

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ЗА СЧЕТ СНИЖЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ АКТИВНОСТИ ПЕРЕКАЧИВАЕМЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Ф.Р. Хайдаров

(ОАО «Северо-западные магистральные нефтепроводы»)

Современное состояние нефтяной и газовой промышленности характеризуется длительным сроком эксплуатации и изменением загрузки ряда магистральных и промысловых трубопроводов. Широкий охват магистральных трубопроводов диагностикой, применение электрохимической защиты от коррозии, а также невысокая коррозионная активность транспортируемых углеводородных продуктов позволяют эксплуатировать их 20 и более лет. На промысловых трубопроводах, которые имеют разветвленные сети нефтепроводов системы сбора и водоводы системы поддержания пластового давления (ППД), процедура обнаружения зарождающихся повреждений с использованием магнитных, ультразвуковых, профильных и других дефектоскопических приборов и проведение планово-предупредительного ремонта не оправдывает себя. В результате аварий на промысловых трубопроводах, происходящих в основном по причине высокой коррозионной активности перекачиваемых жидкостей, снижается объем добычи из-за простоев, тратятся огромные средства на ликвидацию, наносится невосполнимый экологический ущерб.

Одним из наиболее распространенных методов предупреждения коррозии внутренней поверхности трубопроводов является использование химических реагентов – ингибиторов коррозии. Для предупреждения коррозии наружной поверхности трубопроводов применяют различные изоляционные покрытия. Все возрастающие требования к надежности и безопасности систем трубопроводного транспорта и фактическое техническое состояние нефтегазопроводов обуславливают, наряду с применением традиционных методов, необходимость создания и развития новых направлений поддержания работоспособности трубопроводов. В связи с этим актуальным представляется применение физического или физико-химического методов воздействия, в частности, магнитного поля и химических реагентов, которые позволяют снижать коррозионную активность и изменять реологические свойства перекачиваемых по промысловым трубопроводам жидкостей.

Магнитная обработка может осуществляться как высокочастотными, так и низкочастотными магнитными полями. Причем наибольший интерес представляют именно низкочастотное поле (до 50 Гц), так как его можно создать постоянными магнитами. При создании переменного магнитного поля частотой более 50 Гц возникают сложности, такие магнитные поля требуют высокой скорости потока либо снижения напряженности магнитного поля из-за необходимости применения магнитов малого размера. Если отдельно взятый объем жидкости перемещать вдоль расположенных определенным образом постоянных магнитов, то поток жидкости будет находиться под воздействием магнитного поля, параметры которого зависят от режима течения, параметров магнитов, их формы и располо-

жения в пространстве. При этом можно создать условия, когда поток будет обрабатываться постоянным или переменным магнитным полем с заданными параметрами. Частота магнитного поля рассчитывается по формуле:

$$f \leq \frac{Q}{1800 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot S}, \quad (1)$$

где Q – расход перекачиваемого продукта, м³/час;

d – внутренний диаметр трубопровода, м;

S – минимальное расстояние между центрами магнитов $S = 4d_m$, м;

d_m – диаметр магнита, м.

Использование установок для магнитной обработки переменным магнитным полем на основе постоянных магнитов позволяет моделировать большинство типов магнитной обработки потока продукта и решать такие проблемы трубопроводного транспорта, как снижение коррозионной активности перекачиваемых жидкостей, предотвращение отложения солей и парафинов, разрушение водонефтяных эмульсий. Стоимость установок на постоянных магнитах в 5 и более раз ниже аналогичных на основе электромагнитов, кроме того, они практически не требуют технического обслуживания.

