

UDC 608.4; 53.05; 53.092;53.096

Author: YUDIN Pavel Evgenievich, Assistant of the department «Metallurgy, Powder Metallurgy, Nanomaterials», Samara State Technical University; 443100, Samara Molodogvardeyskaya street, building № 244, yudin@npcsamara.ru;

Author: ABUTALIPOVA Elena Midhatovna, Doctor of Engineering, Associate professor, Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov St., 1, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, 450062, elenaabutalipova.ea@gmail.com;

Author: PETROV Sergey Stepanovich, Ph.D. in Physics and Mathematics, Leading Researcher, LLC «Scientific and Production Centre «Samara»; Samara Region, city of Samara, ul. Ulyanovsk / Fair 52/55, 443001, office@npcsamara.ru;

Author: MAKSIMUK Andrey Viktorovich, Managing director, LLC «Scientific and Production Centre «Samara»; Samara Region, city of Samara, ul. Ulyanovsk / Fair 52/55, 443001, office@npcsamara.ru;

Author: MUGALLIMOV Fanzil Mavlyavievich, Doctor of Engineering, Professor, Ufa State Petroleum Technological University; Kosmonavtov St., 1, Ufa, Bashkortostan Republic, Russia, 450062, evpopova@yandex.ru

THE METHOD TO CALCULATE CONCENTRATION OF CO₂ AND H₂S IN THE LIQUID PHASE

EXTENDED ABSTRACT:

The article proposes the method to calculate the necessary concentration of dissolved gases in the liquid phase. It also deals with development of the computer program that could consider all the main parameters of the tests. The numerous mathematical calculations resulted in formulation of the method to calculate concentration of dissolved gases in the liquid phase. The implementation of the developed model in the form of the software product «Autoclave 2.1» is presented. The developed methodology for calculating the concentration of dissolved gases in the liquid phase is designed to perform accelerated tests that concern resistance of internal anticorrosive coatings of pipelines to aggressive media and explosive decompression, to intensify corrosion processes and to identify the main mechanisms and patterns of changes in the physical, mechanical and operational properties of coatings from hydrothermal influences of fishing environments.

Keywords: Calculation of concentration, the solubility of carbon dioxide, hydrogen sulfide.

DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-116-130](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-116-130)

MACHINE-READABLE INFORMATION ON CC-LICENSES (HTML-CODE) IN METADATA OF THE PAPER

```
<a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/"></a><br /><span xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/dcmitype/Text" property="dct:title" rel="dct:type">The method to calculate concentration of CO2 and H2S in the liquid phase. </span> by <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2017, Vol. 9, no. 4, pp. 116–130. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-116-130. (In Russian). " property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Yudin P.E., Abutalipova E.M., Petrov S.S., Maksimuk A.V., Mugallimov F.M.</a> is licensed under a <a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">Creative Commons Attribution 4.0 International License</a>.<br />Based on a work at <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-4-2017/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/en_EN/nanobuild-4-2017/</a>.<br />Permissions beyond the scope of this license may be available at <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="elenaabutalipova.ea@gmail.com" rel="cc:morePermissions">elenaabutalipova.ea@gmail.com</a>.
```

References:

1. *Aleksandrov E.V., Yudin P.E., Knyazeva Zh.V.* Novaja metodika avtoklavnogo testa dlja jekspress-analiza antikorrozionnyh pokrytij [A new technique for autoclaved test for express analysis of anticorrosive coatings]. *Truboprovodnyj transport: teorija i praktika [Pipeline transport: theory and practice]*. 2015. № 3. P. 16–24. (In Russian).
2. *Yudin P.E., Markov Yu.M., Knyazeva Zh.V.* Obzor metodov avtoklavnyh ispytanij, opisannyh v zarubezhnyh standartah [A review of the methods of autoclave testing described in foreign standards]. *Truboprovodnyj transport: teorija i praktika [Pipeline transport: theory and practice]*. 2015. № 4. P. 6–7. (In Russian).
3. *Yudin P.E., Knyazeva Zh.V.* Ocenka bar'ernyh svojstv vnutrennih antikorrozionnyh pokrytij nefteprovodnyh i nasosno-kompressornyh trub s pomoshh'ju avtoklavnogo testa [Evaluation of the barrier properties of internal anticorrosive coatings of oil pipeline and tubing using an autoclave test]. *Truboprovodnyj transport: teorija i praktika [Pipeline Transport: Theory and Practice]*. 2016. No. 1 (53). P. 14–19. (In Russian).
4. *Namiot A.Yu.* Rastvorimost' gazov v vode [The solubility of gases in water]. Moscow, Nedra, 1991. 167 p. (In Russian).
5. *Lapshin V.I. et al.* Kojefficient szhimaemosti gazov i gazokondensatnyh smesej: jeksperimental'noe opredelenie i raschety [Coefficient of compressibility of gases and gas-condensate mixtures: experimental determination and calculations]. *Vesti gazovoy nauki*. №1. 2011. P. 120–131. (In Russian).
6. *Fizicheskaja himija [Physical Chemistry]*. Moscow. Higher Education. Shk, 1990. 416 p. (In Russian).
7. *Abutalipova E.M.* Investigation of the Effect of Microwave-Radiation Energy Flux on the Structure and Properties of Polymeric Insulating Materials / Bugai D.E.,



- Avrenyuk A.N., Strel'tsov O.B., Sungatullin I.R. Chemical and Petroleum Engineering. 2016.
8. *Abutalipova E.M.* Integrated information systems in the management of the chemical and petrochemical industries / Popova E.V., Avrenyuk A.N., Khakimov T.A., Smol'nikov S.V. Chemical and Petroleum Engineering. 2016.
 9. Ustrojstvo val'cov dlja izgotovlenija polimernyh rifljonih listov [The device of rollers for manufacturing polymeric corrugated sheets] / Panov A.K., Bikhulatov I.Kh., Abakacheva E.M. // Patent for the invention RUS 2250165 26.06.2000.
 10. *Abakacheva E.M., Ivanov S.P., Boev E.V., Afanasenko V.G., Ilchinbaev T.D.* Termoplasticheskie kompozicionnye materialy s nepreryvnymi voloknami [Thermoplastic composite materials with continuous fibers]. *Plasticheskie massy [Plastic masses]*. 2010. № 6. P. 2–5. (In Russian).
 11. *Aminova G.K., Maskova A.R., Slepnev A.E., Abakacheva E.M., Mazitova A.K.* Sintez i nekotorye svojstva dijetoksioktilftalatov [Synthesis and some properties of diethoxyoctylphthalates]. *Bashkirskij himicheskij zhurnal [Bashkirsky chemical journal]*. 2009. Vol. 16. № 3. P. 143–145. (In Russian).
 12. *Yudin P.E., Petrov S.S., Aleksandrov E.V., Sudakov A.A.* Problemy obespechenija kachestva antikorroziionnoj zashhity rvs i sovremennye metody kvalificirovannogo kompleksnogo inspektionnogo kontrolja [The problems of ensuring the quality of corrosion protection rvs and modern methods of qualified integrated inspection control]. *Territorija Neftegaz [Territory of Neftegaz]*. 2012. № 12. P. 18–23. (In Russian).
 13. *Yudin P.E.* Tehnicheskie trebovanija k vnutrennim antikorroziionnym pokrytijam nefteprovodnyh trub [Technical requirements for internal anticorrosion coatings of oil pipelines]. In Proc.: High technology in mechanical engineering Materials of the all-Russian scientific and technical Internet conference. Editorial Board: V.N. Trusov (responsible editor), O.A. Mladentseva (responsible secretary), V.G. Krucilo, N.D. Papsheva, V.V. Golovkin. 2013. P. 121–123. (In Russian).
 14. *Yudin P.E., Amosov A.P.* O primenimosti metodov gidrotermal'nyh vozdeystvij dlja ocenki svojstv vnutrennih antikorroziionnyh pokrytij neftegazoprovodnyh trub [On the applicability of methods of hydrothermal influences to assess the properties of internal anticorrosion coatings of oil and gas pipes]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Poroshkovaja metallurgija i funkcional'nye pokrytija [News of higher educational institutions. Powder metallurgy and functional coatings]*. 2014. № 2. P. 63–68. (In Russian).
 15. *Yudin P.E.* Metodika provedenija avtoklavnogo ispytaniya dlja antikorroziionnyh pokrytij trub, ispol'zujushhihsja v skvazhinah podderzhanija plastovogo davlenija [Technique of carrying out of autoclave testing for anticorrosive coatings of pipes used in wells to maintain reservoir pressure]. In Proc. High technologies in



