

noise properties of photo-receiving equipment, is one of defining efficiency of all communication system.

At simulation optical radiation quantum data link losses with absorption and scattering of radiation were taken into an account. Also, situation with presence in the channel of intercepting agent was modelled. Thus two situations were researched:

1) Interception and generation by the malefactor of all photons for optical impulse duration. The given situation allows to model real communication systems.

2) Selection of only one photon for impulse duration. This situation allows to estimate quantum cryptography efficiency protocol at malefactor with the ideal equipment, permitting to realize unauthorized data access presence.

Thus, spent researches allowed to estimate efficiency of quantum cryptography protocol BB84 at polarizing modulation usage.

The bibliographic list:

1. Radio-electronic technologies of information safety: Collection of scientific articles / Under. edition. K.E.Rumjantseva. - Taganrog: TSURE, 2002. - With. 145-155.

ANALYSIS of KEY SEQUENCE METHODS CREATION In MULTI-USER QUANTUM COMPUTER NETWORKS

Khairov I.Ye., Rumyantsev K.Ye.,
Novikov V.V., Trotsuk E.V.

*Taganrog State University of Radioengineering,
Taganrog*

The rough development of quantum computers and the technologies connected to them in the recent times reduced to appearance of some revolutionary achievements, capable significantly speed up scientific and technical progress. The quantum cryptography concerns to such an achievements.

Key generation by quantum cryptography methods is carried out immediately during transmission of single photons on a data link. Reliability of these methods is founded on fundamental laws of quantum physics firmness.

Quantum cryptography systems originally were used for communication of separate pairs users. However development and research of similar methods for communication of a great many of users is actual. Researches in the given direction are actively carried on both foreign and domestic centres of science.

As researches have shown known methods of private key allocation use tree-like topology of the network or ring with necessity of additional channels of information interchange usage. In particular, methods of quantum cryptography can be used at passive optical network construction containing the central network controller, connected by a passive optical beam splitter with set of network users. In this scheme quantum behaviour of an optical beam splitter is used. Accordingly, each user will be provided with a unique arbitrary selected bits subset.

Other quantum-cryptography system contains a quantum link with a set of sites including transmitting and

reception units, connected with a quantum data link. Transmitting unit generates the light signal representing a sequence of photons, for allocation through the quantum channel. Receiver of the message accepts the light signal radiated by the transmitter and measures quantum statuses of this signal. The given method of optical network organization uses ring topology; however its main virtue is that each of users may be the initiator of data exchange.

Thus, private key allocation method development problem between a great many sequentially located users without additional channels of information interchange is actual. In the work new method of optical network organization in which there is an allocation of private key with usage of quantum cryptography is offered. The given method is based on a principle measurement - repeated sending off and applicable in systems with modulation on polarization.

Researches also showed, that at immediate usage of given method, exchange process of is characterized by the big percent of errors. However, with introduction to the considered network of subsystem synchronization between polarizing analyzers of users, given method will correspond to protocols used for data exchange between several users.

The given optical network of private key allocation by methods of quantum cryptography can also be applied to network with ring topology.

Main problem of practical implementation of the similar optical network is support of exact synchronization of polarizing analyzers turns of great many sequentially the located users. As the probability of polarized photon passing through the analyzer is proportional to cosine of a corner between direction of polarization and an axis of the analyzer, inaccuracy of synchronization may make units of degrees.

ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ МЕТАНА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕРМО-ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГОРНОГО МАССИВА

Беспятов Г.А.

