

**BORU KƏMƏRLƏRİNDƏ QAZIN NƏQLİNDƏ FAZA ÇEVRİLMƏLƏRİ VƏ YARANAN FƏSADLARIN ARADAN QALDIRILMASI ÜSULLARI****Züleyxa Süleyman qızı Sadıqova**

Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin

Riyaziyyat və Mexanika İnstitutu

E-mail: sadigova.zuleykha@gmail.com

Neft və qaz sənayesinin istismar və hasilat şirkətlərinin aktual problemlərindən biri boru kəmərlərində qazın hasilatı və nəqli sistemlərində maye yığılmaları və hidrat əmələ gəlmələri, eləcə də onların ortaya çıxartdığı fəsadların aradan qaldırılmasıdır. Qazın toplanması, və nəqli sistemlərində fəsadların boru kəmərinin ətraf mühitlə istilik mübadiləsi, termobarik şəraitdə qaz axınlarında yığılmalar, qaz-maye aralarında faza keçidləri kimi proseslərin birgə təzahürlərindən yaranması və onların qarşısının alınması üçün mövcud üsullar tədqiq olunmuşdur. Tədqiqatlar zamanı qaz-boru kəmərlərinin istismarı zamanı baş verən proseslərin kompleks təsirləri nəzərə alınaraq, hidrat əmələ gəlməsinə təsir edən barodinamik amillər və qazın komponent tərkibi qiymətləndirilmişdir. Qaz kəmərinə yarana biləcək yığılmaların aradan qaldırılması məqsədilə xüsusi hazırlanmış texnologiya həll təklif edilmişdir.

Açar sözlər: qaz axınlarında yığılmalar, barodinamik amillər, qaz hidratlar, istilikkeçirmə tənliyi

GİRİŞ

Qaz boru kəmərlərinin istismarı zamanı ən vacib problemlərdən biri boruda maye yığılmaları və qaz hidratlarının əmələ gəlməsidir. Boruların daxilində yığılan maye və yaranan hidratlar onların ötürmə qabiliyyətini kəskin şəkildə azaldır və qaz kəmərinin hətta bağlanmasına səbəb olur. Qaz hasilatı və sonrakı nəqliyyat sistemlərində maye və hidrat əmələ gəlməsinin qarşısının alınması və idarə olunması üçün əməliyyat xərclərinin azaldılması neft və qaz sənayesinin hasilat və istismar şirkətləri üçün aktual problemdir. Klatrat hidratlar su və təbii qazın stoikiometrik olmayan qarışıqlarıdır ki, burada qaz molekulları su molekullarından ibarət çoxbucaqlı kristal quruluşda kilidlənir [4, 14].

Laylardan çıxan qaz su ilə doymuş vəziyyətdə quyu ağzına çatdığından təbii qaz boru kəmərləri həmişə müəyyən qədər nəmliyə malik olur [1-4]. Soyuq mövsümdə torpağın və ya suyun temperaturu aşağı olur, bu da boru kəmərinə daxil olan qazın temperaturunun azalmasına səbəb olur. Qazın temperaturu müvafiq suyun şəh nöqtəsinin doyma temperaturundan aşağı düşərsə, su buxarı kondensasiya etməyə başlayacaq. Boru kəmərinin daha düz hissələrində, ağırlıq qüvvəsinin təsiri altında borunun dibində maye yığılmağa başlayır. Boru kəmərinin eniş hissələrinin dibində yığılma arta bilər. Nəmlik qazın tərkibindən, qazın termodinamik tarazlıqda olduğu kondensasiya edilmiş suyun təzyiqindən, temperaturundan və fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərindən asılıdır. Qazın tərkibindəki müəyyən su miqdarı üçün qazın su buxarı ilə tam doyduğu temperatura verilən təzyiqdə qazın suyun şəh nöqtəsi temperaturu deyilir.

Verilmiş təzyiq və temperaturda qazın nəmliyi aşağıdakı ifadə ilə hesablanır [2]:

$$W_{T_{\text{зад}}} = (A / P_{\text{зад}} + B) C_{\text{cp}}$$

Burada, A və B temperaturdan asılı əmsallardır.