- mechanical engineering Materials of the All-Russian scientific and technical Internet conference. Dedicated to the centenary of the birth of Doctor of Technical Sciences, professor, honored worker of science and technology PAPSHEV Dmitry Dmitrievich. Responsible editor V.N. The cowards. 2015. P. 30–32. (In Russian).
16. Mathematical modeling of heating kinetics in polymeric coating pipeline metal system at microwave processing / Abutalipova E.M., Aleksandrov A.A., Lisin Yu.V., Pavlova I.V., Shulaev N.S. // Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences. 2017. (2), pp. 118–128.
 17. Study of mechanical properties of polymeric materials modified in SHF electromagnetic field / Abakacheva E.M., Suleymanov D.F., Shulaev N.S. // KpbiMuKo 2010 CriMiCo. 2010 20th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings . 2010. 5632841, pp. 1101–1102
 18. *Ivanov L.A., Muminova S.R.* New technical solutions in nanotechnology. Part 1. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2016, Vol. 8, no. 2, pp. 52–70. DOI: 10.15828/2075-8545-2016-8-2-52-70. (In Russian).
 19. *Ivanov L.A., Muminova S.R.* New technical solutions in nanotechnology. Part 3. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2016, Vol. 8, no. 4, pp. 93–110. DOI: 10.15828/2075-8545-2016-8-4-93-110. (In Russian).
 20. *Ivanov L.A., Muminova S.R.* New technical solutions in nanotechnology. Part 5. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2016, Vol. 8, no. 6, pp. 65–82. DOI: 10.15828/2075-8545-2016-8-6-65-82. (In Russian).
 21. *Ivanov L.A., Muminova S.R.* Nanotechnologies and nanomaterials: review of inventions. Part 1 // Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2017, Vol. 9, no. 1, pp. 88–106. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-1-88-106. (In Russian).

DEAR COLLEAGUES!**THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:**

Yudin P.E., Abutalipova E.M., Petrov S.S., Maksimuk A.V., Mugallimov F.M. The method to calculate concentration of CO₂ and H₂S in the liquid phase. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2017, Vol. 9, no. 4, pp. 116–130. DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-116-130. (In Russian).



УДК 608.4; 53.05; 53.092; 53.096

Автор: **ЮДИН Павел Евгеньевич**, асс. каф. «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы», ФГБОУ ВО «СамГТУ»; ул. Молодогвардейская, д. 244, г. Самара, 443100, yudin@nrcsamara.ru;

Автор: **АБУТАЛИПОВА Елена Мидхатовна**, проф. каф. «ТМО», д.т.н., доц., ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450062, elenaabutalipova.ea@gmail.com;

Автор: **ПЕТРОВ Сергей Степанович**, канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник ООО «НПЦ «Самара»; ул. Ульяновская/Ярмарочная, д. 52/55, г. Самара, Самарская область, 443001, office@nrcsamara.ru;

Автор: **МАКСИМУК Андрей Викторович**, управляющий ООО «НПЦ «Самара»; ул. Ульяновская / Ярмарочная, д. 52/55, г. Самара, Самарская область, 443001, office@nrcsamara.ru;

Автор: **МУГАЛЛИМОВ Фанзиль Мавлявиевич**, д.т.н., проф., проф. каф. «ТХНГ», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»; ул. Космонавтов, 1, г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, 450062, mugallimov@mail.ru

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОНЦЕНТРАЦИЙ CO_2 И H_2S В ЖИДКОЙ ФАЗЕ

АННОТАЦИЯ К СТАТЬЕ (АВТОРСКОЕ РЕЗЮМЕ, РЕФЕРАТ):

