среде	МПа·м <sup>0,5</sup>	11	Требует разработки (этап 2 НИР)	ГОСТ 25.506	-
$H_{cr}$	Компонента учитывающая влияние водорода на скорость роста трещины КРН	мм/год	Требует проработки	-	Требует проработки	-

# Методики измерения параметров



- Механические испытания
- Коррозионно-механические испытания
- Коррозионно-электрохимические испытания
- Металлографические и металлофизические исследования
- Неразрушающий контроль



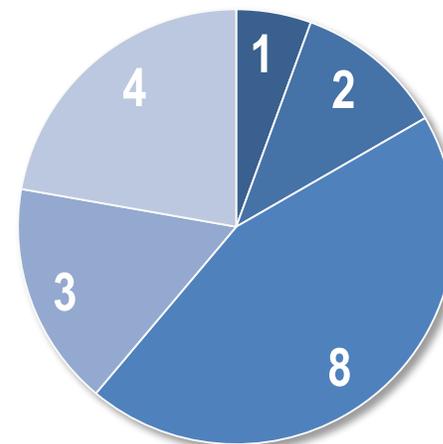
- ГОСТ
- ГОСТ Р
- СТО Газпром
- Иностранные стандарты
- Прочие документы

Таблица 2 - Методики измерения параметров кинетических уравнений многостадийной модели

Измеряемый параметр		Ед. изм.	Метод исследования	НД	Тип образцов	Количество образцов / измерений	Время измерений, условия	Перечень основного оборудования	Перечень вспомогательного оборудования
ID	Обозначение								
1.1	a		Коррозионно-электрохимические испытания; Металлографические исследования	Будет разработан в рамках этапа 2 НИР	Цилиндрические или прямоугольные	Не менее 2	До 30 суток	Потенциостат, микроскоп, фотокамера	Коррозионная ячейка, Электрод сравнения, противэлектрод, электролит
1.2	$t_0$	лет							
1.3	t	лет							
1.4	$K_0$	-							
1.5	$n_0$	-							
1.6	pH	-	Потенциометрические измерения	ГОСТ 26423, Р Газпром 2-2.3-761-2013 [5]	Грунт вдоль трассы МГ	Шаг 10 м	10 мин (без пробоподготовки)	Иономер, ИСЭ-pH	Емкость для отбора проб, химическая посуда
1.7	$C(S^{-2})$	Моль/л						Иономер, ИСЭ-S	
1.8	$C(CO_2^{-2})$	Моль/л						Иономер, ИСЭ-C	

В данном подразделе проанализировано 18 технологий ремонта, включая

- Контролируемую шлифовку,
- Переизоляцию (без и с применением ЗП-ИК),
- Монтаж различных муфт,
- Технологии ремонта сваркой, наплавкой и вырезной технологией,
- Новые развиваемые технологии



- Контролируемая шлифовка
- Переизоляция
- Монтаж муфт
- Сварка, наплавка и вырезка
- Новые технологии

Таблица 3 - Назначение ремонтов и критерии оценки эффективности

Технология ремонта		Описание	Область применения. Стадия КРН	НД	Требования к проведению ремонта	Требования к качеству ремонта	Критерий эффективности	Требуемое оборудование и материалы
ID	Обозначение							
R_1	Контролируемая шлифовка (КШ)	Вышлифовка поверхности металла с контролем глубины	Основной металл, ПСШ труб. Стадия 1-3	СТО Газпром 2-2.3-595-2010	Контроль дефектов методами НК	СТО Газпром 2-2.3-595-2010	Обеспечение работоспособности трубы. Оптимальные финансовые и трудовые затраты	Шлифмашинка, шлифкруги, Ультразвуковой толщиномер
R_2	Переизоляция	Переизоляция с КШ мелких трещин	Трубы МГ, Стадия 1-3	СТО Газпром 2-2.1-653-2012	Согласно СТО Газпром 2-2.1-653-2012	Соответствие нормам на изоляцию	Дефекты не развиваются в течении 30 лет. Обеспечение работоспособности трубы	Битум, мастика с ингибитором, пленка
R_3	Переизоляция с ингибирующими добавками	Переизоляция с ингибирующими добавками	Трубы МГ, Стадия 1-3	Порядок [6]	В соответствии с Порядком	Соответствие нормам на изоляцию		Битум, мастика с ингибитором, пленка