Qeyd etmək lazımdır ki, təzyiqin azalması və temperaturun artması ilə qazda su buxarının miqdarı maksimum artır. Boru kəmərinə qaz daxil olarsa, tərkibindəki suyun miqdarı onun nəqli şərtlərinə uyğun olaraq (təzyiq və temperaturun dəyişməsi), qazın temperaturu şəh nöqtəsindən aşağı düşmür və o zaman nəm damcıları ayrılır. Əgər şəh nöqtəsi qaz boru kəmərinə daxil olan qazın soyuya biləcəyi temperaturdan



yüksək olarsa, yəni bu mühitin temperaturuna yaxınlaşırsa, belə qaz kəmərinə su kondensasiya ediləcəkdir [2, 9]. Burada su molekulları qaz molekullarının ətrafında nizamlı şəkildə düzülür və bununla da onları tutaraq qaz hidratları əmələ gətirir. Su buxarı bir fazalı doymuş vəziyyətdədirsə (yəni qaz və maye su arasında heç bir əlaqə yoxdur), hidratın əmələ gəlməsi mexanizmi bir qədər fərqlidir. Kondensasiya öncəsi dövrdə su buxarı da buz kimi bir quruluşun zəncirlərindən və hüceyrələrindən ibarət qruplara çevrilir. Müvafiq termodinamik şəraitdə su qrupları qaz molekulları və bir-biri ilə sabit əlaqəyə girərək, kristallaşma nüvələrinin əsasını təşkil edir, onun ətrafında kristallaşma nüvələri əmələ gəlir və hidrat böyüyür. Hidrat nüvələr əsasında inkişaf edir [15, 16, 17]. Hidrat kristallarının böyümə sürəti əhəmiyyətli dərəcədə sərbəst qaz-su təmas səthinin yaranma sürətindən, yəni qaz-su axınının turbuləntlik dərəcəsindən asılıdır [11, 13, 14]. Qaz hidratları yüksək təzyiqlərdə suyun donma nöqtəsindən xeyli yuxarıda əmələ gələ bilər. Qaz kəmərlərində hidratların əmələ gəlməsinə səbəb olan hadisələrin ardıcılığına su buxarının kondensasiyası, boru kəmərinin aşağı hissələrində suyun toplanması, hidrat hissəciklərinin nüvələşməsi və böyüməsi daxildir ki, bu da son nəticədə boru kəmərinin tıxanmasına gətirib çıxarır [16, 19]. Bununla belə, müxtəlif tədqiqatçılar hidrat əmələ gəlməsinin müxtəlif aspektlərinə diqqət yetirmişlər. Bishnoi və başqaları [4] qaz hidratının əmələ gəlməsi və parçalanmasının kinetikasını konseptual səviyyədə təqdim edərək, hidratın əmələ gəlməsinin və böyüməsinin müxtəlif mərhələlərini vurğulamışdır. [16] müəllifləri müxtəlif tədqiqatçıların modelləşdirmə söylərini araşdıraraq, hidratların əmələ gəlməsinin kinetikasına dair işlərin tənqidi icmalını təqdim etmişlər. Sənaye miqyasında hidratların əmələ gəlməsi üçün real şərtləri simulyasiya etmək üçün müəlliflər bir çox təcrübələr həyata keçirmişlər [9, 12].

MATERIAL VƏ METODLAR

Polad borunun divarlarında suyun yığılması və qaz hidratlarının əmələ gəlməsi prosesi yalnız onun daxili səthinin soyuması hesabına baş verir. Boru divarında və hidrat təbəqəsində istilik ötürmə proseslərini silindrik koordinat sistemində yazılmış sabit əmsallı istilikkeçirmə tənliyi ilə təsvir edilir [5]:

$$r \frac{\partial T}{\partial t} + r v_r \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{r \lambda}{\rho c_p} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (1)$$

burada t - vaxt, r - boru oxundan ölçülən radial koordinat, λ - istilik keçiricilik əmsalı, ρ - sıxlıq, c_p - xüsusi istilik tutumu, T - temperatur, v_r - hərəkət sürəti.