*Кузбасский Государственный Университет,
Кемерово*

Для построения математической модели фазовых превращений метана примем во внимание, что образование метана в период накопления торфяника и постепенного погребения его под наносы последующих отложений происходило при температурах 150-300°C, когда сорбционная способность угля была близка к нулю. В дальнейшем, в процессе инверсии и понижения температуры, часть метана сорбировалась углем, часть оставалась в свободном состоянии как в трещинах и микропорах угля, так и в коллекторах вмещающих пород. Дальнейшее изменение термодинамических параметров угленосной толщи влекло за собой переход свободного газа в гидратированное состояние. Образование гидратов метана происходит либо при низких температурах ($t=12-14$ °C) при $P=10$ МПа, либо при высоком гидростатическом давлении, большем чем в современных условиях. Например, для равновесного состояния гидрата метана [1]

$$P^* = 1,415 + 0,0417[(T^* - 273,16) + 0,01(T^* - 273,16)^2]. \quad (1)$$

Образование гидратов в пористой среде при наличии центров кристаллизации имеет объемно-диффузионный характер. Одним из основных факторов, определяющих условия существования плотных гидратов в пористой среде, является упругость газа в водном растворе, находящемся в контакте с гидратом ρ_w и в гидрате ρ_H при заданной температуре. Величина ρ_H определяется составом гидрата и его температурой. Параметр ρ_w зависит от растворимости газа в воде при заданных давлении и температуре [2].

Условием существования гидрата является $\rho_w \geq \rho_H$. Растворимость газа в воде, находящейся в контакте с гидратом, всегда ниже, чем в отсутствии гидрата [2].

Степень газонасыщенности водного раствора, контактирующего с гидратом, определяется диффузионными потоками газа:

а) потоком рассеяния в вышележащих горизонтах или в омывающие воды (D_1);

б) потоком из нижележащих пластов (D_2).

Гидрат не будет диссоциировать при $D_2 \geq D_1$. Из этого условия следует, что чем глубже гидросодержащие породы, чем меньше и однороднее поры, тем ниже D_1 , а следовательно, тем выше возможность сохранения гидрата.

При изменении горнотехнических условий происходит понижение давления газа ниже давления разложения гидрата при существующей пластовой температуре, т.е. ρ_w становится меньше ρ_H ($\rho_w < \rho_H$), что вызывает диссоциацию гидратной фазы, т.е. газ переходит в свободное состояние и существенно изменяет газодинамику угленосной среды.

Для построения математической модели фазовых переходов метана выделим элементарный объем горного массива V , ограниченный поверхностью Γ . Будем предполагать, что в этом объеме газ находится в трехфазном состоянии (свободном, сорбированном и гидратном). Тогда масса газа, заключенного в этом объеме, в момент времени t будет равен

$$\int_{(V)} \rho_i(r,t) dV \quad (2)$$

где ρ_i – плотность газа в каждой фазе, $r(x_1, x_2, x_3)$ – радиус-вектор элемента объема dV .

В процессе движения из объема V через его границу Γ в единицу времени вытекает количество свободного газа, равное

$$\oint_{(\Gamma)} \rho_1 \cdot (V, n) d\Gamma \quad (3)$$

где ρ_1 – плотность свободного газа,

n – единичный вектор внешней нормали к поверхности Γ .

Тогда баланс газа за время dt будет

$$\int_{(V)} [\rho_i(r, t_2) - \rho_i(r, t_1)] dV + \oint_{(\Gamma)} \rho_1 \cdot (V, n) d\Gamma = 0. \quad (4)$$

Для течений, не имеющих сильных разрывов, интегральные уравнения заменим дифференциальными,

описывающими процесс фазового перехода метана. Понижение давления до величины разложения гидрата определило подвижную границу диссоциации газа $\xi(t)$.

В зоне I ($0 \leq x \leq \xi(t)$) произошла десорбция газа и закончилось разложение гидрата и газ перешел в свободное состояние. В зоне II ($\xi(t) \leq x < \infty$) процесс диссоциации еще не наступил и гидратная фаза сохраняется.

