

6-10-2019

## MULTI-REGULATED REGULATION OF NATURAL GAS IN STATIONS OF UNDERGROUND GAS STORAGE

I H. Sidikov

*Tashkent State Technical University named Islam Karimov, authors@ferpi.uz*

B. U. Shomirzaev

*Tashkent State Technical University named Islam Karimov*

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi>

---

### Recommended Citation

Sidikov, I H. and Shomirzaev, B. U. (2019) "MULTI-REGULATED REGULATION OF NATURAL GAS IN STATIONS OF UNDERGROUND GAS STORAGE," *Scientific-technical journal*: Vol. 23 : Iss. 2 , Article 13. Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol23/iss2/13>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific-technical journal by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact [sh.erkinov@edu.uz](mailto:sh.erkinov@edu.uz).

УДК 681.51.011+622.691.24.

**MULTI-REGULATED REGULATION OF NATURAL GAS IN STATIONS OF UNDERGROUND GAS STORAGE****I.H. Sidikov, B.U. Shomirzaev**

Tashkent State Technical University named Islam Karimov

**МНОГОРЕЖИМНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА В СТАНЦИЯХ ПОДЗЕМНОГО ХРАНЕНИЯ ГАЗА****И.Х. Сидиков, Б.У. Шомирзаев**

Ташкентский государственный технический университет им. И. А. Каримова,

**GAZNI ER OSTIDA SAQLASH STANCIJALARIDA TABIIY GAZNI QURITIшни KUPREЖИМЛИ РОСТЛАШ****И.Х. Сидиков, Б.У. Шомирзаев**

Ислом Каримов номидаги Ташкент давлат техника университети

**Abstract.** *In the article the questions of regulation of the process of absorption drying of natural gas are considered. The structural scheme of the conceptual model of the technological process of natural gas drying is given. The results of simulation simulation of the technological process of gas drying using the software complex "MATLAB" are given.*

**Keywords:** absorption, desorption, regenerating unit, underground gas storage, air cooling apparatus, diethyleneglycol.

**Аннотация.** *В статье рассмотрены вопросы регулирования процессом абсорбционной осушки природного газа. Приведена структурная схема концептуальной модели технологического процесса осушки природного газа. Приведены результаты имитационного моделирования технологического процесса осушки газа с использованием программного комплекса "MATLAB".*

**Ключевые слова:** абсорбция, десорбция, регенерирующая установка, подземное хранение газа, аппарат воздушного охлаждения, диэтиленгликоль.

**Аннотация.** *Мақолада табиий газни абсорбцион қуритишни ростлаш жараёни масалалари кўриб чиқилган. Табиий газни қуритиш технологик жараёнининг концептуал модели структура схемаси келтирилган. "MATLAB" дастурий комплексидан фойдаланиб газни қуритиш технологик жараёнининг имитацион моделлаштириши натижалари келтирилган.*

**Таянч сўзлар:** абсорбция, десорбция, регенерацияловчи қурилма, газни ер остида сақлаш, ҳаволи совутиш аппарати, диэтиленгликоль.

Важным этапом подготовки природного газа является его осушка. Современные технологии предъявляют высокие требования к надёжности и экономичности режимов работы, установок подготовки газа. Это обусловлено непрерывным характером его добычи и потребления, территориальной разобщённостью объектов газового комплекса. Среди различных методов подготовки газа наиболее широкое распространение получил метод абсорбционной осушки, при котором абсорбент циркулирует по замкнутому контуру “абсорбер – теплообменный аппарат – регенерирующая установка – теплообменный аппарат – абсорбер”.

Процесс абсорбции газа можно охарактеризовать как мультистадийный технологический процесс с большим числом химических реакций [1].

**ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES**

Анализ технологической, структурно-потоковой, укрупненной функциональной схем и физики процессов позволил получить концептуальную модель технологических процессов осушки природного газа, структурная схема которой приведена на рисунке 1.