Zamanın ilkin anında divar temperaturu sabit və qaz axınının temperaturuna bərabər qəbul etsək:

$$T_{t=0} = T_0 \quad (2)$$

Borunun xarici səthində 1-3-cü növ sərhəd şərtləri qoyulur və ümumiləşdirilmiş formada belə yazılır:

$$\alpha_w \left(r \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \beta_w T|_{r=r_w} = f_w \quad (3)$$

Xüsusilə, boru kəməri torpaqda və ya suda olarsa, 1-ci növ sərhəd şərtləri təyin olunur:

$$\alpha_w = 0, \quad \beta_w = 1, \quad f_w = T_w \quad (4)$$

"Boru - hidrat təbəqəsi"-nin təmas sərhədində kontakt şərtləri təyin olunur (istilik axınının və temperaturun bərabərliyi):

$$\lambda_i \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=x_i-0} = \lambda_{i+1} \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=x_i+0}$$

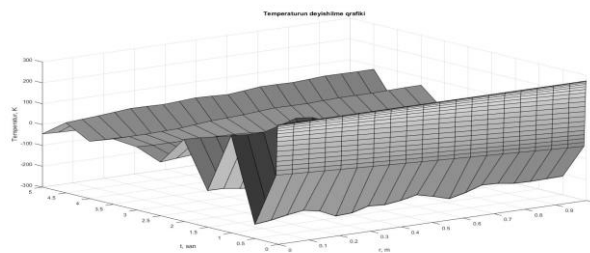
$$T \Big|_{x=x_i-0} = T \Big|_{x=x_i+0}, \quad i = \overline{1, N-1} \quad (5)$$

Hidrat qatının səthində 1-ci növ şərt qoyulur və hidrat qatının sərhədinin hərəkət sürəti Stefanın nisbətindən müəyyən edilir.

$$T \Big|_{r=r_c} = T_e, \quad v_g = - \frac{\lambda_g}{\rho_g Q_g} \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_c} \quad (6)$$

Burada $v_g, \lambda_g, \rho_g, Q_g$ hidrat əmələ gəlməsinin xətti sürəti, hidratların istilik keçiricilik əmsalı, hidratların sıxlığı və hidrat əmələ gəlməsinin xüsusi istiliyidir. "w", "e" indeksləri borunun xarici səthini və qaz hidratlarının daxili təbəqəsini müəyyən edir.

Aşağıda göstərilən verilənlərə görə, $v_r = 10 \text{ m/san}$, $r = 0.55 \text{ m}$, $\rho = 0.4 \text{ kq/m}^3$, $c_p = 2483 \text{ J/kq} \cdot \text{K}$, $\lambda = 0.0307 \text{ Wt/m} \cdot \text{K}$, həmçinin zamanın $t = 0; 0.5; 1; 1.5; \dots \text{ san}$ anları üçün şəkil 1-də üç ölçülü təsvir qrafik qurulmuşdur.



Şəkil 1. Temperaturun radial istiqamətində və zamandan asılı olaraq dəyişilməsi (üç ölçülü halda)

Suyun yığılması və hidrat əmələ gəlməsi səbəbindən qazın qaz boru kəmərləri ilə, xüsusən də mühitin axın sürətinin yüksək olduğu ərazilərdə daşınması çətinləşir. Bu çöküntülər magistral qaz kəmərlərinin və qaz yataqlarının istismarı zamanı böyük qəzaların baş verməsinə səbəb olduğundan, bu fəsadların nisbətən az xərclə qarşısının alınması məsələləri hazırda aktual məsələlərdəndir [6, 7, 10].

NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

Hal-hazırda uzunmüddətli istismarda olan qaz boru kəmərləri karbohidrogen kondensatının sulu məhlullarında olan aqressiv komponentlərin (H_2S , CO_2 , O_2 və s.) təsiri altında daim daxili korroziyaya məruz qalır [8, 19]. Bundan əlavə su ilə karbohidrogen qazların birləşməsindən əmələ gələn hidratlar qeyri-sabit birləşmələri nəticəsində boru kəmərlərinin tıxanmasına gətirib çıxarır. Hidratların əmələ gəlməsinə təsir edən texnoloji şərtlərə aşağıdakılar daxil etmək olar: a) boru kəmərinin səmərəsiz təmizlənməsi; b) boru kəmərinin müxtəlif relyefə malik hissələrində yığılmış mayedən daimi çıxarılması; c) magistral boru kəmərinə verilməzdən əvvəl qazın natamam təmizlənməsi.