В статье предложена методика расчета необходимых концентраций растворенных газов в жидкой фазе, создание компьютерной программы, учитывающей все основные параметры проведения испытаний. В результате проведения многочисленных математических расчетов сформулирована методика по разработке расчета концентраций растворенных газов в жидкой фазе. Представлена реализация разработанной модели в виде программного продукта «Автоклав 2.1». Разработанная методика расчета концентраций растворенных газов в жидкой фазе предназначена для осуществления ускоренных испытаний стойкости внутренних антикоррозионных покрытий трубопроводов к агрессивным средам и взрывной декомпрессии, для интенсификации коррозионных процессов и выявления основных механизмов и закономерностей изменения физико-механических и эксплуатационных свойств покрытий от гидротермальных воздействий промышленных сред.

Ключевые слова: расчет концентраций, растворимость, углекислый газ, сероводород.

DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-116-130](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-116-130)

МАШИНОЧИТАЕМАЯ ИНФОРМАЦИЯ О СС-ЛИЦЕНЗИИ В МЕТАДАННЫХ СТАТЬИ (HTML-код):

```
<a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/"></a><br />Произведение «<span xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://purl.org/dc/dcmitype/Text" property="dct:title" rel="dct:type">Методика расчета концентраций CO2 и H2S в жидкой фазе </span>» созданное автором по имени <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – Том 9, № 4. – С. 116–130. – DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-116-130." property="cc:attributionName" rel="cc:attributionURL">Юдин П.Е., Абуталипова Е.М., Петров С.С., Максимук А.В., Мугаллимов Ф.М. </a>, публикуется на условиях <a rel="license" href="http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная</a>.<br />Основано на произведении с <a xmlns:dct="http://purl.org/dc/terms/" href="http://nanobuild.ru/ru_RU/nanobuild-4-2017/" rel="dct:source">http://nanobuild.ru/ru_RU/nanobuild-4-2017/</a>.<br />Разрешения, выходящие за рамки данной лицензии, могут быть доступны на странице <a xmlns:cc="http://creativecommons.org/ns#" href="elenaabutalipova.ea@gmail.com" rel="cc:morePermissions">elenaabutalipova.ea@gmail.com</a>.
```

Устойчивость полимерных покрытий внутренней поверхности труб к эксплуатационным условиям [1–3] является наиболее значимым критерием для оценки их качества. Трубопроводы с внутренними антикоррозионными покрытиями обычно эксплуатируются при высоких значениях давления и температуры, в средах с различной степенью агрессивности. Оценку качества внутреннего покрытия трубопровода в подобных условиях позволяют произвести автоклавные испытания, способные максимально близко воссоздать по всем параметрам условия эксплуатации и смоделировать такие виды разрушения, как естественное старение полимерной основы, декомпрессионное отслаивание и коррозионное разрушение. Методики испытаний для моделирования вышеуказанных видов разрушений покрытий были сформулированы ранее в работах [4, 5, 11, 13], в которых указаны значения параметров проведения испытаний: давления, температуры, продолжительности, скорости сброса давления и испытательные среды. По окончании проведения испытаний автоклавным тестом предоставляется возможность произвести оценку качества, как по внешнему виду покрытий, так и по физико-механическим характеристикам.

Ведущиеся в настоящее время работы по созданию ГОСТ Р «Защитные лакокрасочные покрытия внутренней поверхности стальных труб и соединительных деталей [8–10], используемых в нефтяной промышленности» основной целью имеют выработку рекомендаций основных критериев для оценки качества антикоррозионных полимерных покрытий. В большинстве методик автоклавных тестов регламентируется состав



газовой смеси, температура испытаний и общее давление в автоклаве, такой подход приводит к разночтениям при проведении испытаний [6, 7], более подробно данная ситуация описана в [9, 12]. С точки зрения получения сопоставимых результатов, получаемых в разных лабораториях, необходимо регламентировать концентрации растворенных газов в жидкой фазе. Однако данная задача усложняется отсутствием методов контроля растворенных газов при высоких давлениях (точнее сказать сложностью выполнения данных экспериментов, необходимостью большого количества дополнительного оборудования и доработки автоклавов, что зачастую является невозможным) [15–18].