На схеме приняты следующие обозначения:  $C_{цк}^{вх}, C_{цк}^{вых}$  - концентрации целевого компонента (ЦК) в газе на входе и выходе абсорбера;  $C_{цра}^{вх}, C_{цра}^{вых}$  - концентрации ЦК в регенерированном абсорбенте на входе абсорбера и выходе ректификационной колонны (РК);  $C_{цна}^{вх}, C_{цна}^{вых}$  - концентрации ЦК в насыщенном абсорбенте на входе РК и выходе абсорбера;  $\theta_{\phi}$  - температура флегмы из аппарата воздушного охлаждения (АВО);  $\theta_a$  - температура абсорбента в испарителе;  $\theta_n, \theta_n'$  - температура пара на выходе испарителя и РК; С помощью концептуальной модели были выявлены особенности технологического процесса (ТП) ОПГ: пространственное распределение величин, взаимосвязь массо- и теплообменных процессов в РК, замкнутость потока по жидкой фазе в КТС. На основе аналитического обзора методов моделирования и состояния проблемы управления абсорбционными процессами сформулированы цели и задача управления массо- и теплообменными процессами при ОПГ [2,4]. Математическая модель (ММ) управляемых массо- и теплообменных процессов в процессе осушки газа выглядит следующим, образом:

$$\frac{\partial C_{цг}}{\partial t} = -v_{зг}(\theta_g, P_g) \left( \frac{\partial C_{цг}}{\partial z} \right) - R_g (C_{цг} - C_{цг}^P(C_{цж}));$$

$$\frac{\partial C_{цж}}{\partial t} = v_{зж} \frac{\partial C_{цж}}{\partial z} + R_{ж} (C_{цг} - C_{цг}^P(C_{цж})), \quad (1)$$

где  $C_{цг}, C_{цж}$  - концентрации целевого компонента (ЦК) в газе и жидкости;  $C_{цг}^R - (C_{цж}^R)$  - равновесное содержание ЦК в газе в зависимости от содержания ЦК в жидкости;  $v_{зг}, v_{зж}$  - скорости газа и жидкости вдоль оси  $z$ ;  $\theta_g$  - рабочая температура газа, °С;  $P_g$  - рабочее давление газа, МПа;  $R_g, R_{ж}$  - физико-технологические коэффициенты, зависящие от физических свойств газовой и жидкой фаз, а также конструктивных особенностей аппарата.

Управление процессом абсорбции осуществляется изменением подачи жидкой фазы в абсорбер. Для этих целей используется многорежимное регулирование соотношения расходов «газ-абсорбент» на базе нелинейного П-регулятора.

Эффективная работа абсорбера осуществляется при изменении расхода газа от 250000 м<sup>3</sup>/ч до 500000 м<sup>3</sup>/ч. При этом скорость газа может варьировалась в пределах от 0,29 м/с до 0,57 м/с. Результаты моделирования в системе с многорежимным регулятором при подаче возмущающих воздействий различного типа по скорости газа на входе абсорбера представлены на рисунке 2. Графики переходных процессов соответствуют минимальному уровню возмущающих воздействий.

