

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

Тема  
**выпускной квалификационной работы:**

**«Автоматизация процесса  
сепарации попутного нефтяного  
газа»**

**Работу выполнил: студент группы 7-548 Лисицин Антон Александрович,  
Руководитель: к.т.н., доцент Ковалев Дмитрий Александрович**

# АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

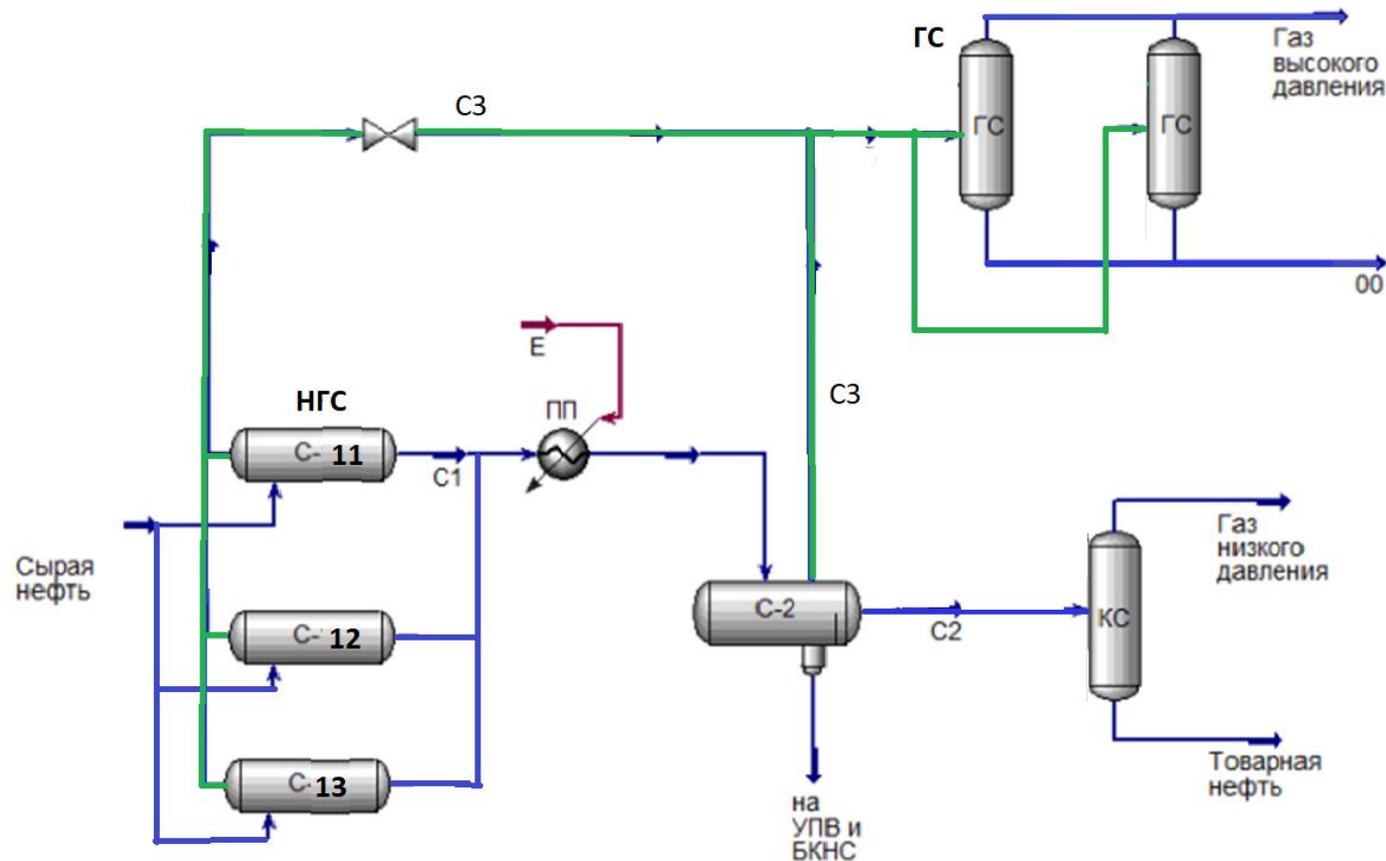
Актуальность темы выпускной квалификационной работы обусловлена введением федерального закона № 216–ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» от 2009 г. , который стимулирует рост программы энергосбережения российской газонефтепромышленности.

Переработка попутного нефтяного газа (ПНГ) для производства газонефтехимической продукции является наиболее рациональным способом его использования и для транспорта газа необходима его обработка в сепараторах.

В настоящее время системы автоматики нефтегазовых сепараторов не обеспечивают необходимой производительности по газу, и газовыделение осуществляется недостаточно эффективно.