Автором предложен концептуальный подход для конструирования магнитных установок на постоянных магнитах: 1 – использование экспериментального стенда и 2 – специальная программа расчета на ПЭВМ, которые позволили моделировать параметры магнитного поля последовательно расположенными единичными постоянными магнитами. С использованием экспериментального стенда производится подбор оптимальных параметров магнитного поля (напряженность, амплитудно-частотная характеристика), при которых происходит максимальное снижение коррозионной активности или изменение реологических свойств жидкостей, перекачиваемых по промышленным трубопроводам. На основании данных параметров с использованием специальной программы на ПЭВМ производится расчет и конструирование установок на постоянных магнитах. При расчете учитываются параметры используемого трубопровода, скорость движения жидкости, давление и температура в трубопроводе. В разрабатываемых установках на каждое поперечное сечение движущегося по трубопроводу потока жидкости происходит воздействие магнитного поля от последовательно расположенных постоянных магнитов в точности повторяющее характеристики, полученные на лабораторной установке и оптимальные для обрабатываемой жидкости. Для расчета использованы следующие данные: геометрические параметры трубопровода и внутреннего магнитопровода, скорость потока жидкости. Скорость V потока жидкости, расстояние λ между центрами последовательных постоянных магнитов и частота f (в системе отсчета, связанной с движущейся жидкостью) получаемого магнитного поля связаны соотношением:

$$V = \lambda \cdot f. \quad (2)$$

Жидкость протекает в кольцевом зазоре между двумя концентрически расположенными трубами из ферромагнитного материала, на которых закреплены постоянные магниты. Полученные результаты справедливы для точек, расположенных на линии посередине между магнитами, параллельной оси трубы.

Варианты расположения магнитов представлены на рисунке 1. Для получе-

ния постоянного магнитного поля необходимо ориентировать все постоянные магниты полюсами в соответствии с рисунком 1-а, для переменного магнитного поля магниты устанавливаются в соответствии с рисунком 1-б.

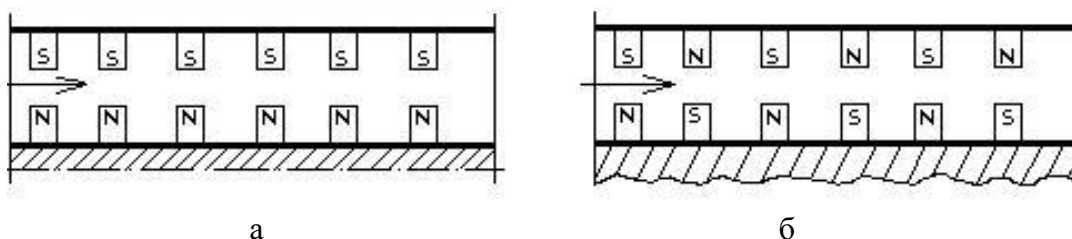


Рисунок 1 - Варианты расположения магнитов:

а – знакопостоянное положение;

б – знакопеременное положение

Задача расчета напряженности магнитного поля в установке для магнитной обработки разбивается на две части: 1) расчет поля системы постоянных магнитов; 2) расчет распределения намагниченности металла труб и магнитопровода и вычисление поля, создаваемого металлом.

Величина поля, создаваемого постоянными магнитами, зависит не только от намагниченности магнита, но и от его формы. Проекцию (на исследуемую плоскость) напряженности H магнитного поля, создаваемого системой постоянных магнитов, можно найти, направив ось z декартовой системы координат вдоль этой плоскости и затем вычислив интеграл по объему ферромагнетика по следующей формуле:

$$H_z = \int_V \frac{3z(I_x(r_x - x) + I_y(r_y - y) + I_z(r_z - z)) - I_z((r_x - x)^2 + (r_y - y)^2 + (r_z - z)^2)}{4\pi \cdot \left(\sqrt{(r_x - x)^2 + (r_y - y)^2 + (r_z - z)^2} \right)^5} dV \quad (3)$$

где I_x, I_y, I_z - компоненты вектора \vec{I} намагниченности, x, y, z - координаты элемента объема dV ферромагнетика, r_x, r_y, r_z - координаты точки, в которой производится измерение магнитного поля.

Данный интеграл вычисляется аналитически только для однородно намагниченных эллипсоидов и их предельных случаев (бесконечный стержень, бесконечная плоскость). Для вычисления магнитного поля тел любой другой формы нужно использовать численное интегрирование. В данном случае распределение напряженности магнитного поля вокруг системы постоянных магнитов было рассчитано методом Монте-Карло [1].