Buna görə də, qaz nəmliliyinin azaldılması və yığılan mayenin, qaz kəmərlərindən çıxarılaraq, qazın təhlükəsizlik şərtlərinə uyğun olaraq istehlakçılara çatdırılması əsas məsələlərdəndir.

Son zamanlarda qaz boru kəmərlərinin daxili boşluğunun müxtəlif konstruksiyalı və iş prinsiplərinə malik təmizləyici qurğuların köməyi ilə təmizlənməsi texnologiyası üstünlük təşkil edir [7, 11, 18]. Qaz boru kəmərlərinin təmizlənməsinin texnoloji prosesi işini dayandırmadan

həyata keçirmək üçün xüsusi qəbul kameraları, signal sistemi, utilizasiya çənləri, texnoloji boru kəmərləri və digər avadanlıqlar qurulur. Boru kəmərlərinin kəsişməsinin dəyişkənliyi, əyilmələrin, yerüstü çıxışların olması xüsusi konstruksiyalı möhkəm sistemlərin istifadəsini məhdudlaşdırır.

Fövqəladə hallar riskini azaltmaq və qaz kəmərlərinin nəqli qabiliyyətini tənzimləmək üçün müxtəlif üsullardan istifadə olunur.

Bu vəziyyətdə ən sadə üsul kimi borunun açıq hissəsindən təzyiq altında qaz vurmaqla qaz kəmərlərindən yığılan suyun dövrü olaraq təmizlənməsi ola bilər. Burada böyük təzyiq düşküsi nəticəsində yüksək sürətli qaz axını müəyyən müddət ərzində sıxışdırmanı həyata keçirir. Uzun sahələri təmizləyərkən, təmizləmə prosesinin səmərəliliyi eyni olmur. Axın sürətinin sona nisbətən daha yavaş olduğu sahənin əvvəlində çöküntülərin çıxarılması daha az olacaqdır. Bu üsulun mənfə cəhəti böyük həcmdə qaz itkisi və ətraf mühitin çirklənməsidir.

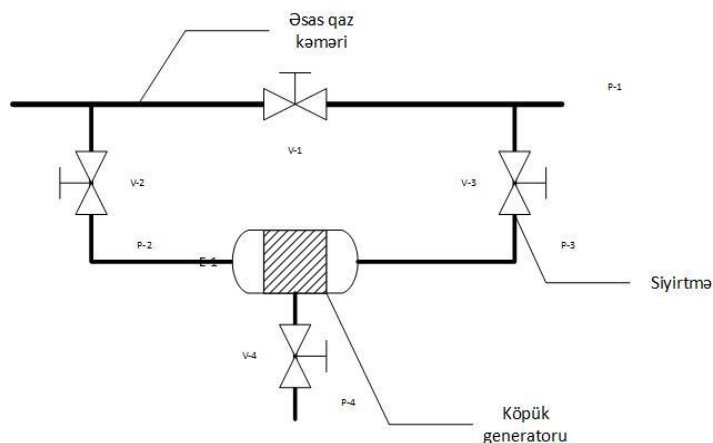
Məlumdur ki, təmizləmə səmərəliliyi həm də çirklənmənin təbiətindən, termoqazdinamik şəraitdən və müxtəlif konstruksiyalı təmizləyici qurğulardan istifadə etməklə qaz kəmərlərinin texnoloji təmizlənməsindən asılıdır.

Bu baxımdan son illər neft sənayesində səthi aktiv maddələrdən geniş istifadə olunur.

Həqiqətən, qaz kəmərindeki maye daxilolmalarını əhatə edən səthi aktiv maddələr onlara elastik xüsusiyyətlər verir ki, bu da boru kəmərinə su çəkicinin qarşısını alır.

Köpük strukturunun əmələ gəlməsinin tətbiqi problemlərində səthi aktiv maddələrin tətbiq edilməsi üçün xüsusi hazırlanmış köpük generatorlarından istifadə olunur [9]. Yarandığı sistemdə təzyiqin artması ilə köpüyün genişlənmə sürəti azalır və sabitlik artır. Qapalı sistemdə 6,0 MPa-ya bərabər olan qaz təzyiqində sistemin köpüyünün dayanıqlığı atmosfer şəraitində alınan köpüyün dayanıqlığı ilə müqayisədə 5 dəfədən çox artır [11-13].