Поэтому тема данной выпускной квалификационной работы актуальна и посвящена разработке автоматизированной системы управления (АСУ) сепарацией попутного газа с разработкой САУ температурой в газосепараторе с целью стабилизации показателей качества газа, поступающего к потребителям, ресурсосбережения и повышения надежности и экономичности системы.

# Технологическая схема процесса сепарации попутного нефтяного газа



Технологическая схема сепарации ПНГ на установке подготовки нефти, где:

С-11, С-12, С-13 – нефтегазосепараторы 1й ступени типа НГС;

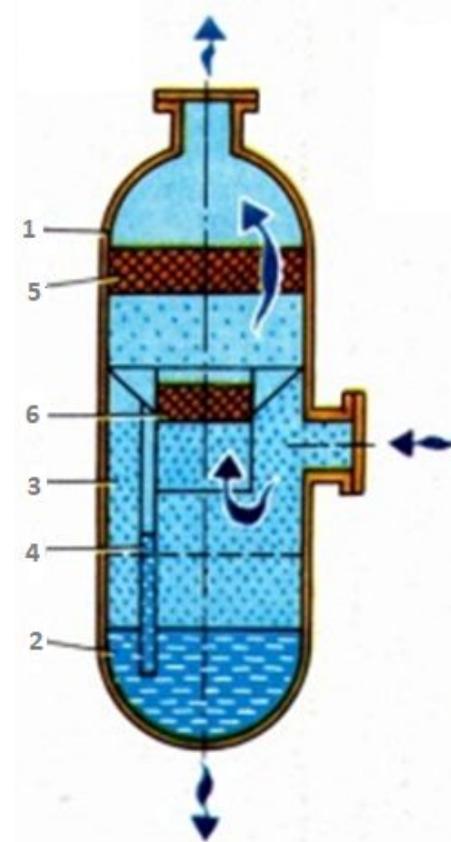
С-2 – нефтегазосепаратор 2й ступени типа НГС;

ГС – нефтегазосепараторы типа ГС;

потоки С1 - газоводонефтяная смесь, С2, С3 – попутный нефтяной газ

# Технические характеристики газосепаратора

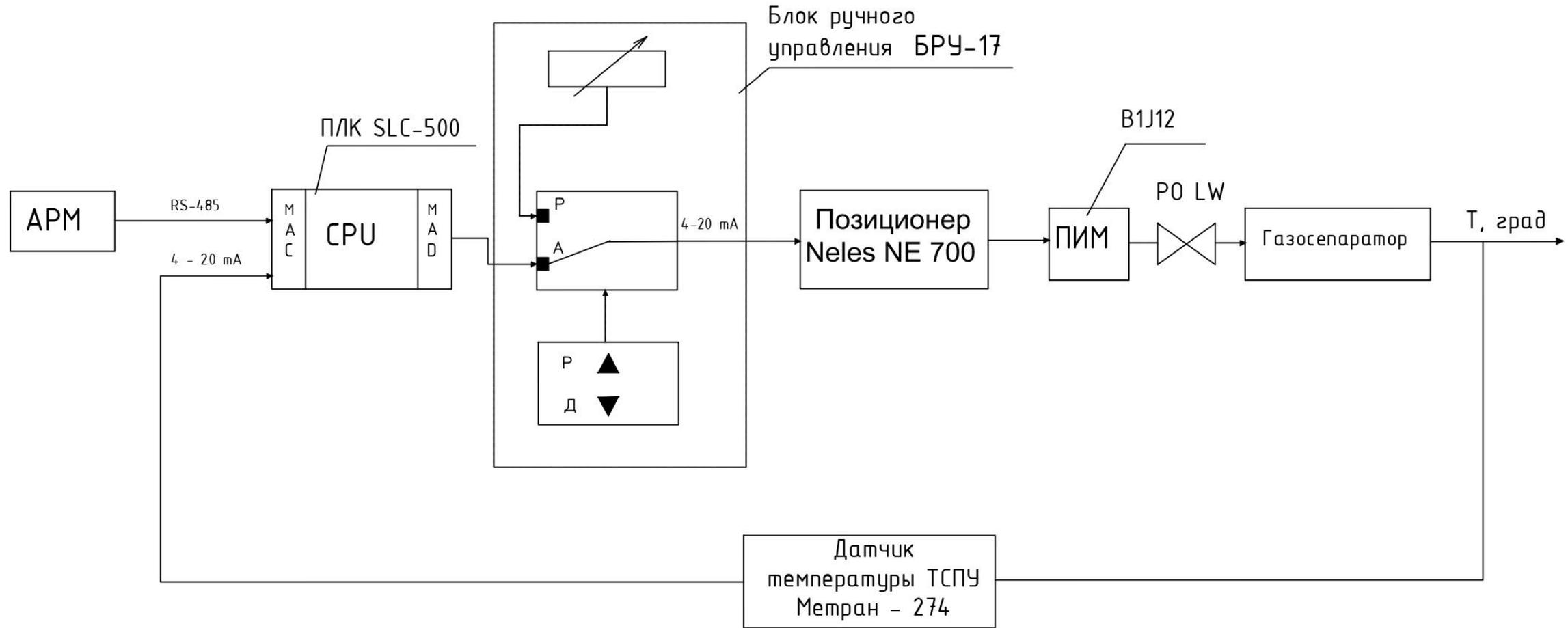
Параметры	Ед. измерения	Диапазон регулирования	Точность
Давление в ГС	МПа	0,5 ÷ 0,6	0,1%
Давление газа на выходе из ГС	МПа	0,55	0,1%
Уровень жидкости	м	0,1 ÷ 0,5	0,1%
Расход ПНГ	т/ч	2400÷2500	0,5 %
Расход газа	т/ч	2258 ± 10	0,5 %
Расход жидкой фазы	т/ч	1874 ± 5	0,5 %
Температура газа на выходе из ГС	°С	35 ÷ 40	0,5 %
Состав и влажность газа на выходе из ГС	%	0,1 ÷ 3	0,05 %