В соответствии с программой выполнены расчеты аппаратов магнитной обработки для ранее исследуемых продуктов, перекачиваемых по промышленным трубопроводам Сибири.

В работе использованы высокоэнергетические магниты из сплава неодим-железо-бор (Nd-Fe-B). Эти магниты обладают уникальными свойствами, они имеют относительную магнитную проницаемость, равную единице не только в

первом и во втором, но и частично в третьем квадрантах петли магнитного гистерезиса. Гистерезисные свойства, выгодно отличающие высокоэнергетические магниты, являются следствием основных физических характеристик – высокого магнитного момента атомов в кристаллической решетке и чрезвычайно больших значений энергии константы кристаллографической анизотропии. Последнее свойство определяет повышенную устойчивость высокоэнергетических магнитов к размагничивающему воздействию внешних магнитных полей. В магнитном гистерезисе высокоэнергетических магнитов наблюдается практически полное совпадение линий возврата на характеристике $B(H)$ с предельной кривой размагничивания в полях, даже превышающих значение коэрцитивной силы по индукции. Основные характеристики редкоземельных магнитов типа $Nd_2Fe_{14}B$ следующие:

Остаточная индукция B_r , мТл	- 1130-1250
Коэрцитивная сила H_{c2} , кА/м	- 720-840
Коэрцитивная сила H_{c1} , кА/м	- 840-1200
Энергетическое произведение $(BH)_{max}$, кДж/м ³	- 224-280.

Физико-механические характеристики редкоземельных магнитов типа $Nd_2Fe_{14}B$:

1. Эксплуатационные характеристики:

- максимальная температура эксплуатации, °С	- 100-150
- температурные коэффициенты: индукции B_r , %/°С	- 0,1-0,12
коэрцитивной силы H_{c2} , %/°С	- 0,6

2. Физические характеристики:

- температура Кюри, °С	- 310
- коэффициент теплового расширения (КТР)*, $10^{-6}/°C$	- 5/-1
- электросопротивление, Ом/(мм ² ·м)	- 1,4-1,6
- плотность, г/см ³	- 7,4-7,5

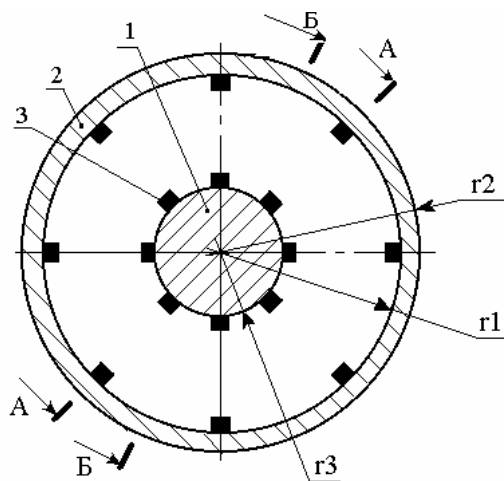
3. Механические характеристики:

- прочность:	
изгиб, МПа	- 270
сжатие, МПа	- 1000-1100
- твердость по Виккерсу	- 570

* - числитель – КТР вдоль текстуры, знаменатель – поперек структуры (в интервале температур 20-150 °С).

На Южно-Ягунском месторождении ТПП «Когалымнефтегаз» на трубопроводе БКНС-5, перекачивающем пластовую воду горизонта «Сеноман», планировалось применение магнитной обработки для снижения коррозионной активности воды. Рабочие параметры низконапорного водовода: наружный диаметр трубы 219x16 мм, длина 200 м, объем перекачиваемой воды 200 м³/час. Лабораторными исследованиями установлено, что для эффективного снижения коррозионной активности воды «Сеноман» необходимо постоянное магнитное поле напряженностью 24-28 кА/м.