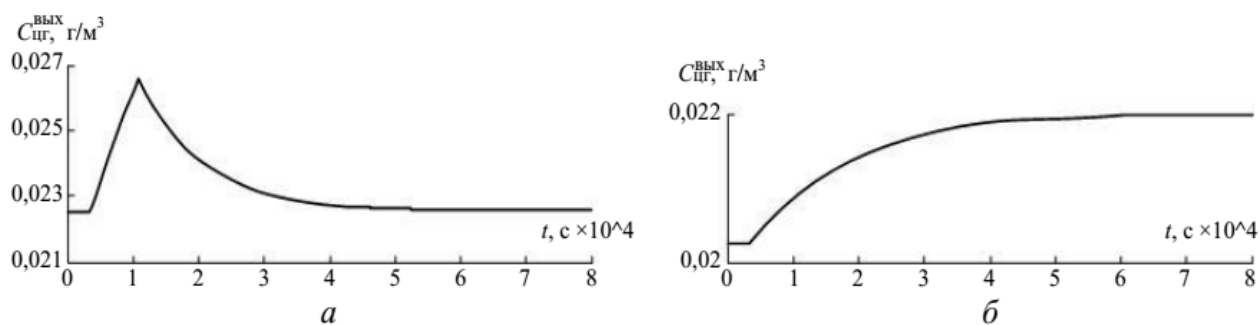


Рис. 2. Графики переходных процессов по концентрации целевого компонента в газе при прямоугольном импульсном (а) и ступенчатом (б) возмущениях.

Анализ концептуальной модели КТС показывает, что влиять на массотепло-обменные

**ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES**

процессы в ректификационной колонне возможно посредством управления тепловыми процессами в испарителе и аппарате воздушного охлаждения (АВО).

Динамика процесса выпаривания представляется в виде системы ДУЧП, описывающая нестационарный теплообмен в испарителе с учетом стенки жаровой трубы, разделяющей теплоносители:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta_{дг}}{\partial t} &= -v_{дг} \frac{\partial \theta_{дг}}{\partial x} - R_{дг} (\theta_{дг} - \theta_{ст}); \\ \frac{\partial \theta_{ж}}{\partial t} &= v_{ж} \frac{\partial \theta_{ж}}{\partial x} + R_{ж} (\theta_{ст} - \theta_{ж}); \\ \frac{\partial \theta_{ст}}{\partial t} &= R_{дгст} (\theta_{дг} - \theta_{ст}) - R_{жст} (\theta_{ст} - \theta_{ж}), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\theta_{дг}$ ,  $\theta_{ж}$ ,  $\theta_{ст}$  - температуры дымовых газов, жидкой фазы и стенки;  $v_{дг}$ ,  $v_{ж}$  - скорости дымовых газов и абсорбента;  $R_{дг}$ ,  $R_{ж}$ ,  $R_{дгст}$ ,  $R_{жст}$  - физикотехнологические коэффициенты, зависящие от физических свойств дымовых газов, жидкости и материала стенки жаровой трубы.

Регулирование теплообменных процессов осуществляется за счет изменения расхода топливного газа или газозвушной смеси, подаваемых в горелку с целью обеспечения требуемой температуры абсорбента на выходе испарителя. Регулирование реализовано введением в (1) уравнение (2) функции управления  $f(u) = v_{дг}(G_{тр})$ .

Для регулирования температурного режима применялся ПИ-закон. Требуемая величина температуры абсорбента на выходе испарителя составляет  $160^{\circ}\text{C}$ . Вычислительные эксперименты показали, что система регулирования температуры абсорбента в испарителе позволяет поддерживать заданную температуру.

Воздушное охлаждение в конденсационных секциях аппарата воздушного охлаждения (АВО) представляется уравнением:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta_{нп}(x,t)}{\partial t} &= -v_{нп} (\theta_{нп}) \frac{\partial \theta_{нп}(x,t)}{\partial x} - R_{нп} (\theta_{нп}(x,t) - \theta_{ст}(x,t)), \\ \frac{\partial \theta_{ст}}{\partial t} &= R_{с2} (\theta_{нп} - \theta_{ст}) - n R_{с1} (\theta_{ст} - \theta_{ср}), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\theta_{нп}$ ,  $\theta_{ст}$ ,  $\theta_{ср}$  - температуры насыщенного пара, стенки теплообменных секций АВО и окружающей среды;  $R_{нп}$ ,  $R_{с1}$ ,  $R_{с2}$  - физико-технологические коэффициенты, зависящие от физических свойств насыщенного пара и материала стенки теплообменных секций АВО;  $n$  - количество трубопроводов в АВО.