1 – корпус; 2 – сборник жидкости;  
 3 – секция предварительной гравитационной сепарации; 4 – сливная труба с гидрозатвором секции тонкой сепарации; 5 – сетчатая насадка; 6 – сетчатый коагулятор



# Техническая структура АСУ температуры сепарации газа в газосепараторе



# Технические средства АСУ температуры сепарации газа в газосепараторе



Электропневматический позиционер Neles NE700



Клапан серии LW с ПИМ В1J12

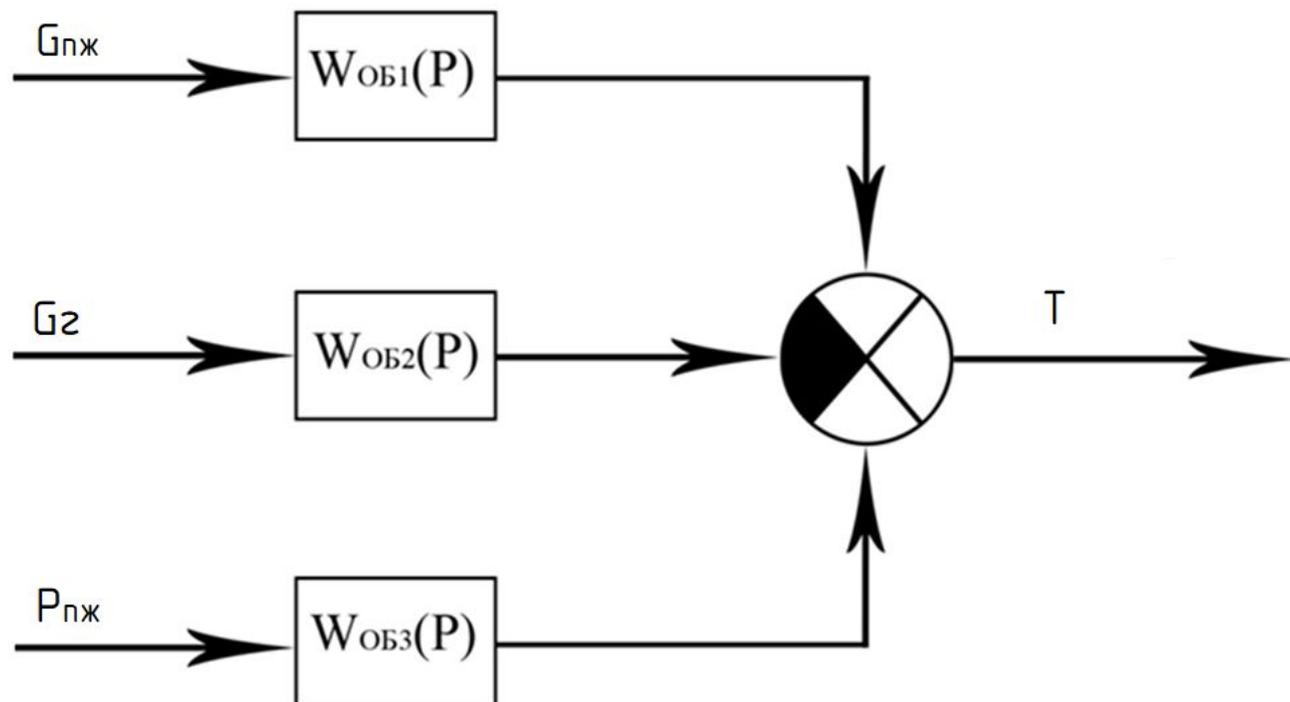


- ПЛК SLC-500 компании «Allen Bradley», где:
1. Модуль процессора - SLC 5/04 1747 L542;
  2. Модуль питания - 1746-P2;
  3. Модуль аналоговых входов - 1746-NI16I;
  4. Модуль дискретных выходов - 1746-IB16.