Магнитная установка представляет собой трубу требуемого диаметра, на внутренней стенке которой располагаются постоянные магниты. Внутри основной трубы располагается магнитный сердечник, представляющий собой трубу с наружным диаметром 50 мм, с внешней стороны, которой располагаются магниты (рисунок 2).



Количество и расположение постоянных магнитов, напряженность магнитного поля в зазоре рассчитываются с помощью программы. Результаты расчета

Рисунок 2 – Вид магнитной установки (диаметр 219 мм) для обработки воды «Сеноман» БКНС-5: 1 – магнитопровод;

2 – внешняя труба; 3 – постоянные магниты

представлены на рисунке 3.

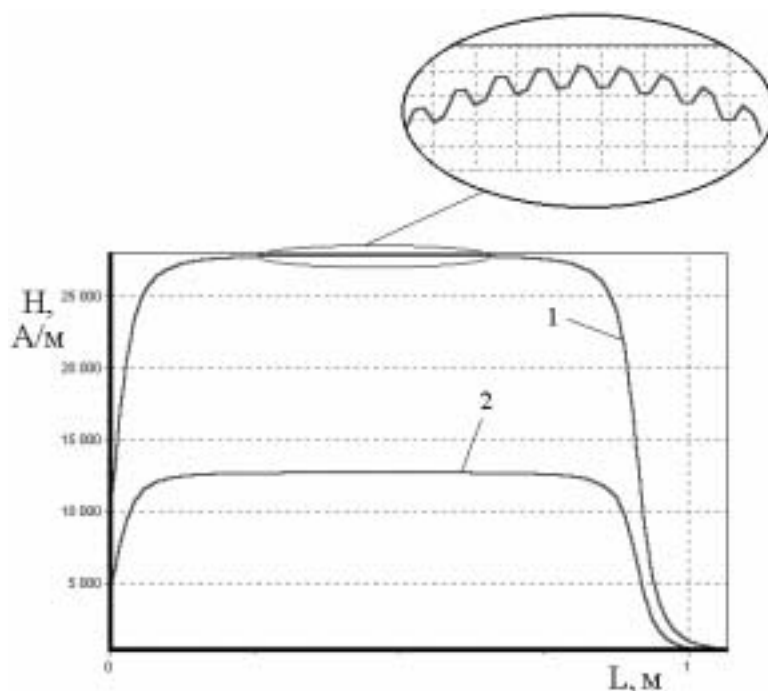


Рисунок 3 – Величина и форма изменения напряженности магнитного поля для установки диаметром 219 мм: 1 – в разрезе А-А; 2 – в разрезе Б-Б

Выполнив расчет, получили размеры и параметры магнитной установки: длина – 0,9 м; магниты располагаются по длине установки одинаковыми полюсами; на магнитопроводе магниты направлены противоположными полюсами (рисунок 1-а). Таким образом, линии магнитного поля направлены перпендикулярно обрабатываемому потоку. Напряженность магнитного поля в центре зазора 27 кА/м.

Аналогичные расчеты выполнены для магнитной установки (рисунок 4) для обработки подтоварной воды, перекачиваемой по низконапорному водоводу БКНС-3 Южно-Ягунского месторождения ТПП «Когалымнефтегаз». Трубопровод имеет наружный диаметр 325х6 мм, длину 1600 м, объем перекачиваемой воды

240-300 м³/час. В этом случае для достижения требуемой напряженности и частоты магнитного поля постоянные магниты располагаются вдоль трубы так, как показано на рисунке 1- б.

Результаты расчета представлены на рисунке 5.

