

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОЧИСТКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ОТ  
ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СЕРОУГЛЕРОДА**

**DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR THE  
PROCESS OF CLEANING NATURAL GAS FROM HARMFUL  
IMPURITIES IN THE PRODUCTION OF CARBON DISULFIDE**

**САВЧИЦ АРТЕМ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ**

*кандидат технических наук, доцент,  
Волжский политехнический институт*

**SAVCHITS ARTEM VYACHESLAVOVICH**

*Candidate of technical Sciences, associate Professor,  
Volzhsky Polytechnic Institute*

**БИЛАН СТАНИСЛАВ АЛЕКСАНДРОВИЧ**

*студент,  
Волжский политехнический институт*

**BILAN STANISLAV ALEXANDROVICH**

*student,  
Volzhsky Polytechnic Institute*

**САВИН МАКСИМ АЛЕКСЕЕВИЧ**

*студент,  
Волжский политехнический институт*

**SAVIN MAXIM ALEXEEVICH**

*student,  
Volzhsky Polytechnic Institute*

*Текущая работа посвящается теме разработки системы управления технологическим процессом удаления вредных примесей из технологического газа при производстве сероуглерода. В процессе работы был выполнен анализ предоставленной научно-технической литературы, а так же построена математическая модель колонны десорбции. Найденны оптимальные настроечные коэффициенты ПИД-регулятора.*

*The current work is devoted to the development of a process control system for removing harmful impurities from the process gas in the production of carbon disulfide. In the process of work, the analysis of the provided scientific and technical literature was performed, as well as a mathematical model of the desorption column was built. Optimal tuning coefficients of the PID controller are found.*

**Ключевые слова:** десорбция, модель, разработка, контроллер, система.

**Key words:** desorption, model, development, controller, system.

Природный газ содержит пропан и высшие углеводороды, те в свою очередь негативно влияют на технологическое оборудование, вызывая его коррозию и износ. Поэтому процесс очистки природного газа от вредных примесей является неотъемлемой частью производства. Показателем эффективности готового продукта является процентное содержание вредных примесей газовой фазы.

*Описание техпроцесса.* Удаление вредных примесей из газа проходит в два этапа, во-первых происходит абсорбция с помощью растворителя, во вторых адсорбция углем. Так же для сохранения в системе ценного абсорбента проводится процесс его регенерации (десорбция) [3, с. 61-83].

Описание технологического процесса ведется на основании рисунка 1.

Абсорбция происходит в колонне, где в нижнюю часть абсорбера подается природный не очищенный газ, а в верхнюю часть над слоем насадки растворитель (керосин) поз.1. После взаимодействия в куб колонны стекает насыщенный абсорбент, а с верхней части очищенный газ поступает в адсорберы, предварительно пройдя через каплеотбойник поз.11.

Поскольку очистка растворителя происходит более качественно при более высокой температуре, то сперва насыщенный абсорбент проходит через теплообменники поз.6 (7), а затем поступает в подогреватель поз.10.