Датчик температуры пара Метран–ТСПУ–274:  
Диапазон от 0 до +150 °С,  
Погрешность 0,25%

# Математическая модель объекта управления



$G_{пж}$  – расход газожидкостной смеси ПНГ;

$G_{г}$  – расход газа от сепаратора;

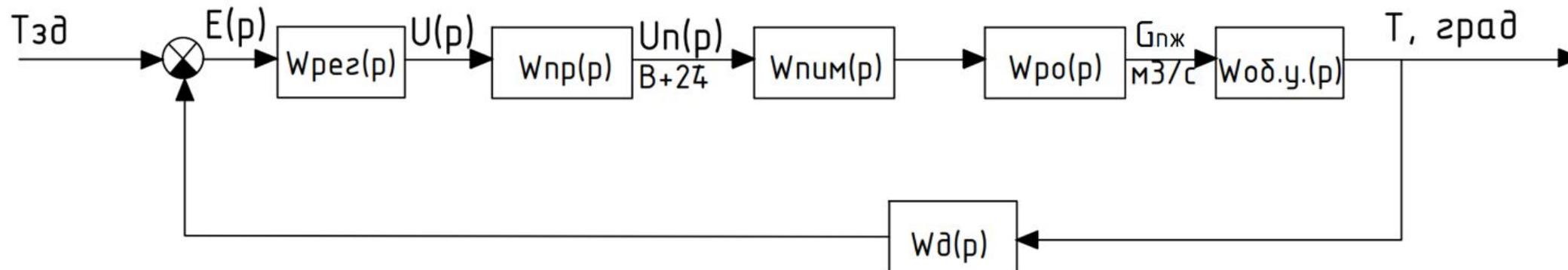
$P_{пж}$  – давление газожидкостной смеси ПНГ;

$W_{об1}(p)$ ,  $W_{об2}(p)$ ,  $W_{об3}(p)$  – передаточные функции по каналам расхода газожидкостной смеси ПНГ, расход газа от сепаратора и давления газожидкостной смеси ПНГ соответственно.

Передаточная функция объекта управления по каналу управления  
“Изменение расхода газожидкостной смеси, поступающей в газосепаратор  $\Delta G_{пж}$  -  
Температура в газосепараторе  $\Delta T$ ”

$$W_{об}(p) = \frac{11750}{40 \cdot p + 1} \cdot e^{-10p}$$

# Алгоритмическая структурная схема АСР температуры сепарации газа в газосепараторе



$W_{рег}(p)$  - передаточная функция регулятора;

$W_{пр}(p)$  - передаточная функция преобразователя;

$W_{ним}(p)$  - передаточная функция пневматического исполнительного механизма;

$W_{ро}(p)$  - передаточная функция регулирующего органа;

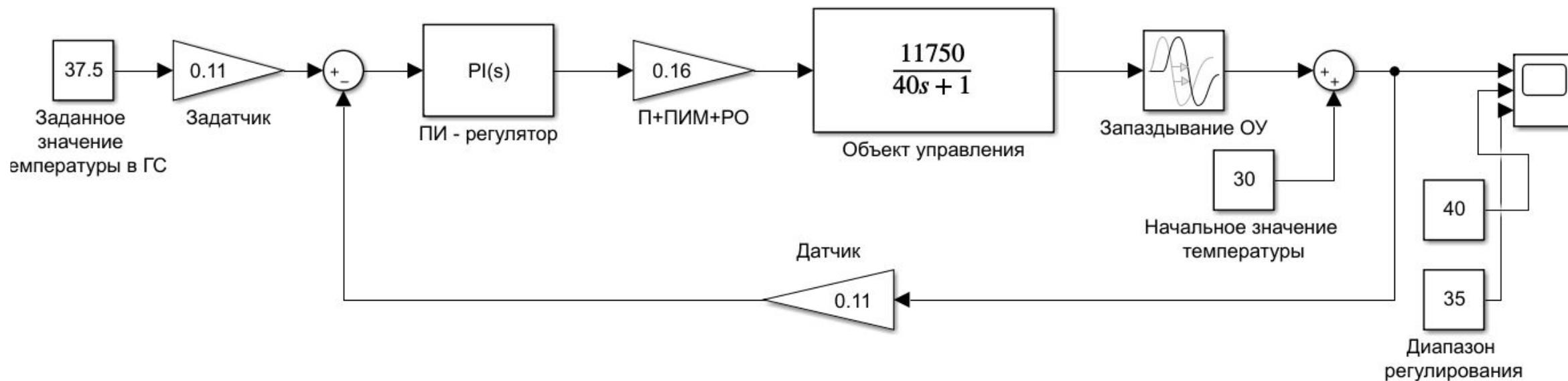
$W_{д}(p)$  - передаточная функция датчика температуры;

$W_{об.у}(p)$  - передаточная функция объекта;

$G_{пж}$  - расход газожидкостной смеси ПНГ;

$T_{зд}$ ,  $T$  - заданная и фактическая температура сепарации газа в газосепараторе.