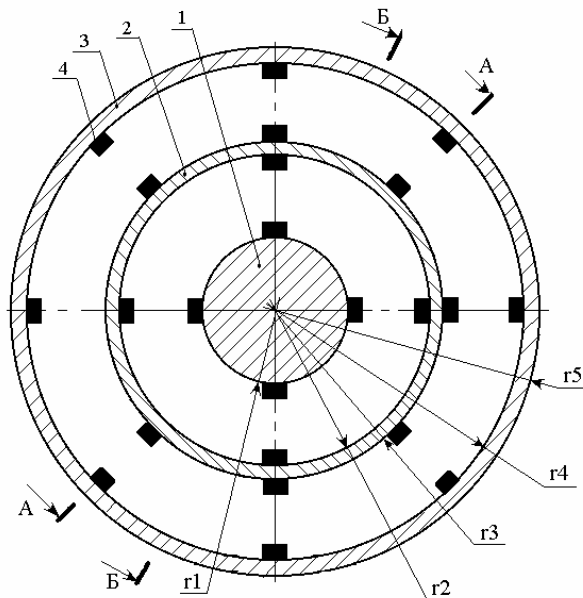


Рисунок 4 – Вид магнитной установки (диаметр 325 мм) для обработки подтоварной воды БКНС-3:

1 – магнитопровод; 2 - внутренняя труба; 3 – внешняя труба; 4 – постоянные магниты

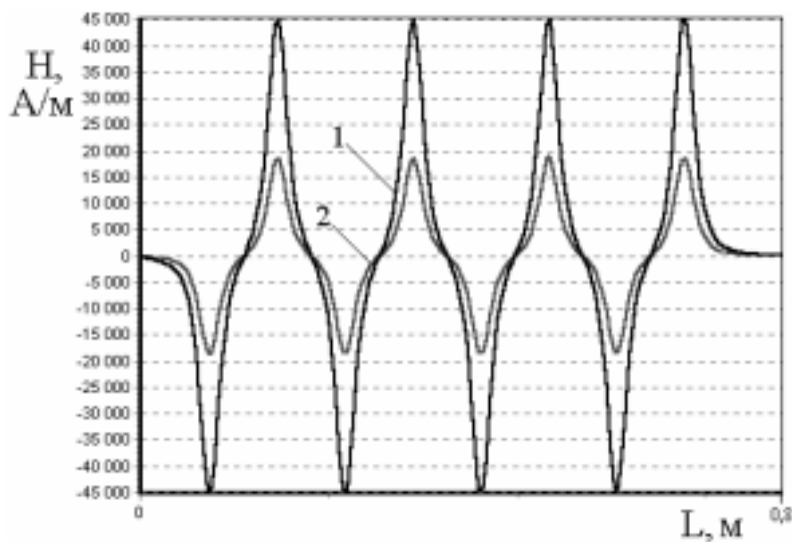


Рисунок 5 - Величина и форма изменения напряженности магнитного поля для установки диаметром 325 мм: 1 – в разрезе А-А; 2 – в разрезе Б-Б

Длина установки 0,75 м. Напряженность магнитного поля в центре зазора 45 кА/м.

По результатам выполненного расчета сконструированы установки УМЖ (ТУ 39-80400-005-99) для магнитной обработки перекачиваемой по промышленным трубопроводам воды и установлены на водоводах Южно-Ягунского месторождения ТПП «Когалымнефтегаз».

С начала 2001 года в ТПП «Когалымнефтегаз» в НГДУ «Когалымнефть»

проводились промысловые испытания разработанных установок для магнитной обработки жидкости, перекачиваемой по трубопроводам системы ППД.

Установки УМЖ (ТУ 39-80400-005-39) для магнитной обработки жидкости были смонтированы на следующих низконапорных водоводах ППД Южно-Ягунского месторождения:

- трубопровод, транспортирующий подтоварную воду с УПСВ БКНС-1, длиной 250 м, диаметром 273x18 мм, объем перекачиваемой воды 500 м³/час, скорость течения 3,2 м/с;
- трубопровод, транспортирующий подтоварную воду с ЦПС БКНС-3 (схема БКНС-3 на рисунке 6), длиной 1600 м, диаметром 325x6 мм, объем перекачиваемой воды 240-300 м³/час, скорость 0,87-1,1 м/с, режим течения турбулентный ($Re=2723-3444$), ингибитор ХПК-ЮЯ (50 г/т);