İşdə mayelərdə elastiki xüsusiyyət yaradan üsul kimi yeni köpük yaratma üsulu təklif olunmuşdur. Pulsasiyaların və suyun qazla qarışığının qarşısını almaq, və həmçinin boru kəmərlərini yığılmalardan təmizlənməsini təmin etmək üçün magistral qaz kəmərinə köpük yaratmaq üçün bərk səthi aktiv maddə olan xüsusi köpükləndirici qurğunun quraşdırılması təklif olunur. Bu qurğu sxematik olaraq, şəkil 2-də qeyd olunmuşdur.



Şəkil 2. Yüksək təzyiqli köpük generatorunun sxematik təsviri

Bərk səthi aktiv maddə yerləşdirilmiş xüsusi qurğudan keçən qaz və maye qarışığı köpük əmələ gətirməklə axın istiqamətində boru kəmərinə daxil olur.

Nəzərdən keçirilən yanşma ixtiyarı mürəkkəb və sürətli dəyişikliklə axan qazın fəsadsız əldə olunmasına imkan verə bilər.



YEKUN NƏTİCƏ

Termobarik şəraitdə qaz axınlarında faza keçidlərinin birgə təzahürlərindən yaranan maye yığılmaları və hidrat əmələgəlmələri təhlil olunmuşdur.

Tədqiqatlar zamanı qaz boru kəmərlərinin istismarı zamanı baş verən proseslərin kompleks təsirləri nəzərə alınaraq, hidrat əmələ gəlməsinə təsir edən barodinamik amillər və qazın komponent tərkibi qiymətləndirilmişdir.

Qaz kəmərinde yığılmalarla əlaqədar yarana biləcək fəsadların aradan qaldırılmasını təmin etmək üçün xüsusi texnoloji həll təklif edilmişdir.

ƏDƏBİYYAT

1. Балыбердина, И. Физические методы переработки и использования газа / И. Балыбердина. - Москва: Недра, – 1988. - 248 с.
2. Комилов, М.З. Определение влагосодержания газа // – Москва: Наука, техника и образование, – 2016. № 2, – с. 14-16.
3. Манделъштам, Л.И., Леонтович, М.А. К теории поглощения звука в жидкостях // – Москва: ЖТЭФ, – 1937. №3, – с. 432-449.
4. Шагапов, В.Ш., Уразов, Р.Р. Характеристики газопровода при наличии гидратоотложений // Теплофизика высоких температур, – 2004. № 3, – с. 461-468.
5. Шайдаков, В.В. Математическая модель процесса гидратообразования в трубопроводе малого диаметра в квази статическом приближении / В.В.Шайдаков, А.Л.Сухоносов, А.Р.Людвиницкая [и др.] // Экспозиция Нефть Газ, – Москва: – 2015. №4, – с. 34-37.
6. Шаммазов, А.М., Байков, В.А., Субаев, И.У. Нелинейные эффекты при транспорте газонефтяных систем по трубам // Изв. ВУЗов, сер. «Нефть и газ», АЗИНЕФТЕХИМ, – 1985. – с. 70-74.
7. Шахвердиев, А.Х. Эффективность вязкоупругих композиций в сложных технологических операциях / А.Х.Шахвердиев, Г.М.Панахов, И.Э.Мандрик [и др.] // Изобретения и инновации в нефтегазовой промышленности, – 2005. № 6, – с. 55-61.
8. Al Harooni, K.M., Barifcani, A., Pack, D., Iglauder, S. Evaluation of Different Hydrate Prediction Software and Impact of Different MEG Products on Gas Hydrate Formation and Inhibition // Offshore Technology Conference. Kuala Lumpur, Malaysia, – 2016.
9. Englezos, P. Kinetics of gas hydrate formation from mixtures of methane and ethane / P. Englezos, N. Kalogerakis, P.D. Dholabhai [et al.] // Chemical Engineering Science, – 1987. №11, – p. 2659-2666.
10. Cavallini, A. Condensation inside and outside smooth and enhanced tubes - a review of recent research / A. Cavallini, G. Censi, D. Del Col [et al.] // International Journal of Refrigeration, – 2003. №4, – p. 373-392.
11. <https://310.032033.10.1088/1755-1315/310/3/032033>.
12. Hankinson, Risdon W., Thomas W. Schmidt. Phase Behavior and Dense Phase Design Concepts for Application to the Supercritical Fluid Pipeline System // Paper presented at the European Petroleum Conference. London, United Kingdom, – 1982.
13. He, G. Gas-Liquid Stratified Flow in Pipeline with Phase Change / G.He, Y.Li, B.Wang [et al.] // Heat Transfer-Models, Methods and Applications, – 2018.
14. Schouten, A.J. Condensation in gas transmission pipelines / J.A.Schouten, R.Janssen-van, J.P.J.Michels [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy, – 2005. №6, – p. 661-668.
15. Zheng, L. A New Model of and Insight into Hydrate Film Lateral Growth along the Gas-Liquid Interface Considering Natural Convection Heat Transfer / L. Zheng, L.Hao, C.Litao [et al.] // Energy & Fuels, – 2018. №2, – p. 2053-2063.