# Схема моделирования АСР температуры сепарации газа в газосепараторе в Simulink



# Выбор настроек регулятора АСР температуры сепарации газа в газосепараторе

Для аналоговой АСР температуры сепарации газа в газосепараторе передаточная функция ПИ - регулятора будет иметь вид:

$$W_{\text{ПИ}}(P) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{\text{и}} \cdot p}\right) = K_p + \frac{K_i}{p},$$

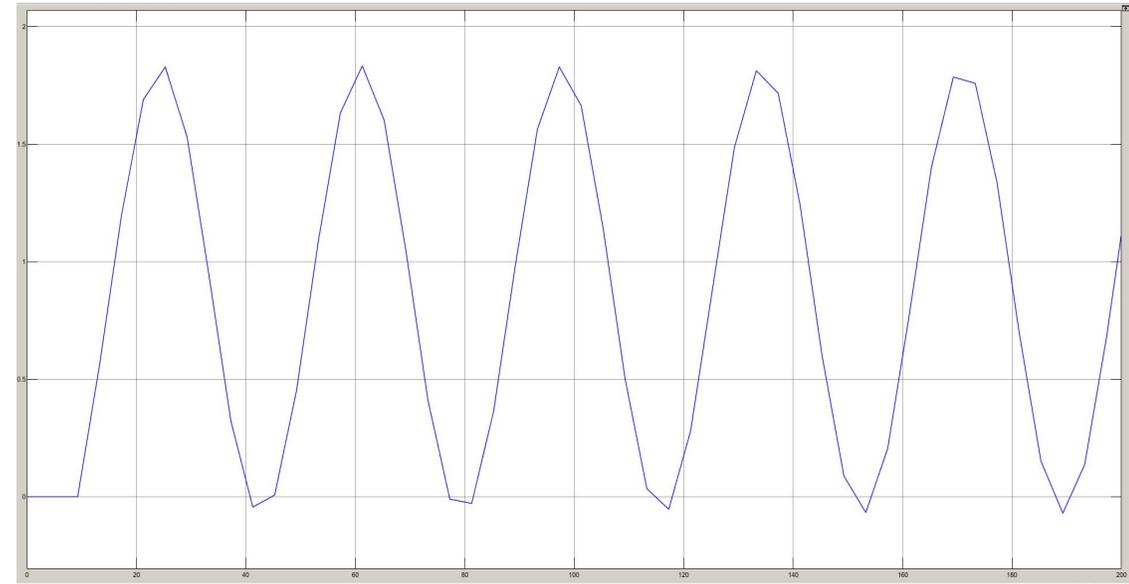
Определим параметры настройки ПИ - регулятора методом незатухающих колебаний при  $K_{\text{кр}} = 0,00388$  и  $T_{\text{кр}} = 30,5$  с

$$K_p = 0,45 \cdot K_{\text{кр}}$$

$$T_{\text{и}} = T_{\text{кр}} / 1,2$$

Тогда передаточная функция ПИ - регулятора имеет вид:

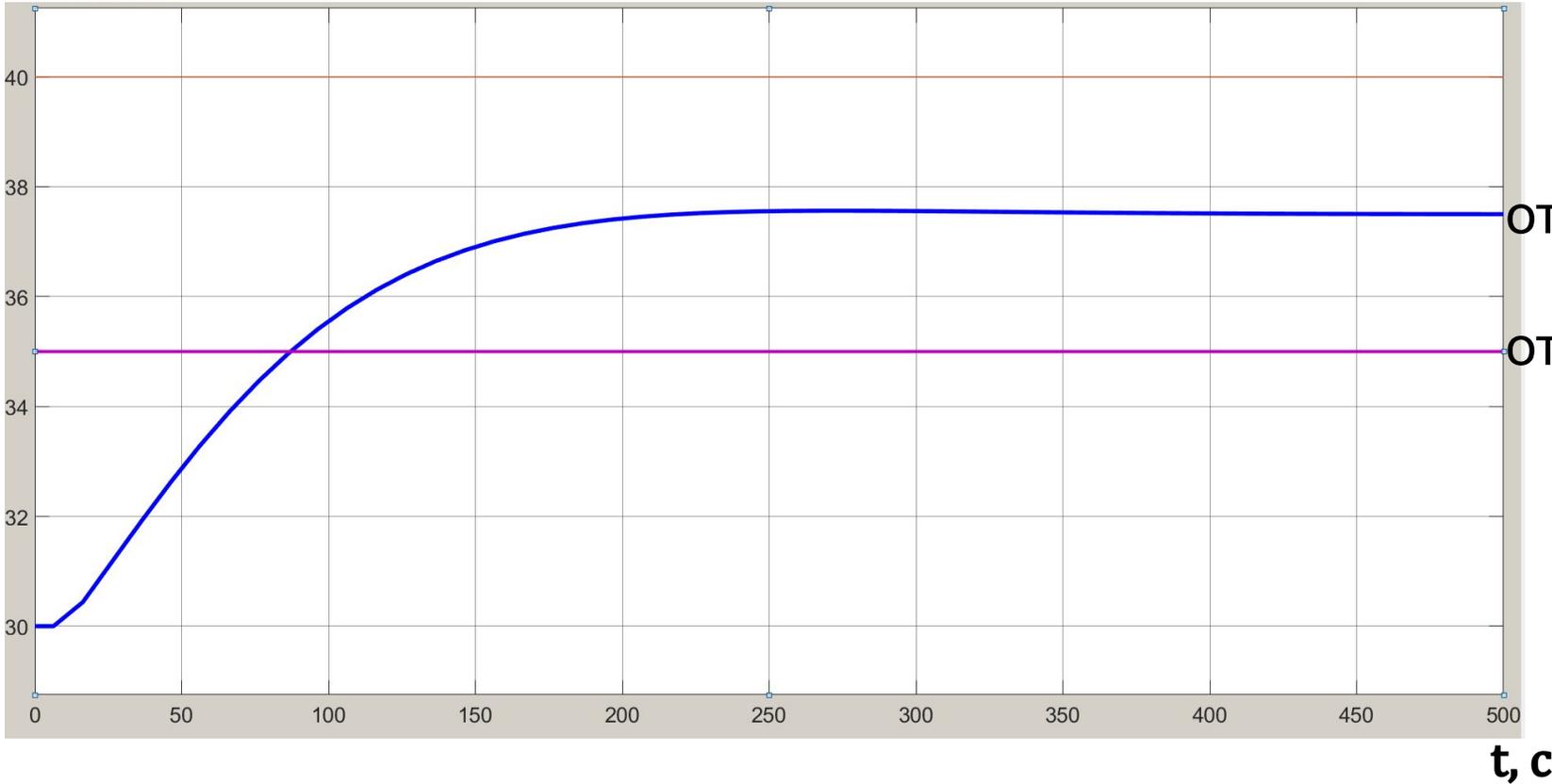
$$W_{\text{ПИ}}(P) = \frac{0,0017 \cdot (25,417p + 1)}{25,417p} = 0,0017 + \frac{0,0000669}{p}.$$



Переходная характеристика АСР температуры сепарации газа в газосепараторе на границе устойчивости при  $K_{\text{кр}} = 0,00385$

# Анализ качества управления АСР температуры сепарации газа в газосепараторе

$T, ^\circ\text{C}$



- Показатели качества системы управления:
- время регулирования 85 с;
  - статическая ошибка отсутствует;
  - перерегулирование отсутствует;

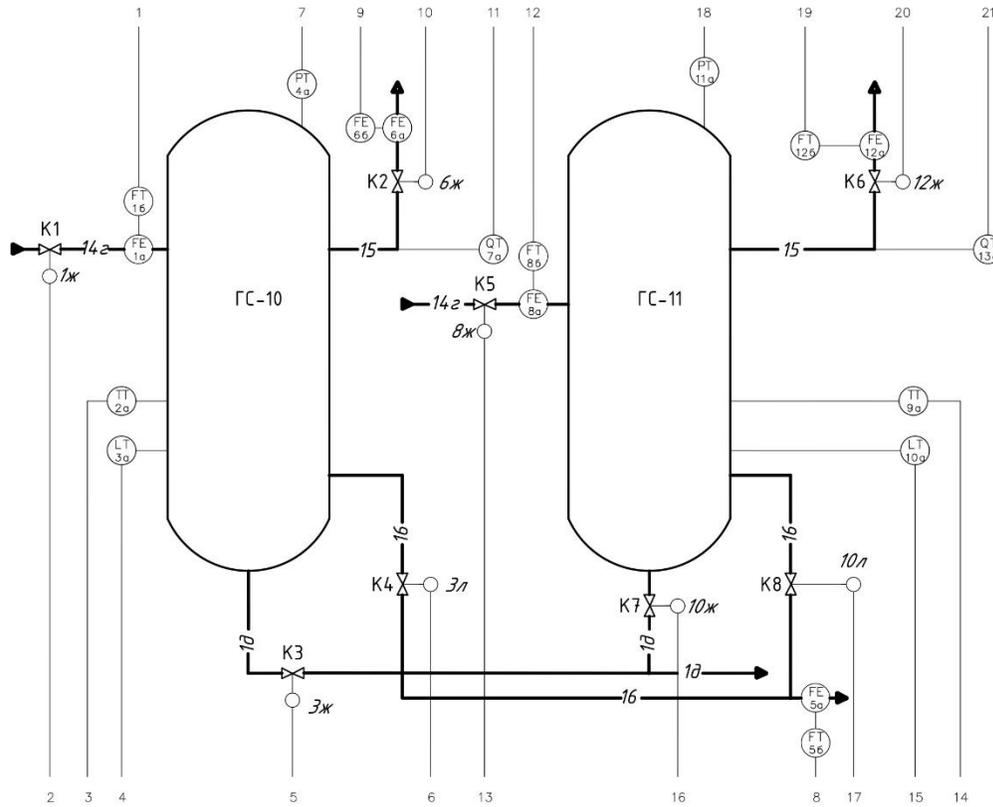
Controller Parameters		
	Tuned	Block
P	0.0017	0.12
I	0.0000669	0.0043
D	n/a	n/a
N	n/a	n/a