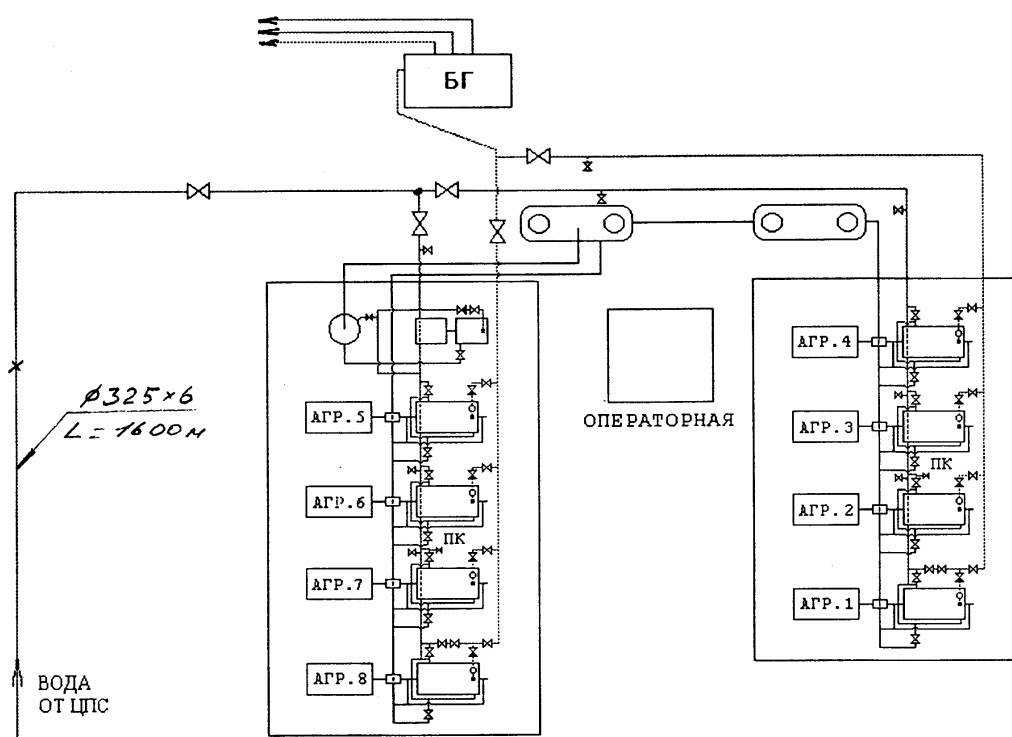


Рисунок 6 – Схема БКНС-3 Южно-Ягунского месторождения

- трубопровод, перекачивающий пластовую воду горизонта «Сеноман» БКНС-4, длиной 350 м, диаметром 219x16 мм, объем перекачиваемой воды 104-125 м³/час, скорость 1,04-1,25 м/с, режим течения турбулентный ($Re=2140-2580$);
- трубопровод, перекачивающий пластовую воду горизонта «Сеноман» БКНС-5 (схема БКНС-5 на рисунке 7), длиной 200 м, диаметр 219x16 мм, объем перекачиваемой пластовой воды 200 м³/час, скорость 2 м/с, режим течения турбулентный ($Re=3784$).

Для оценки влияния магнитного поля на коррозионную активность попутно-добываемых и закачиваемых вод для поддержания пластового давления проводи-

лись работы по определению скорости коррозии на указанных участках низконапорных водоводов. Определение скорости коррозии проводили гравиметрическим методом в соответствии с ГОСТ 9.506-87. Образцы-свидетели для определения скорости коррозии и степени защитного действия были установлены в трубопроводы последовательно: до магнитной установки и после магнитной установки. Результаты представлены в таблице 1.