Испытания организуются согласно

- Концепция 20/80  
(испытания 20% типоразмеров труб должны обеспечить получение 80% информации о работоспособности труб в условиях риска проявления КРН)
- Программа испытаний труб на 2024-28 гг. (этап 7):
  - Сериальные испытания – площадка ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
  - Периодические гидравлические испытания труб – площадки ДО ПАО «Газпром»
  - Специальные исследования трубной стали – сторонние организации



## Общая текущая оснащённость и потребность в приобретении оборудования корпоративного экспериментального комплекса

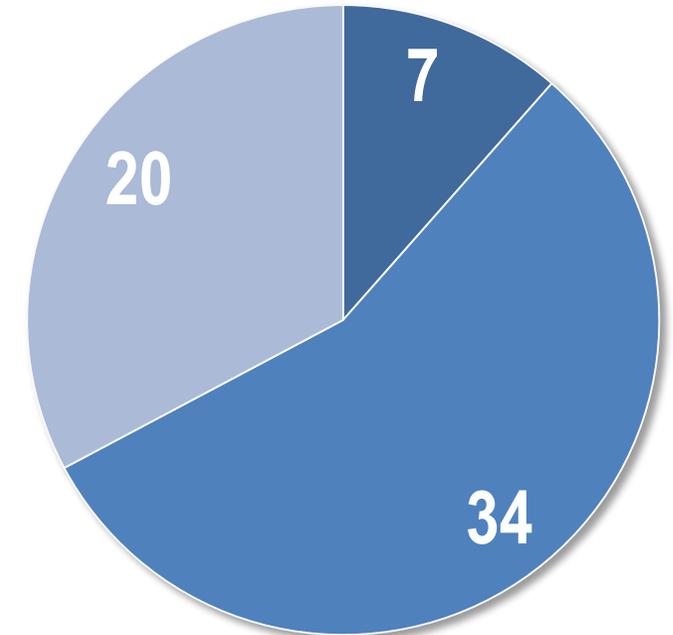


# Требования к составу корпоративного экспериментального комплекса

Таблица 4 - Требования к составу корпоративного экспериментального комплекса

ID	Наименование оборудования	Технические характеристики	Производитель	Цена, тыс. руб.	Место размещения	Статус	НД	Методика измерений
Коррозионно-электрохимические испытания								
IO_1	Стеклянная ячейка	Поддержание электрического потенциала в диапазоне от 0 до минус 3 вольт. Погрешность задания потенциала не более 1%	ООО НТФ «Вольта» (Россия)	285	ООО «Газпром ВНИИГАЗ»	В собственности	ГОСТ 5272, ГОСТ 12819, СТО Газпром 9.0-001	ГОСТ 9.908
SI_1	ВЛ-224В-С Весы	Макс. вес 220 г, мин. вес 0,01г, класс точности первый специальный, самокалибровка	Завод «Невские весы» (РФ)	110	ООО «Газпром ВНИИГАЗ»	В собственности	ГОСТ Р 53228	Согласно НППО.005.00 4РЭ
IO_3	Потенциостат IPC Pro MF	Максимальное выходное напряжение: ±30 В. Диапазон регулируемых потенциалов электрода: ±5 В.	ООО НТФ «Вольта» (Россия)	30	ООО «Газпром ВНИИГАЗ»	В собственности	МП 203-0095-2009, ГОСТ 22261	ГОСТ 26423, Р Газпром 2-2.3-761-2013