Performance and Robustness		
	Tuned	Block
Rise time	27,2 seconds	30.7 seconds
Settling time	85 seconds	95 seconds
Overshoot	0 %	5%
Peak	1	1.05
Gain margin	10.8 dB @ 0.526 rad/s	24.5 dB @ 0.487 rad/s
Phase margin	65 deg @ 0.151 rad/s	65.8 deg @ 0.0466 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

Переходная характеристика АСР температуры сепарации в газосепараторе в диапазоне регулирования  $\pm 2,5 ^\circ\text{C}$

# Функциональная схема автоматизации процесса сепарации попутного нефтяного газа



Экспликация технологического оборудования

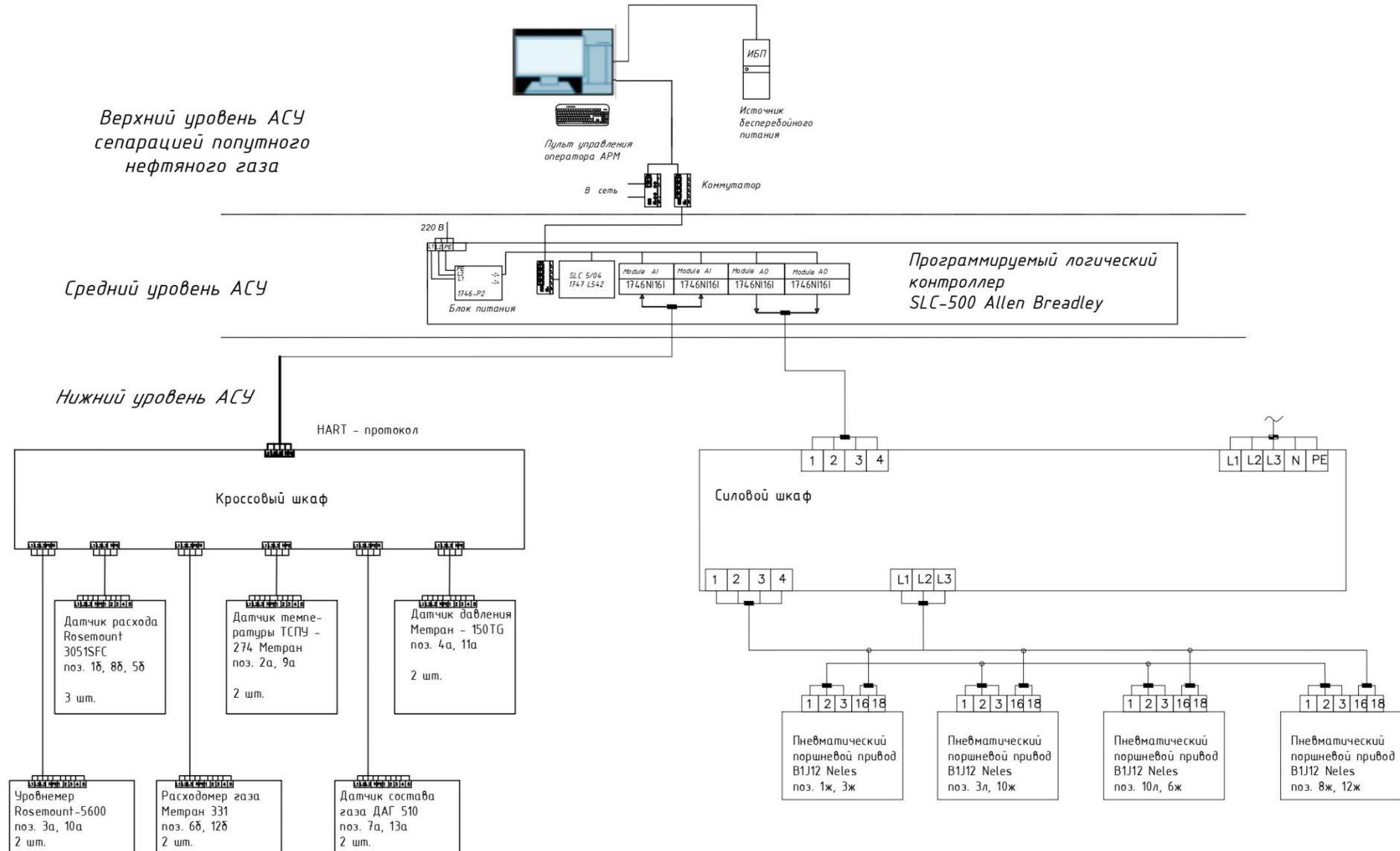
Поз.	Наименование	Кол.	Примечание
ГС-10,11	Газосепаратор	2	