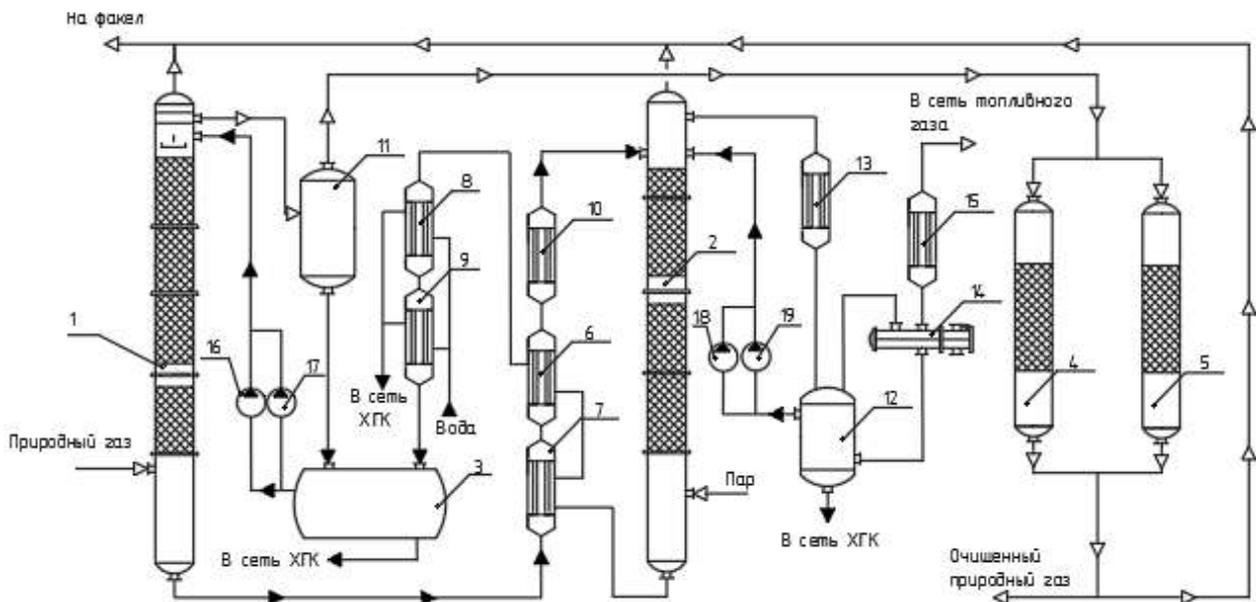


Рисунок 1. Технологическая схема процесса очистки природного газа: 1 – колонна абсорбции; 2 – колонна десорбции; 3 - ёмкость для абсорбента; 4 / 5 – адсорберы, 6 / 7 - подогревающие теплообменники, 8 / 9 – охлаждающие теплообменники, 10 – подогреватель, 11 / 12 – фазоразделители, 13 – охладитель, 14 – конденсатор, 15 – каплеотбойник, 16/17/18/19 – насосы.

Десорбция происходит в колонне, где сверху подается абсорбент, а под слой из колец Рашига поступает пар поз.2. После реакции в куб колонны стекает очищенный абсорбент, который поступает в емкость для сбора абсорбента предварительно понизив температуру в теплообменниках

поз.8(9). Смесь пара и абсорбента выходящая с верха колонны десорбции поступает в охладитель поз.13, далее в фазоразделитель поз.12, и после чего снова в десорбер с помощью насосов поз.18(19).

Газовая фаза с верха фазоразделителя, пройдя через конденсатор поз.14 и капле-

тбойник поз.15 поступает в топливную сеть, а нижний водяной слой сливается в сеть канализации.

В емкость для сбора абсорбента поз.3 поступает жидкость с каплеотбойника и десорбции. В дальнейшем растворитель с помощью насосов поз.16(17) подается в абсорбер замыкая круговорот растворителя, а вода сливается в канализацию.

Дополнительная очистка происходит в адсорберах поз.4(5)работающих по трех-фазному циклу: адсорбция, десорбция и охлаждение, сначала на первом, после чего происходит переход на второй аппарат. Регенерация активированного угля происходит перегретым паром. С отключенного адсорбера газ редуцируется до требуемого давления, а остаток сбрасывается на факел.

*Структура АСУ.* Рассматривая текущую систему было принято решение по модернизации АСУ, в связи с моральным износом системы и недостаточных функциональных возможностях для настоящего времени.

В качестве модернизации представлена распределенная СУ, которая позволяет резервировать логический контроллер ICP-DAS при выходе одного из них из строя, это достигается вкупе с устройством для резервирования данных КЭАЗ. Так же предлагается переход на цифровой промышленный интерфейс RS-485, который обеспечивает хорошую помехозащищенность при достаточно протяженных линиях связи, многоточечность в соединениях, широковещательный формат и это при простой реализации драйверов.

В качестве приводов исполнительных механизмов предложены ЭИМ, обладающие высокой точностью позиционирования.

Для снижения потерь мощности, обеспечения экономии энергии, а следовательно повышенной энергоэффективности используется устройство плавного пуска насосов.

Таблица 1- Используемые технические средства [4]

Тип	Марка	Название	Количество
Промышленный логический контроллер (ПЛК)	ICP-DAS	XP-8737-CE6 CR	2
Блок резервирования	КЭАЗ	UCR-2-КЭАЗ	1
Панель оператора	Weintek	MT8121XE	1
Датчик температуры	Элемер	ТПУ 0304Exd/M3-MB	15
Датчик давления	Элемер	АИР-20Exd/M2-MB-ДИ	7
Расходомер	ЭМИС	ЭМИС-ВИХРЬ 200	5
Уровнемер	Vega	Vegaflex 83	7
Привод (ЭИМ)	АБС ЗЭИМ	ПЭП-А25000	11
Устройство плавного пуска	АВВ	PSE170-600-70	4

Все средства измерения подобраны с учетом допустимых отклонений измеряемой величины и высоким классом точности.