Распределение оборудования экспериментального комплекса по типам



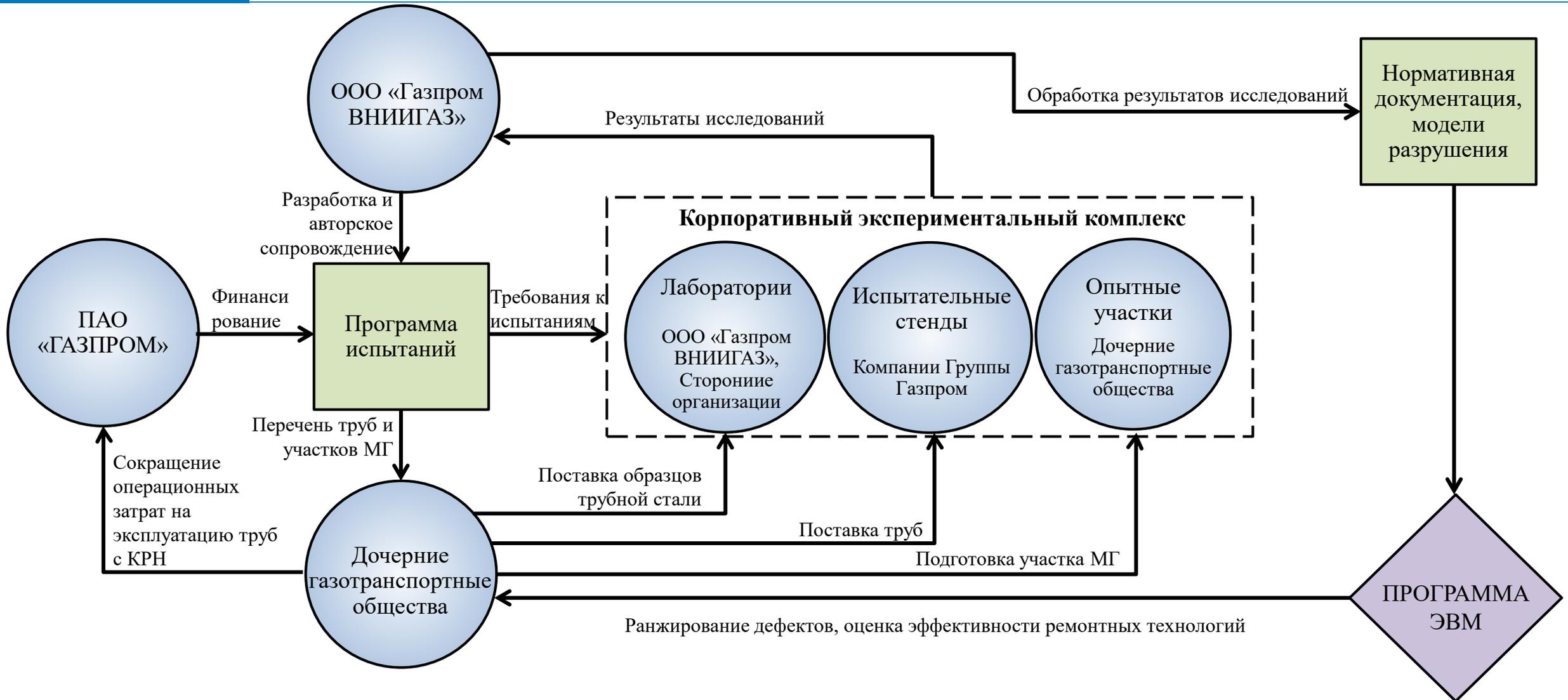
- Испытательное оборудование
- Средства измерений
- Вспомогательное оборудование

Таблица 6 - Требования к размещению компонентов экспериментального комплекса

ID организ	ID оборудования	Наименование	Требования к размещению	Требования к персоналу	Порядок финансирования работ по размещению
Org_1	IO_1	Стеклянная ячейка	Вытяжной шкаф, наличие слива для химически активных веществ после испытаний. Электропитание 220В.	К проведению работ допускаются лица, ознакомившиеся с настоящей методикой проведения измерений и РЭ на оборудование	Инвестиционная программа ООО «Газпром ВНИИГАЗ» (капитальный ремонт помещения)
Org_1	SI_1	ВЛ-224В-С Весы	электропитание от сети переменного тока 230+/-23В, 50+/-1 Гц	К проведению работ допускаются лица, ознакомившиеся с настоящей методикой проведения измерений и РЭ на оборудование	Не требуется (размещено в ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)
Org_1	IO_3	Потенциостат IPC Pro MF	Максимальное выходное напряжение: $\pm 30$ В. Электропитание 220 В, 50 Гц	К проведению работ допускаются лица, прошедшие специальное обучение и аттестованные в установленном порядке, ознакомившиеся с методикой проведения измерений и РЭ на оборудование	Не требуется (размещено в ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)