В связи с этим основной целью данной работы является разработка методики по расчету концентраций растворенных газов в жидкой фазе и ее автоматизация в виде создания компьютерной программы, учитывающей все основные параметры проведения испытаний, такие, как соотношения жидкой и газовой фазы, значения давления и температуры, состав среды и пр.

Модель расчета

Согласно закону Генри-Дальтона объем растворенного в жидкости газа равен [14]:

$$V = kp, \quad (1)$$

где k – постоянная Генри,
 p – давление газа над раствором.

С ростом давления и температурой наблюдаются отклонения от данной закономерности.

Основываясь на результатах, представленных в [4, 5, 6], а также на полученных экспериментальных данных растворимости CO_2 и H_2S в воде, были сформулированы следующие закономерности количества растворимых в воде газов от давления и температуры:

для растворимости CO_2 :

$$V = \alpha \left[1 - \text{EXP} \left(-\frac{P}{\beta T} \right) \right], \quad (2)$$



для растворимости H_2S :

$$V = \alpha \cdot EXP \left(\frac{P}{\beta T} \right), \quad (3)$$

где P – парциальное давление газа;

T – температура системы;

α, β – коэффициенты, зависящие от давления и температуры.

В рассматриваемом диапазоне температур и давлений большое значение оказывает коэффициент сжимаемости газа (Z). Для решения поставленной задачи применялась трехкомпонентная газовая смесь CO_2 , H_2S и N_2 .

Тогда:

$$Z = X_a Z_a + (1 - X_a) Z_y,$$

$$Z_y = Z_{CO_2} \left(\frac{X_{CO_2}}{X_{CO_2} + X_{H_2S}} \right) + Z_{H_2S} \left(\frac{X_{H_2S}}{X_{CO_2} + X_{H_2S}} \right), \quad (4)$$

где Z – коэффициент сжимаемости газовой смеси;

X_a, X_{CO_2}, X_{H_2S} – мольная доля газов в смеси;

Z_a, Z_{CO_2}, Z_{H_2S} – коэффициент сжимаемости газов;

Z_y – коэффициент сжимаемости смеси CO_2 и H_2S .

Так как азот имеет относительно небольшое значение растворимости по отношению к другим компонентам системы и не участвует в основных механизмах разрушения антикоррозионных покрытий и коррозии металла, в дальнейших расчетах количество растворенного в воде азота не учитывалось, а коэффициент сжимаемости приравнялся единице во всем диапазоне температур и давлений.

При построении модели расчета растворимости CO_2 и H_2S в 3% растворе $NaCl$ в воде и диапазоне температур от 20 до 200°C и давлении системы от 1 до 200 атм. были введены следующие упрощения:

- коэффициент Сеченова равен 0,9 во всем диапазоне температур и давлении;
- запрещены химические взаимодействия между компонентами системы;
- суммарная растворимость компонентов равна сумме растворимости отдельных компонентов;
- расчеты справедливы для равновесного состояния системы.



Реализация модели

Математическая реализация предложенной модели позволила получить зависимости концентрации растворенных газов в условиях ограниченного объема жидкой и газовой фазы, в зависимости от температуры, давления и состава газовой смеси. При задании набора входных параметров производится подбор необходимых коэффициентов α , β , а также расчет равновесного состояния между объемом растворенных газов и парциальными давлениями, удерживающими этот газ в жидкости.

На сегодняшний день программный комплекс «Автоклав 2.1» позволяет проводить необходимые расчеты для проведения автоклавных тестов по следующему алгоритму. На первом этапе происходит ввод рабочих параметров автоклава (рис. 1).

Входные параметры	
Полный объем реактора, л	<input type="text" value="10"/>
Объем жидкой фазы, л	<input type="text" value="1"/>
Объем газообразной фазы, л	<input type="text" value="9"/>
Давление в реакторе, атм	<input type="text" value="50"/>
Температура в реакторе, град	<input type="text" value="30"/>

Рис. 1. Входные параметры автоклава

Далее происходит выбор пути решения поставленной задачи:

– «Прямой расчет» – позволяет по заданным концентрациям газов (p_{pm}) в жидкой фазе (рис. 2) получать в качестве решения значение парциальных давлений, необходимое давление каждого газа в реакторе и состав газовой смеси, подаваемой в реактор (рис. 3), необходимой для получения необходимого результата.