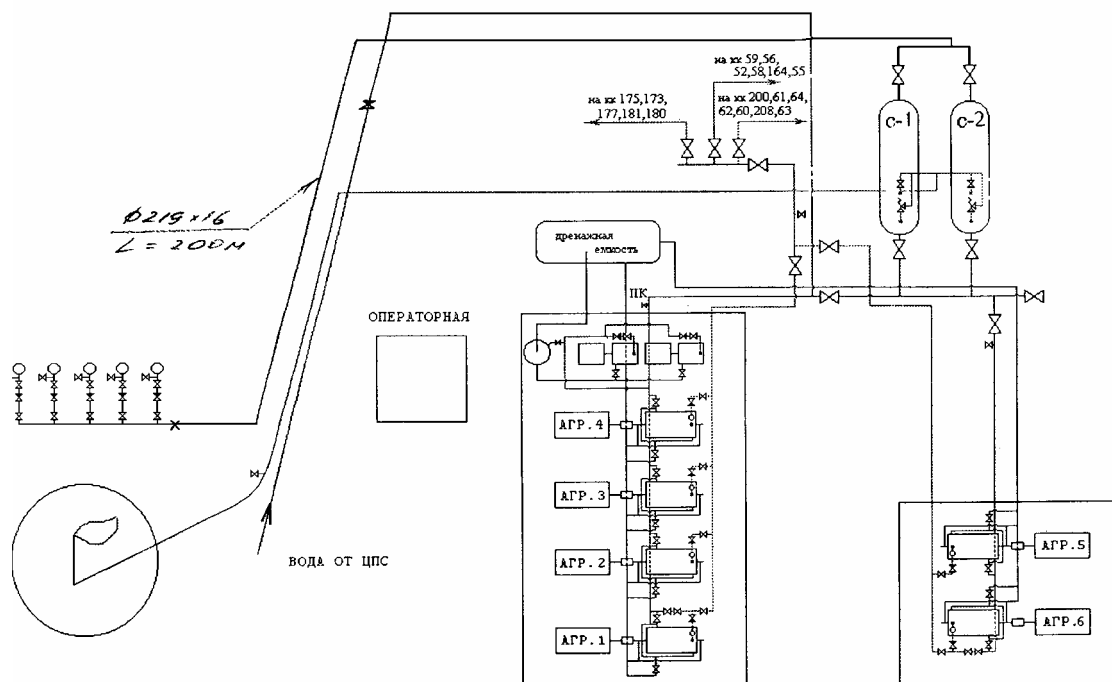


Рисунок 7 – Схема БКНС-5 Южно-Ягунского месторождения

Таблица 1 – Результаты гравиметрических испытаний

Участок низконапорного водовода	Диаметр, толщина стенки водовода, мм	Скорость коррозии исходная до магнитной обработки, мм/год	Скорость коррозии после магнитной обработки, мм/год	Степень защиты, %
Месторождение Южно-Ягунское ЦПС-УПСВ-БКНС-1	$\varnothing 273 \times 18$	2,0525	0,5649	76,0
Месторождение Южно-Ягунское ЦПС-БКНС-3	$\varnothing 325 \times 6$	2,1744	0,9626	68,0
Месторождение Южно-Ягунское Водозабор-БКНС-4	$\varnothing 219 \times 16$	2,5282	0,9425	75,7
Месторождение Южно-Ягунское Водозабор-БКНС-5	$\varnothing 219 \times 16$	2,8260	0,6622	85,7

Результаты промышленных испытаний показали, что применение физического воздействия магнитного поля значительно снижает коррозионную активность перекачиваемых по промышленным трубопроводам жидкостей. Так, в результате магнитной обработки подтоварной воды БКНС-1 и БКНС-3 скорость коррозии внутренней поверхности снизилась на 60-70 %, а пластовой воды горизонта «Сеноман» – на 70-80 %. Причем при совместном использовании физического метода воздействия и химических реагентов, а именно магнитной обработки подтоварной воды БКНС-3 и ингибитора коррозии ХПК-ЮЯ (50 г/т), коррозионная активность перекачиваемой жидкости уменьшилась на 20 % (скорость коррозии в присутствии ингибитора без воздействия магнитного поля в среднем 50 %, а при наложении магнитного поля – 70 %). Общий экономический эффект составил 1,5 млн. руб.

Литература:

1. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло. - М.: Наука, 1973.