Экспликация технологических трубопроводов

Поз.	Наименование	Кол.	Примечание
10	Дренаж		
16	Жидкость		
14г	Газожидкостная фаза попутного нефтяного газа		
15	Газ		

Приборы по месту	1	2	3	4	5	6	7,18	8	9,19	10,20	11,21	12	13	14	15	16	17							
Щит управления	FIR 15	HS 19	H 19	PIR 25	LIR 35	HS 35	H 35	HS 35	H 35	PIR 45	FIR 55	FIR 65	HS 65	H 65	QIR 75	FIR 85	HS 85	H 85	PIR 95	LIR 105	HS 105	H 105	HS 105	H 105
Станция оператора	Регулирование	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Защита	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Дист. управление	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Индикация	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Регистрация	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Авария	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Управление	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

# Техническая структура АСУ сепарацией попутного нефтяного газа



# Спецификация технических средств автоматизации АСУ сепарацией попутного нефтяного газа

Поз.	Наименование и техническая характеристика	Тип, марка	Завод	Ед. изм.	Кол-во
ТТ 2а, 9а	Термометр сопротивления медный, 0,25% погрешность	ТСПУ-Метран 274	ЗАО "Метран" г. Челябинск	шт.	2
FT 6б, 12б	Расходомер многопараметрический для газа. Выходной сигнал 4-20 мА.	Метран - 331	Emerson ПГ "Метран" г. Челябинск	шт.	2
FT 1б, 5б, 8б,	Расходомер вихревой Выходной сигнал 4-20 мА.	Rosemount 3051SFC	Emerson ПГ "Метран" г. Челябинск	шт.	3
PT 4а, 11а	Датчик давления, сигнализирующий, верхний предел измерения 16 МПа, выходной сигнал 4-20 мА	Метран-150 TG	ПГ "Метран" г. Челябинск	шт.	2
LT 3а, 10а	Уровнемер, 4-20 мА, 0,25 % погрешность	Rosemount - 5600	Emerson ПГ "Метран" г. Челябинск	шт.	2
QT 7а, 13а	Газоанализатор, погрешность 0,1 %	ДАГ-510	ПЭ Энергоснаб-комплект	шт.	2
HS 1д, 3д, 3и, 6д, 8д, 10д, 10и	Переключение с автоматического режима управления на ручной и обратно.	БРУ-17	«АБС ЗЭиМ Автоматизация»	шт.	8
NS 1е, 3е, 3к, 8е, 10е, 10к	Электропневматический позиционер	Neles NE700	Neles	шт.	8
1ж, 3ж, 3л, 10ж, 10л, 6ж, 8ж, 12ж	Механизм пневматический исполнительный	B1J12	MetsoAutomation	шт.	8
	Регулирующий орган клапана	серии LW	Danfoss, Дания	шт.	8
Н 1г,3г, 3з, 6г,8г,10г,10з	Кнопка управления	XB2 - BC42	ПЭ Энергоснаб-комплект	шт.	8

# ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Цель работы – повышение производительности процесса сепарации газа за счет ресурсосберегающего управления температурой в газосепараторе в пределах  $37,5 \pm 2,5$  оС для обеспечения оптимального эффекта сепарации газа и нефти.

В работе:

- проанализирован процесс сепарации попутного нефтяного газа как объекта управления и определены основные контролируемые параметры и сигналы управления АСУ;
- предложена техническая реализация АСР температуры в газосепараторе на базе ПЛК SLC-500 Allen Bradley;
- разработана техническая структура АСУ процесса сепарации попутного нефтяного газа;
- разработана функциональная схема автоматизации процесса сепарации попутного нефтяного газа и спецификация технических средств автоматизации к ней;
- Выполнен анализ разработанной АСР температуры сепарации газа в нефтегазосепараторе методом моделирования в программе Simulink и определены показатели качества АСР.

Предложенная техническая реализация АСР температуры сепарации газа в газосепараторе полностью соответствует требованиям по точности и ресурсосбережению, предъявленным к ней.

**Спасибо за внимание!**