– «Обратный расчет» – позволяет по известному составу газовой смеси (рис. 4) получить значение концентрации газов, растворенных в жидкой фазе (рис. 5).



Рис. 2. Выбор параметров расчета и задание необходимой концентрации компонентов в жидкой фазе

Прямой расчет
 Обратный расчет

Состав жидкой фазы: Соленая вода (3% NaCl)

Концентрации газов в жидкой фазе, ppm

Углекислого газа	<input type="text" value="10000"/>
Сероводорода	<input type="text" value="5000"/>

Рис. 3. Результат расчета. Состав газовой смеси для получения требуемой концентрации

Концентрации газов в смеси запускаемой в автоклав, %

Углекислого газа	<input type="text" value="17.54"/>
Сероводорода	<input type="text" value="4.3"/>
Азота	<input type="text" value="78.16"/>

Рис. 4. Выбор параметров расчета и задание концентрации имеющейся газовой смеси

Прямой расчет
 Обратный расчет

Состав жидкой фазы: Соленая вода (3% NaCl)

Концентрации газов в смеси запускаемой в автоклав, %

Углекислого газа	<input type="text" value="20"/>
Сероводорода	<input type="text" value="0.5"/>
Азота	<input type="text" value="79.5"/>



Концентрации газов в жидкой фазе, ppm	
Углекислого газа	11194
Сероводорода	581

Рис. 5. Результат расчета. Концентрация газов, растворенных в жидкой фазе

В результате проведения многочисленных математических расчетов была сформулирована методика по разработке расчета концентраций растворенных газов в жидкой фазе. Реализация данной модели в виде программного продукта «Автоклав 2.1» (рис. 6) позволяет с большой степенью сходимости получать на практике заданные концентрации CO_2 и H_2S в 3% растворе NaCl в воде при температурах от 20 до 200°C и давлении системы от 1 до 200 атм.

Входные параметры	Результаты вычислений
Полный объем реактора, л: <input type="text" value="5"/> Объем жидкой фазы, л: <input type="text" value="1.5"/> Объем газообразной фазы, л: <input type="text" value="3.5"/> Давление в реакторе, атм: <input type="text" value="30"/> Температура в реакторе, град: <input type="text" value="40"/> <input checked="" type="radio"/> Прямой расчет <input type="radio"/> Обратный расчет Состав жидкой фазы: Соленая вода (3% NaCl) Концентрации газов в жидкой фазе, ppm Углекислого газа: <input type="text" value="7000"/> Сероводорода: <input type="text" value="1000"/>	Парциальные давления газов (равновесное), атм. Углекислого газа: <input type="text" value="7.43"/> Сероводорода: <input type="text" value="0.43"/> Азота: <input type="text" value="22.14"/> Давления газов в смеси запускаемой в автоклав, атм. Углекислого газа: <input type="text" value="9.11"/> Сероводорода: <input type="text" value="0.75"/> Азота: <input type="text" value="22.14"/> Суммарное: <input type="text" value="31.99"/> Концентрации газов в смеси запускаемой в автоклав, % Углекислого газа: <input type="text" value="28.49"/> Сероводорода: <input type="text" value="2.33"/> Азота: <input type="text" value="69.19"/>

Рис. 6. Рабочее окно программы расчета концентраций



Расчет по описанной выше модели хорошо согласуется с полученными экспериментальными данными (рис. 7). Количество растворенного углекислого газа оценивалось по падению общего давления в автоклаве (представлены данные для соотношения жидкость–газ 2:1, температуре 80°C и начальном давлении системы 53 атм.) На данном примере видно, что процесс растворимости газов растянут во времени, а полное насыщение наступает примерно через 4 часа после подачи газов в сосуд.