В одномерном случае процесс диссоциации описывается следующей краевой задачей:

$$t < t_1, \quad \begin{cases} D \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + U \frac{\partial H}{\partial x} = m \frac{\partial H}{\partial t}, \\ D \frac{\partial H(0,t)}{\partial x} + UH(0,t) = 0, \\ H(\xi, t) = H_1. \end{cases} \quad (5)$$

$$t \geq t_1, x < \xi(t), \quad \begin{cases} D \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + U \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\partial b}{\partial t} = m \frac{\partial H}{\partial t}, \\ \frac{\partial b}{\partial t} = -\gamma(H_* - H_{(+)}) \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \xi(t) < x < \infty, \\ D \frac{\partial^2 H_{(-)}}{\partial x^2} + U \frac{\partial H_{(-)}}{\partial x} = m \frac{\partial H_{(-)}}{\partial t}, \\ \xi(t_1) = 0, \\ D \frac{\partial H_{(+)}(0,t)}{\partial x} + UH_{(+)}(0,t) = 0, \\ H_{\pm}(\xi, t) = \xi(t_1), \\ \frac{\partial H_{(+)}(S(t_1), t)}{\partial x} = \frac{\partial H_{(-)}(\xi(t_1), t)}{\partial x}, \\ b(\xi(t_1), t) = 0, \\ H_{(-)}(x, t_1) = H_{(+)}(x, t_1), \\ H(x, 0) = H_0. \end{cases} \quad (7)$$

Здесь $H_{\pm} = \rho RT$ соответственно в зонах диссоциации и гидратирования,

$D = \lambda U$ – коэффициент конвективной диффузии, $m^2/\text{сутки}$;

λ – параметр дисперсии, M ;

$\gamma = \eta U$ – коэффициент гидратирования (диссоциации), сутки^{-1} ;

η – константа скорости гидратирования, m^{-1} ;

t_1 – время окончания первой стадии, сутки .

Введем безразмерные координаты

$$Q = \frac{H}{H_1}, \quad n = \frac{b}{mH_1}, \quad z = \eta x, \quad \tau = \quad (8)$$

$$= \frac{\eta}{m} \int_0^t U(x) dx, \quad h = \eta \xi, \quad \text{где } \varepsilon = \lambda \eta.$$

1. Рассмотрим стадию диссоциации газа в зоне $0 \leq x \leq \xi(t)$, $t < t_1$. Задача (5) в

обозначениях (8) принимает вид

$$\begin{cases} \varepsilon \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial \theta}{\partial \tau}, \\ \varepsilon \frac{\partial \theta(0, \tau)}{\partial z} + \theta(0, \tau) = \theta_1, \\ \theta(z, 0) = \theta_0(z). \end{cases} \quad (9)$$

Решение задачи (9) в виде составного разложения по степеням ε имеет вид [3]

$$\theta(z, \tau) = \sum_{i=0}^{\infty} \varepsilon^{(i)} a_i(z, \tau) + \frac{1}{\varepsilon} \exp\left(-\frac{z}{\varepsilon}\right) \sum_{i=0}^{\infty} \varepsilon^{(i)} k_i(z, \tau). \quad (10)$$

Подставляя (10) в (9) и приравнявая члены при одинаковых степенях ε , получим

$$\frac{\partial a_0}{\partial \tau} - \frac{\partial a_0}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial a_i}{\partial \tau} - \frac{\partial a_i}{\partial z} = \frac{\partial^2 a_{i-1}}{\partial z^2}. \quad (11)$$

$$\frac{\partial k_0}{\partial \tau} + \frac{\partial k_0}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial k_i}{\partial \tau} + \frac{\partial k_i}{\partial z} = \frac{\partial^2 k_{i-1}}{\partial z^2}. \quad (12)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial k_0(0, \tau)}{\partial z} + a_0(0, \tau) = 0, \\ \frac{\partial k_i(0, \tau)}{\partial z} + a_i(0, \tau) = -\frac{\partial a_{i-1}(0, \tau)}{\partial z}, \\ k_{i-1}(z, 0) = 0, \\ k_{i-1}(h, \tau) = 0. \end{cases} \quad (13)$$

$$\begin{cases} a_0(z, 0) = \theta_0(z), \\ a_i(z, 0) = 0, \\ a_0(h, \tau) = \theta_1, \\ a_i(h, \tau) = 0 \quad (i = 1, 2, 3, \dots) \end{cases} \quad (14)$$