*Моделирование.* В роли объекта управления была исследована десорбционная колонна. Данная технологическая установка выделяет из насыщенного абсорбента высшие углеводороды. Для качественного

ведения процесса необходимо регулировать расход пара поступающего в колонну и нагревающего теплообменный аппарат перед подачей в колонну.

Математические модели были разработаны на основе уравнений теплового баланса. Схемы тепловых потоков представлены на рисунках 3, 5.

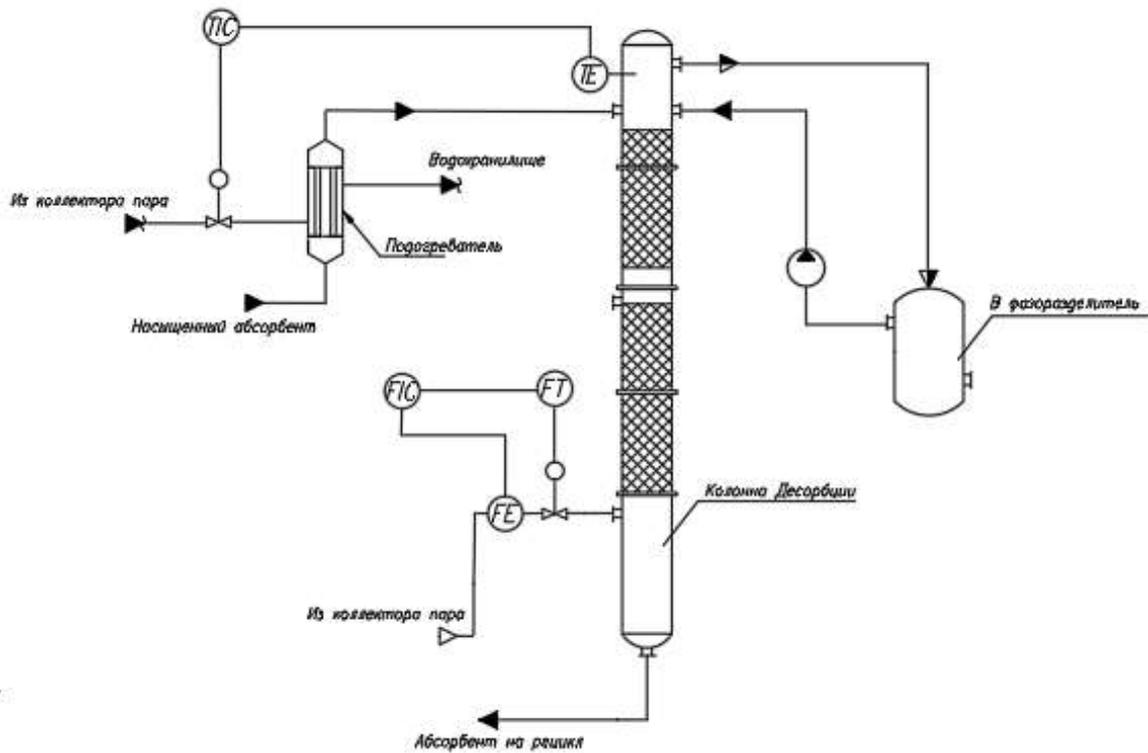


Рисунок 2. Колонна десорбции

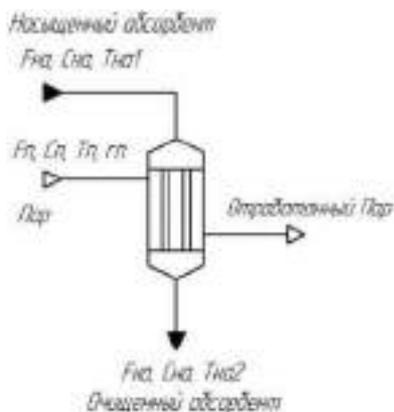


Рисунок 3. Схема материальных и энергетических потоков в теплообменном аппарате

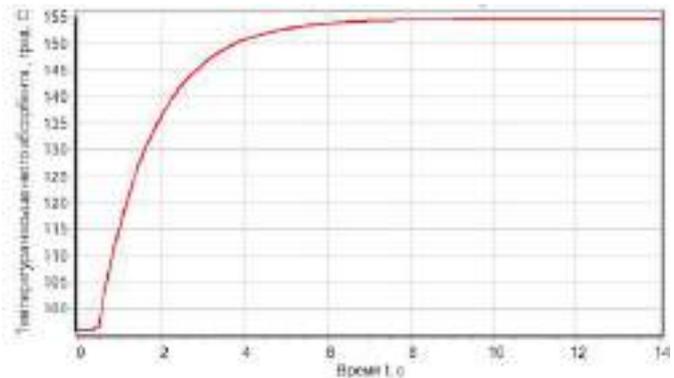


Рисунок 4. Изменение температуры насыщенного абсорбента на выходе из теплообменного аппарата

Выразив из уравнения теплового баланса  $dT_{CG}/dt$  получим систему, для имитационного (визуального) моделирования колонны десорбции[2, с. 677]:

$$V_{CG}\rho_{CG}C_{CG} \cdot \frac{dT_{CG}}{dt} = F_{П}C_{П}T_{П} + F_{НА}C_{НА}T_{НА2} + F_{Н}C_{Н}T_{Н} - F_{CG}C_{CG}T_{CG} - F_{ОА}C_{ОА}T_{ОА}, \quad (2)$$