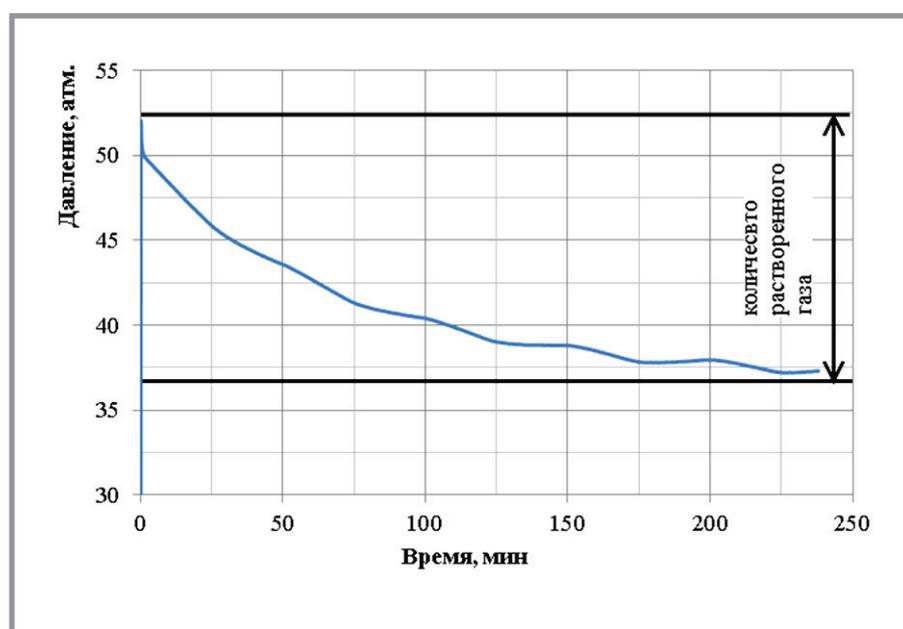


Рис. 7. Зависимость давления углекислого газа в автоклаве от времени при температуре 80°C, объем реактора 3 л, отношение жидкость–газ 2:1

Расчет, выполненный с помощью программного продукта «Автоклав 2.1», показал, что равновесное состояние данной системы достигается при давлении 35 атм. Различие между экспериментальными и расчетными данными составило менее 6%.

Необходимо отметить, что программа «Автоклав 2.1» позволяет производить расчеты как по заданным концентрациям газов в жидкой фазе, так и по известному составу газовой смеси. Таким образом, реализованный продукт позволяет исключить проведение трудоемких расчетов, что, несомненно, облегчит и ускорит работу в области проведения автоклавных испытаний.



Библиографический список:

1. Александров Е.В., Юдин П.Е., Князева Ж.В. Новая методика автоклавного теста для экспресс-анализа антикоррозионных покрытий // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2015. – № 3. – С. 16–24.
2. Юдин П.Е., Марков Ю.М., Князева Ж.В. Обзор методов автоклавных испытаний, описанных в зарубежных стандартах // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2015. – № 4. – С. 6–7.
3. Юдин П.Е., Князева Ж.В. Оценка барьерных свойств внутренних антикоррозионных покрытий нефтепроводных и насосно-компрессорных труб с помощью автоклавного теста // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2016. – № 1 (53). – С. 14–19.
4. Намиот А.Ю. Растворимость газов в воде. – М.: Недра, 1991. – 167 с.
5. Лапшин В.И. и др. Коэффициент сжимаемости газов и газоконденсатных смесей: экспериментальное определение и расчеты // Вести газовой науки. – 2011. – № 1. – 2011. – С. 120–131.
6. Физическая химия – М.: Высш. шк, 1990. – 416 с.
7. Abutalipova E.M. Investigation of the Effect of Microwave-Radiation Energy Flux on the Structure and Properties of Polymeric Insulating Materials / Bugai D.E., Avrenyuk A.N., Strel'tsov O.B., Sungatullin I.R. Chemical and Petroleum Engineering. 2016.
8. Abutalipova, E.M. Integrated information systems in the management of the chemical and petrochemical industries / Popova, E.V., Avrenyuk, A.N., Khakimov, T.A., Smol'nikov, S.V. Chemical and Petroleum Engineering. 2016.
9. Панов А.К., Бикбулатов И.Х., Абакачева Е.М. Устройство вальцов для изготовления полимерных рифленых листов // Патент РФ на изобретение 2250165. 26.06.2000.
10. Термопластичные композиционные материалы с непрерывными волокнами / Е.М.Абакачева, С.П. Иванов, Е.В. Боев, В.Г. Афанасенко, Т.Д. Ильчинбаев // Пластические массы. – 2010. – № 6. – С. 2–5.
11. Аминова Г.К., Маскова А.Р., Слепнев А.Е., Абакачева Е.М., Мазитова А.К. Синтез и некоторые свойства диэтоксидоктилфталатов // Башкирский химический журнал. – 2009. – Т. 16, № 3. – С. 143–145.
12. Юдин П.Е., Петров С.С., Александров Е.В., Судаков А.А. Проблемы обеспечения качества антикоррозионной защиты рвс и современные методы квалифицированного комплексного инспекционного контроля // Территория Нефтегаз. – 2012. – № 12. – С. 18–23.