Основной задачей системы регулирования теплообменных процессов в подсистеме воздушном охлаждении является поддержание заданной температуры жидкой фазы на выходе из аппарата [3]. Регулирование обеспечивается введением в уравнение (3) функции управления  $f(u) = \theta_{ср}(G_{в})$ . Процесс регулирования температуры флегмы на выходе АВО производится изменением расхода охлаждающего воздуха, обдувающего конденсационные секции аппарата. Регулирование производилось по ПИ-закону. Требуемая величина температуры флегмы на выходе АВО составляет  $34^{\circ}\text{C}$ . Результаты вычислительных экспериментов показали, что система регулирования обеспечивает требуемую величину температуры [5].

Анализ концептуальной модели ОПГ «Абсорбция-Десорбция» показал, что его главной особенностью является замкнутость технологической схемы циркуляции раствора абсорбента (замкнутый цикл по жидкой фазе). В связи с этим возникает задача исследование процессов в данном замкнутом контуре. Тогда дискретно-непрерывная управляемая модель ОПГ «Абсорбция-Десорбция» записывается в виде следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dC_{цг^{i+1}}}{dt} &= -\left(\frac{v_{г}}{h} + R_{г}(v_{г})\right) C_{цг^{i+1}} + R_{г}(v_{г}) E_{п} C_{цж^{n-i}} + \frac{v_{г}}{h} C_{цг^i}; \\ \frac{dC_{цж^{i+1}}}{dt} &= -\left(\frac{f(u)}{h} + R_{ж} E_{п}\right) C_{цж^{i+1}} + R_{ж} C_{цг^{n-i}} + \frac{f(u)}{h} C_{цж^i}; \\ \frac{dC_{цп^{i+1}}}{dt} &= -\left(\frac{v_{п}}{h} - R_{п}\right) C_{цп^{i+1}} + \frac{v_{г}}{h} C_{цп^i} - R_{ж} E_{с} C_{цж^{n-i}} \end{aligned} \quad (4)$$

**ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES**

$$\frac{dC_{ЦКi+1}}{dt} = -\left(\frac{v_{ж}}{h} - R'_{ж}(v_{ж})E\right)C_{ЦКi+1} + \frac{v_{ж}}{h} C_{ЦКi} - R'_{ж}(v_{ж})C_{ЦКi}$$

где  $i=0, \dots, n-1$ ,  $v_{г}, v_{п}, v_{ж}$  – скорости газовой, паровой и жидкой фаз;  $C_{г}, C_{п}, C_{ж}$  – концентрации ЦК в газовой, паровой и жидкой фазах;  $E_{р}, E$  – коэффициенты фазового равновесия;  $f(u)$  – управляющее воздействие по скорости абсорбента в абсорбере;

$R_{г}(v_{г}), R'_{ж}(v_{ж}), R_{п}, R_{ж}$  – физико-технологические коэффициенты по газообразной и жидкой фазам,  $h$  – шаг дискретизации.

На рисунке 3 представлена КМ управляемых технологических процессов ОПГ «Абсорбция-Десорбция». Вычислительные эксперименты с КМ проводились в условиях приложения ступенчатых и последовательности прямоугольных импульсных возмущающих воздействий по скорости газа на входе абсорбера.

На рис. 4 представлены результаты компьютерного моделирования управляемых технологических процессов ОПГ.

«Абсорбция-Десорбция» в случае подачи ступенчатого возмущения по скорости газа на входе абсорбера. При изменении скорости газа от номинальной до минимальной наблюдается плавное отклонение выходных величин от первоначальных значений и постепенный переход к заданным значениям по ЦК в газовой фазе на выходе аппарата