где  $F_{П}$  – расход пара, кг/с;  $C_{П}$  – удельная теплоемкость пара, кг/с;  $F_{Н}$  – расход нефтепродуктов, кг/с;  $C_{Н}$  – удельная теплоемкость нефтепродуктов, кг/с;

$T_{Н}$  – температура нефтепродуктов, 0С;  $F_{CG}$  – расход смеси газов, кг/с;

$T_{CG}$  – температура смеси газов, 0С;  $T_{Н}$  – температура нефтепродуктов, 0С;

$F_{ОА}$  – расход очищенного абсорбента, кг/с;  $C_{ОА}$  – удельная теплоемкость очищенного абсорбента, Дж/кг·°С;  $T_{ОА}$  – температура очищенного абсорбента, 0С;  $V_{CG}$  – объем смеси газов, м<sup>3</sup>;  $\rho_{CG}$  – плотность смеси газов, кг/м<sup>3</sup>;  $C_{CG}$  – удельная теплоемкость смеси газов, Дж/кг·°С;  $T_{НА2}$  – температура насыщенного абсорбента, 0С.

График изменения температуры смеси газов на выходе из десорбера, представлен на рисунке 6.

Согласно технологическому процессу, структурная схема для моделирования САР температуры в верхней части колонны представлена на рисунке 7.

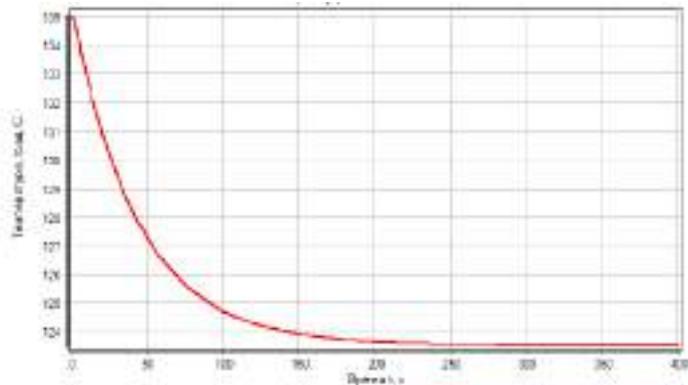
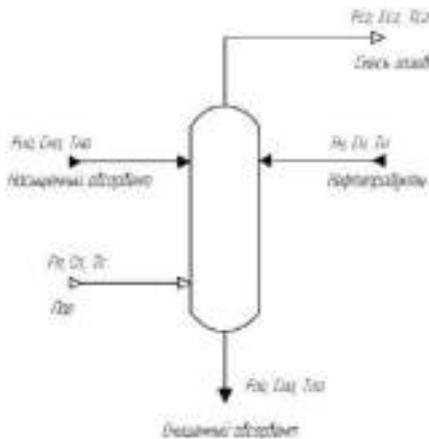