# Организационное обеспечение





# Гидравлические испытания



Сокращения методов исследований:  
 ВИК – визуальный и измерительный контроль  
 МПК – магнито-порошковый контроль  
 ВК – вихретоковый контроль  
 КрМ – кривизнометрия  
 РС, ИУ, ЭС – см. предыдущий слайд  
 МГр – металлография  
 ЭТМ – электротензометрия  
 ОВТМ – оптоволоконная тензометрия  
 АЭ – акустическая эмиссия  
 КЯ – коррозионные ячейки

# Опытные участки МГ

Программа комплексных испытаний  
(Выбор участков)  
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»  
Данные ВТД и исполнительной документации

Подготовка участков  
(земляные работы, снятие изоляции)  
Дочерние ГТ общества

Обследование участков  
(ЭМА, ВИК, МПК, УЗК, РК)  
Дочерние ГТ общества, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», возможно привлечение сторонних организаций

Применение ремонтных технологий  
(Шлифовка, переизоляция, муфты и т.д.)  
Дочерние ГТ общества, возможно привлечение сторонних организаций

Монтаж измерительных систем (ЭТМ, ОБТМ, АЭ)  
Дочерние ГТ общества, ООО «Газпром ВНИИГАЗ» возможно привлечение сторонних организаций

Длительная опытная эксплуатация и мониторинг  
(ЭТМ, ОБТМ, АЭ)  
Дочерние ГТ общества, возможно привлечение сторонних организаций

Обследование участков после опытной эксплуатации  
(ЭТМ, ОБТМ, АЭ)  
Дочерние ГТ общества, возможно привлечение сторонних организаций

Вырезка и поставка труб на гидравлические  
стенды  
Дочерние ГТ общества

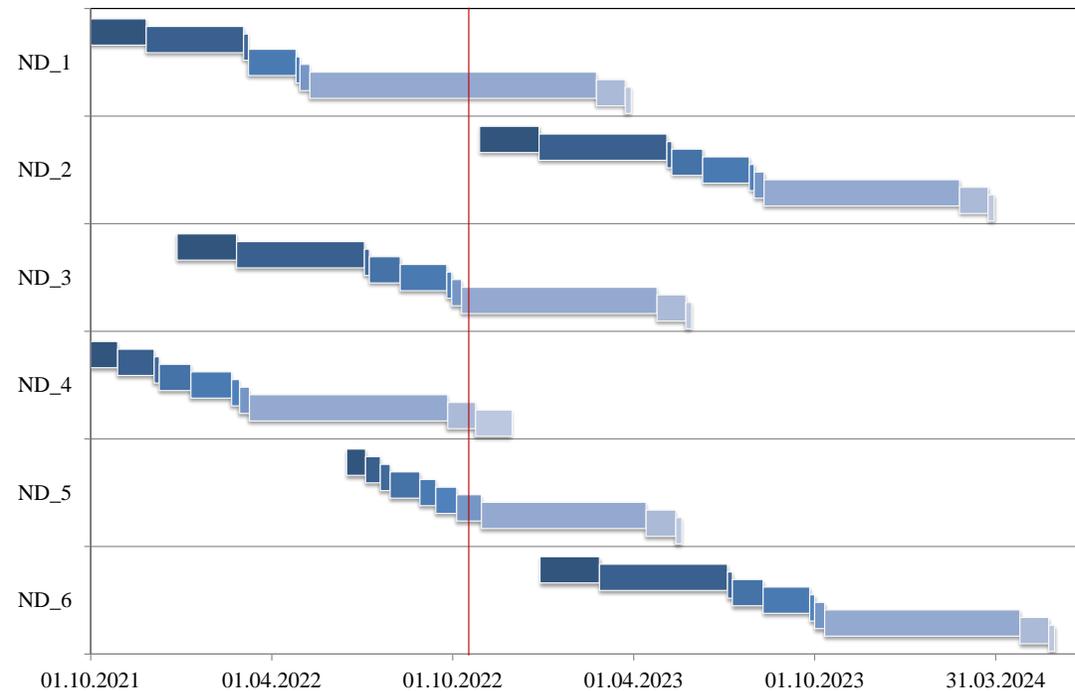
Вырезка и поставка темплетов в  
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»  
Дочерние ГТ общества

Вырезка и поставка темплетов в  
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»  
Дочерние ГТ общества