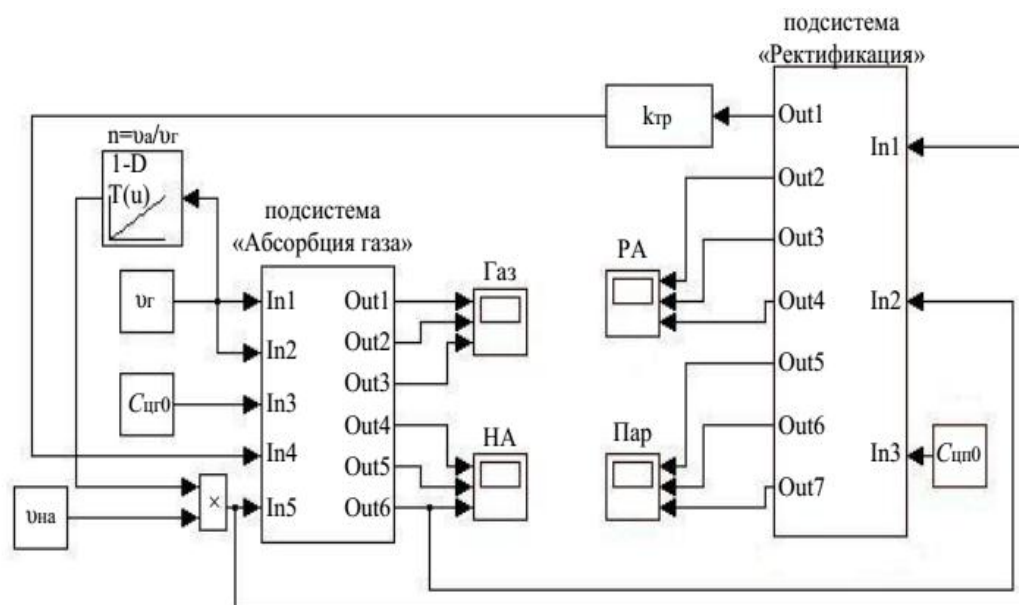


Рис. 3. Компьютерная модель управляемых технологических процессов в ПХГ.

Следует отметить, что значения, полученные при вычислительном эксперименте, для содержания ЦК в жидкой фазе лежат в области значений, выявленных при наблюдении за ТП на реальном производственном объекте. Для регенерированного диэтиленгликоля эти значения лежат в области  $[0,71 \div 4,1]$  % вес, для насыщенного диэтиленгликоля -  $[2,45 \div 9,9]$  % вес. В случае ступенчатого снижения скорости газа содержание ЦК в регенерированном диэтиленгликоле установилось в новом значении 3,3 % вес, а в насыщенном - 7,1 % вес. В случае подачи возмущения в виде прямоугольных импульсов содержание ЦК в регенерированном диэтиленгликоле устанавливалось в значении 1,2 % вес., а в насыщенном - 4,9 % вес.

**ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES**

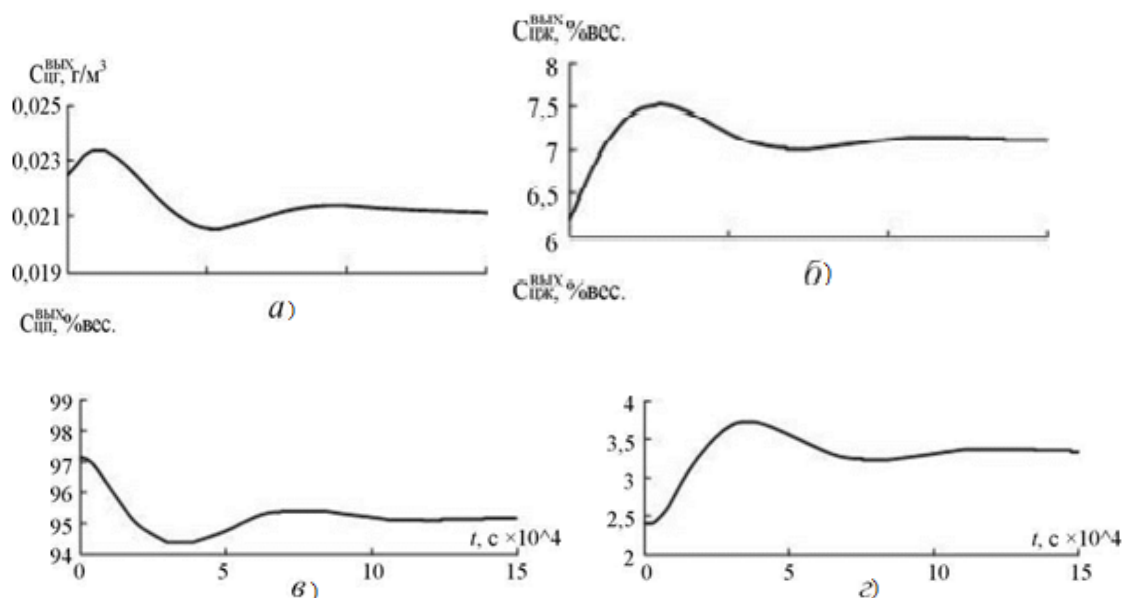


Рис. 4. Графики переходных процессов в абсорбере и РК по газовой/ паровой (а, в) и жидкой (б,г) фазам при ступенчатом снижении скорости газа.

Сравнительный анализ результатов вычислительного и натурального экспериментов позволяет сделать выводы что, применение многорежимного регулирования обеспечивает поддержание параметров массообменных процессов КТС «Абсорбция-Десорбция» в требуемом интервале. Разработанная математическая модель КТС «Абсорбция-Десорбция» адекватна реальному технологическому процессу.

**References:**

- [1]. Antonova Ye.O., Krilov G.V., Proxorov A.D., Stepanov O.A. Osnovi neftegazovogo dela: Ucheb. dlya vuzov. — M: Nedra-Biznestsentr, 2003. - 307 s.
- [2]. Bekirov T.M., G.A. Lanchakov. Tekhnologiya obrabotki gaza i kondensata, M.: Nedra, 1999.
- [3]. Andreev, Ye.B. Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov dobichi i podgotovki nefiti i gaza / Ye.B. Andreev, A.I. Klyuchnikov // Uchebnoe posobie. - Nedra-Biznestsentr. - M.: - 2008. - 399 s.
- [4]. Lanchakov G.A., A.N. Kulkov, G.K. Zibert. Tekhnologicheskie protsessi podgotovki prirodnogo gaza i metodi rascheta oborudovaniya. M.: Nedra, 2000.
- [5]. Dushin, S. Ye.; Abramkin, S. Ye. Matematicheskoe modelirovanie upravlyaemix tehnolo-gicheskix protsessov osushki prirodnogo gaza. Information & Control Systems / Informa-zionno-Upravlyaushie Sistemy . 2015, Vol. 77 Issue 4, p41-49.

**Список литературы**

- [1]. Антонова Е.О., Крылов Г.В., Прохоров А.Д., Степанов О.А. Основы нефтегазового дела: Учеб. для вузов. — М: Недра-Бизнесцентр, 2003. - 307 с.
- [2]. Бекиров Т.М., Г.А. Ланчаков. Технология обработки газа и конденсата, М.: Недра, 1999.
- [3]. Андреев, Е.Б. Автоматизация технологических процессов добычи и подготовки нефти и газа / Е.Б. Андреев, А.И. Ключников // Учебное пособие. - Недра-Бизнесцентр. - М.: - 2008. - 399 с.
- [4]. Ланчаков Г.А., А.Н. Кульков, Г.К. Зиберт. Технологические процессы подготовки природного газа и методы расчета оборудования. М.: Недра, 2000.
- [5]. Душин, С. Е.; Абрамкин, С. Е. Математическое моделирование управляемых техноло-гических процессов осушки природного газа. Information & Control Systems / Informa-zionno-Upravlyaushie Sistemy . 2015, Vol. 77 Issue 4, p41-49.