Рисунок 5. Схема материальных и энергетических потоков в десорбере

Рисунок 6. Изменение температуры смеси газов на выходе из десорбера

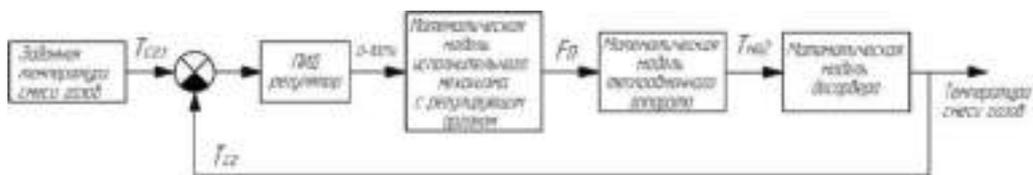


Рисунок 7. Структура САР температурой смеси газов в десорбере

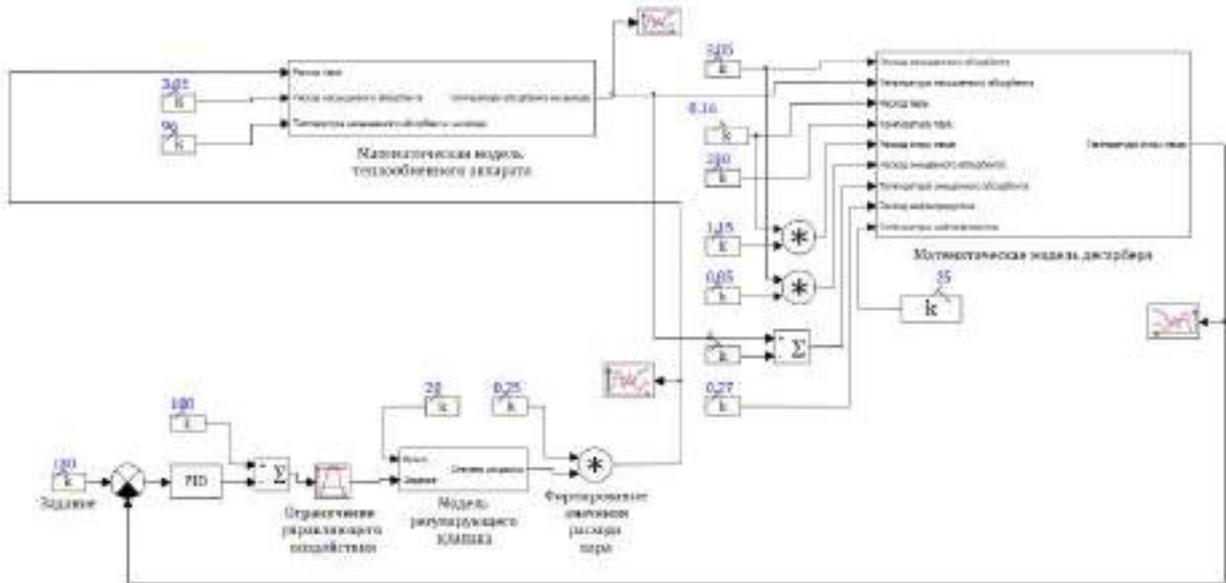


Рисунок 8. Схема САР температуры верха десорбционной колонны

В качестве закона регулирования был выбран ПИД регулятор. Оптимальные настроечные параметры которого были найдены методами Циглера-Никольса, Шински, Кохена-Куна и ЗС. Наилучший

показатель обеспечивает метод ЗС [1, р. 2304].

Результаты моделирования по данным из таблицы 1, представлены на рисунке 9.

Таблица 2 - Расчетные формулы для получения коэффициентов ПИД-регулятора

	Циглер-Никольс		3С	
П	$1.2 \cdot \frac{1}{K} (t_d/\tau)^{-1}$	14.545	$(1.37 \cdot (t_d/\tau)^{-0.95}) \frac{1}{K}$	3.85
И	$2 \cdot t_d$	0.132	$(0.74 \cdot (t_d/\tau)^{0.738}) \cdot \tau$	0.11
Д	$0.5 \cdot t_d$	0.033	$(0.365 \cdot (t_d/\tau)^{0.95}) \cdot \tau$	0.028