Анализ результатов испытаний  
Дочерние ГТ общества

# Разработка нормативной и методической документации

- СТО Газпром «Методы лабораторных испытаний металла труб МГ на КРН» (ND\_1);
- Р Газпром «Методика испытания кольцеобразных образцов труб МГ на КРН» (ND\_2);
- Р Газпром «Методика гидравлических испытаний труб МГ с дефектами КРН» (ND\_3);
- Р Газпром «Типовая программа опытной эксплуатации труб с дефектами КРН и технологий их ремонта в составе МГ» (ND\_4);
- Р Газпром «Методика ранжирования дефектов КРН МГ по степени опасности, оценки ресурса труб и порядок назначения способа ремонта» (ND\_5);
- Программа комплексных испытаний труб с дефектами КРН, эксплуатируемых на объектах ПАО «Газпром», на 2024-28 гг (ND\_6).



- МН 1
- МН 2.1
- МН 2.2
- МН 2.3
- МН 2.4
- МН 2.5
- МН 2.6
- МН 3
- МН 4
- МН 5

ID	Мероприятие
МН 1	Направление проекта ТЗ на разработку НД в Департамент ПАО «Газпром» (О.Е. Аксютин)
МН 2	Направление отчетных материалов (ОМ):
МН 2.1	1-ая редакция НД в ОНТЭ ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
МН 2.2	1-ая редакция в Департамент ПАО «Газпром» (О.Е. Аксютин)
МН 2.3	1-ая редакция НД на отзывы в ДО
МН 2.4	ОР НД и комплект ОМ в ОНТЭ ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
МН 2.5	ОР НД в лабораторию стандартизации ООО «Газпром ВНИИГАЗ»
МН 2.6	ОР НД и комплект ОМ Департамент ПАО «Газпром» (О.Е. Аксютин)
МН 3	Передача ОМ в ОНТЭ ООО «Газпром ВНИИГАЗ» для направления в Управление ПАО «Газпром» (Н.Б. Нестеров)
МН 4	Подписание акта сдачи-приемки научно-технической продукции
МН 5	Передача научно-технической продукции в библиотеку ООО «Газпром ВНИИГАЗ» на хранение

1. Заместителем Председателя Правления ПАО «Газпром» – начальником Департамента 623 О.Е. Аксютиным 07.12.2022 утверждена «Программа создания корпоративного экспериментального комплекса для оценки работоспособности труб магистральных газопроводов с дефектами коррозионного растрескивания под напряжением и эффективности ремонтных технологий».
2. Программа определяет порядок организационного взаимодействия между ПАО «Газпром», ООО «Газпром ВНИИГАЗ», дочерними газотранспортными компаниями и сторонними исследовательскими центрами РФ, а также потребности в инструментальном и нормативно-методическом обеспечении функционирования Корпоративного экспериментального комплекса.
3. Функционирование Корпоративного экспериментального комплекса позволит снизить операционные затраты ПАО «Газпром» на эксплуатацию МГ, подверженных КРН за счет экспериментальной количественной оценки работоспособности и ресурса труб с дефектами КРН и применения эффективных ремонтных технологий.

## Предложения в Протокол

1. Обеспечить закупку исследовательского оборудованием в соответствии с «Программой..», утв. Заместителем Председателя Правления ПАО «Газпром» – начальником Департамента О.Е. Аксютиным в 2022 г. – 5 ед., 2023 – 8 ед., 2024 г. – 10 ед.
2. ООО «Газпром ВНИИГАЗ» сформировать перечень наиболее распространенных типоразмеров труб, подверженных КРН, а также технологий из ремонта для последующего испытания на Корпоративном экспериментальном комплексе.
3. Дочерним газотранспортным обществам сформировать и направить в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» предложения по проведению на собственных площадках ресурсных гидравлических испытаний различных типоразмеров труб согласно п.2.
4. Дочерним газотранспортным обществам ПАО «Газпром» направить в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» кольца труб диаметром от 530 до 1420 мм и шириной не менее 500 мм с дефектами КРН и без них согласно п.2 для обеспечения испытаний на создаваемом Стенде для испытаний кольцеобразных образцов труб.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

Кашковский Роман Владимирович

[R\\_Kashkovskiy@vniigaz.gazprom.ru](mailto:R_Kashkovskiy@vniigaz.gazprom.ru)

гор. тел. 8 (498) 657-96-68

газ. тел. (700) 5-63-53