13. Технические требования к внутренним антикоррозионным покрытиям нефтепроводных труб / Юдин П.Е. // В сб: Высокие технологии в машиностроении Материалы всероссийской научно-технической интернет-конференции. – Редколлегия: В.Н. Трусов (отв. редактор), О.А. Младенцева (отв. секретарь), В.Г. Круцило, Н.Д. Папшева, В.В. Головкин. – 2013. – С. 121–123.
14. Юдин П.Е., Амосов А.П. О применимости методов гидротермальных воздействий для оценки свойств внутренних антикоррозионных покрытий нефтегазопроводных труб // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2014. – № 2. – С. 63–68.
15. Методика проведения автоклавного испытания для антикоррозионных покрытий труб, использующихся в скважинах поддержания пластового давления / Юдин П.Е. // В сб.: Высокие технологии в машиностроении Материалы всероссийской научно-технической интернет-конференции, посвященной 100-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки и техники ПАПШЕВА Дмитрия Дмитриевича. – 2015. – С. 30–32.
16. Mathematical modeling of heating kinetics in polymeric coating pipeline metal system at microwave processing/ Abutalipova E.M., Aleksandrov A.A., Lisin Yu.V., Pavlova I.V., Shulaev N.S. // Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences. 2017. (2), pp. 118–128.
17. Study of mechanical properties of polymeric materials modified in SHF electromagnetic field / Abakacheva, E.M., Suleymanov, D.F., Shulaev, N.S. // Кр-биМуКо 2010 CriMiCo. 2010 20th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings . 2010. 5632841, pp. 1101–1102.
18. Иванов Л.А., Муминова С.Р. Новые технические решения в области нанотехнологий. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. – 2016. – Том 8, № 2. – С. 52–70. – DOI: 10.15828/2075-8545-2016-8-2-52-70.
19. Иванов Л.А., Муминова С.Р. Новые технические решения в области нанотехнологий. Часть 3 // Нанотехнологии в строительстве. – 2016. – Том 8, № 4. – С. 93–110. – DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-4-93-110.
20. Иванов Л.А., Муминова С.Р. Новые технические решения в области нанотехнологий. Часть 5 // Нанотехнологии в строительстве. – 2016. – Том 8, № 6. – С. 65–82. – DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2016-8-6-65-82.
21. Иванов Л.А., Муминова С.Р. Нанотехнологии и наноматериалы: обзор новых изобретений. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – Том 9, № 1. – С. 88–106. – DOI: dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-1-88-106.



УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

**При использовании материала данной статьи
просим делать библиографическую ссылку на неё:**

Юдин П.Е., Абуталипова Е.М., Петров С.С., Максимук А.В., Мугаллимов Ф.М. Методика расчета концентраций CO₂ и H₂S в жидкой фазе // Нанотехнологии в строительстве. – 2017. – Том 9, № 4. – С. 116–130. – DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-116-130](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-116-130).

DEAR COLLEAGUES!

THE REFERENCE TO THIS PAPER HAS THE FOLLOWING CITATION FORMAT:

Yudin P.E., Abutalipova E.M., Petrov S.S., Maksimuk A.V., Mugallimov F.M. The method to calculate concentration of CO₂ and H₂S in the liquid phase. Nanotehnologii v stroitel'stve = Nanotechnologies in Construction. 2017, Vol. 9, no. 4, pp. 116–130. DOI: [dx.doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-116-130](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2017-9-4-116-130). (In Russian).