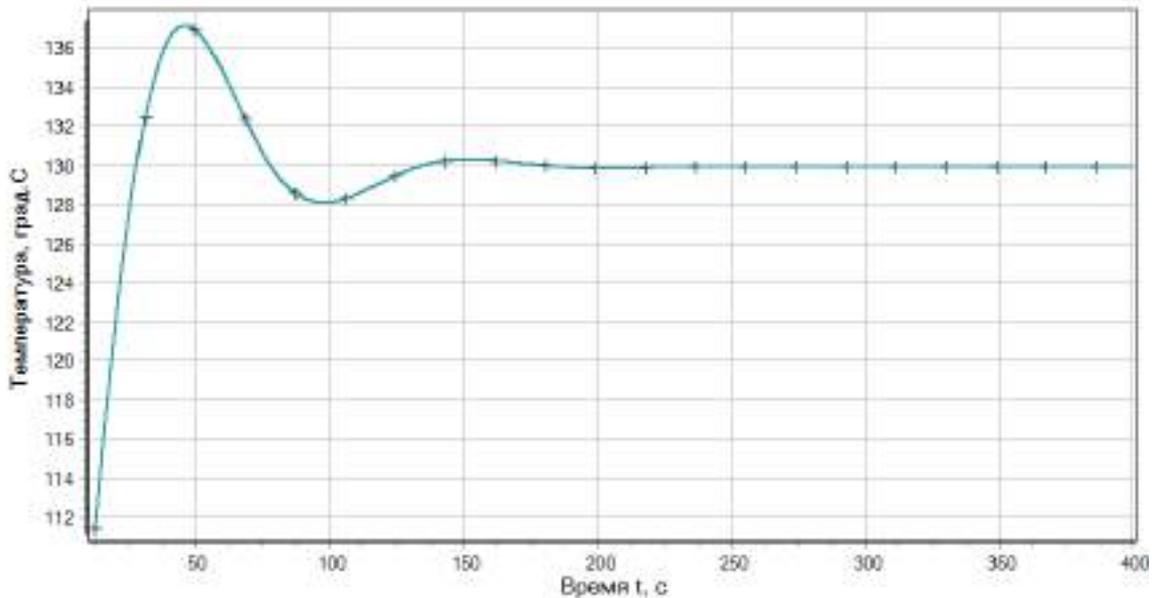


Рисунок 9. Переходные процессы с коэффициентами ПИД-регулятора для метода 3С

Коэффициенты, полученные по методу 3С, обеспечивают более качественный переходный процесс, с меньшей колебательностью и большим быстродействием, чем другие методы.

В результате проведенного исследования была модернизирована система управления очистки природного газа от вредных примесей. Так же в дополнении производилось моделирование САР поддержания температуры в верхней части колонны десорбции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lipták, Béla G. Instrument Engineers' Hand-Book, vol. 2: Process control and optimization. – Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2006 – p. 2304
2. Скобло А.И., Молоканов Ю.К., Владимиров А.И., Щелкунов В.А.. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: Учебник для вузов. — М. : Недра-Бизнесцентр, 2000. — 677 с.

3. Ветошкин А.Г. ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ГАЗООЧИСТКИ //Учебное пособие. — Пенза : ПГУ, 2006. — 61-83 с.
4. Контроллер XP-8737-СЕ6 CR // icp-das. URL: [https://f.icp-das.ru/files/add/doc/82c/xp-8x37-ce6\\_manual.pdf](https://f.icp-das.ru/files/add/doc/82c/xp-8x37-ce6_manual.pdf)
5. Чекрыжев С.Г. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: Учебник для вузов. — Кохтла-Ярве: Virumaa kolledž TTÜ, 2007. — 150 с.

REFERENCES (TRANSLITERATED)

1. Lipták, Béla G. Instrument Engineers' Hand-Book, vol. 2: Process control and optimization. – Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2006 – p. 2304
2. Skoblo A. I., Molokanov Yu. K., Vladimirov A. I., Shchelkunov V. A. Processes and devices of oil and gas processing and petrochemistry: Textbook for universities. - Moscow: Nedra-Biznestsentr, 2000. — p. 677

3. Vetoshkin A. G. PROCESSES AND devices of gas CLEANING // Textbook. - Penza: PSU, 2006. S. 61-83.

4. Controller XP-8737-CE6 CR // icp-das. URL: [https://f.icp-das.ru/files/add/doc/82c/xp-8x37-ce6\\_manual.pdf](https://f.icp-das.ru/files/add/doc/82c/xp-8x37-ce6_manual.pdf)

5. Chekryzhev S. G. Processes and devices of oil and gas processing and petrochemistry: Textbook for universities. — Kohtla-järve: TTÜ Virumaa kolledž, 2007. 150 s.

© Савчиц А.В., Билан С.А., Савин М.А., 2020.