16. Ribeiro, Jr.C.P & Lage, P.L.C. Modelling of hydrate formation kinetics: State-of-the-art and future directions // Chemical Engineering Science, – 2008. №8, – p. 2007-2034.
17. Simon, R.D. Predicting hydrate plug formation in oil-dominated flowlines / R.D. Simon, A.B.John, E.D.Laura [et al.] // Journal of Petroleum Science and Engineering, – Elsevier: – 2010. №4, – p. 302-309.
18. Schouten, J.A. Effect of H₂-injection on the thermodynamic and transportation properties of natural gas / J.A.Schouten, J.P.J.Michels, R.Janssen-van Rosmalen [et al.] // International Journal of Hydrogen Energy, – Elsevier: – 2004. №29, – p. 1173-1180.
19. <https://doi.org/10.1016/j.drill.2017.03.001>.

PHASE TRANSFORMATIONS IN GAS TRANSPORT IN PIPELINES AND METHODS TO ELIMINATE THE PROBLEMS ARISING

Z.S. Sadygova

One of the actual problems of the exploitation and production companies of the oil and gas industry is liquid accumulation and hydrate formation in the gas production and transportation systems in the pipelines, as well as the elimination of the complications caused by them. The methods for preventing the complications arising in the gas collection and transportation systems, related to the processes of heat exchange of the pipeline with the environment, changes in the thermobaric conditions during the flow, phase transitions between gas and liquid have been investigated existing methods. In the course of studies, taking into account the complex impact of processes occurring during the operation of gas pipelines, barodynamic factors affecting hydrate formation and the component composition of the gas were evaluated. A specially developed technological solution was proposed to eliminate accumulations formed in the gas pipeline.

Keywords: *accumulations in gas flows, barodynamic factors, gas hydrates, heat transfer equation.*

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ ТРАНСПОРТЕ ГАЗА ПО ТРУБОПРОВОДАМ И СПОСОБЫ УСТРАНЕНИЯ ВОЗНИКАЮЩИХ ПРОБЛЕМ

З.С. Садыгова

Одной из актуальных проблем эксплуатирующих и добывающих предприятий нефтегазовой отрасли является накопление жидкости и гидратообразование в системах добычи и транспорта газа в трубопроводах, а также устранение вызванных ими осложнений. Исследованы существующие методы предупреждения возникновения осложнений, возникающих в системах сбора и транспортировки газа, связанных с процессами теплообмена трубопровода с окружающей средой, изменения термобарических условиях при течении, фазовых переходов между газом и жидкостью. В ходе исследований, учитывающих комплексное воздействие процессов, происходящих при эксплуатации газопроводов, оценивались бародинамические факторы, влияющие на гидратообразование и компонентный состав газа. Было предложено специально разработанное технологическое решение для устранения накоплений, образующихся в газопроводе.

Ключевые слова: *скопления в газовых потоках, бародинамические факторы, газовые гидраты, уравнение теплопереноса.*