Решая (11)-(14) методом характеристик, найдем

$$\begin{cases} a_0 = \begin{cases} \theta_1 & (h - \tau \leq z < h) \\ \theta_0(z + \tau) & (0 \leq z < h - \tau), a_i = 0 \end{cases} \\ k_0 = \begin{cases} \int_0^{\tau-z} \theta_0(z) dz & (z \leq t) \\ 0 & (z > t). \end{cases} \end{cases} \quad (15)$$

Если $\theta_0(z) = \theta_0 = const$, то $k_i = 0$. При $\theta_0(z) \neq const$ функция $k_i(z, \tau)$ определяется из (12), (13) при конкретном задании функции $\theta_0(z)$.

Так как $\theta_1 > \theta_0(h)$, то на характеристике $z = h - \tau$ функция $a_0(z, \tau)$ терпит разрыв, т.е. разложение решения задачи (11) в виде (12) справедливо всюду, за исключением окрестности характеристики

$\xi = h - \tau$. В работе [3] приведено решение данной задачи в виде

$$\theta(\mu, \tau) = \theta_1 - \frac{1}{2}(\theta_1 - \theta_0(h)) \operatorname{erf} \varphi_0, \quad (16)$$

где $\mu = \frac{(z + \tau - h)}{\sqrt{\varepsilon}}$, $\varphi_0 = \frac{(z + \tau - h)}{2\sqrt{\tau\varepsilon}}$.

Общее решение, справедливое во всей области фазовых превращений метана, можно получить методом аддитивного составления [3]

$$\theta(z, \tau) = \begin{cases} \theta_0(z + \tau) + \frac{1}{\varepsilon} \exp\left(-\frac{z}{\varepsilon}\right) \int_0^{\tau-z} \theta_0(z) dz & (z < \tau) \\ \theta_0(z + \tau) + 0,5[\theta_1 - \theta_0(h)] \operatorname{erfc}(-\varphi_0) & (\tau < z < h - \tau) \\ \theta_1 - 0,5[\theta_1 - \theta_0(h)] \operatorname{erfc} \varphi_0. & (h - \tau < z \leq h) \end{cases} \quad (17)$$

Формула (17) справедлива при $\frac{dh}{d\tau} < 1$.

При $\theta_0(z) = \theta_0 = const$ и $h \rightarrow \infty$ из (17) имеем

$$\theta = \theta_0 \left[1 + \frac{(\tau - z)}{\varepsilon} \exp\left(-\frac{z}{\varepsilon}\right) \right] \quad (z \leq \tau), \quad \theta = \theta_0 \quad (z > \tau) \quad (18)$$

При этих условиях точное решение задачи (11) получено в виде

$$\frac{\theta}{\theta_0} = 1 + 0,5 \exp\left(-\frac{z}{\varepsilon}\right) \left[4i^2 \operatorname{erfc} \varphi_2 + 2\varphi_1 i \operatorname{erfc} \varphi_2 - \exp\left(\frac{z}{\varepsilon}\right) \operatorname{erfc} \varphi_1 \right]. \quad (19)$$

Незначительное различие точного (19) и приближенного решения (18) указывает на эффективность приближенных методов для решения данной задачи.

Из анализа полученного решения можно определить подвижную границу диссоциации газа $\xi(t)$. Граница $\xi(t)$ движется противоположно направлению фильтрации. При большой скорости ведения горных работ граница $\xi(t)$ может приближаться к кромке пласта. Для приблизительной оценки величины $\xi(t)$ предположим, что давление на границе зоны диссоциации совпадает с давлением свободного газа в начальный период разложения гидрата, т.е. $\theta(\xi, \tau) = \theta_0$, тогда уравнение баланса газа на границе $\xi(t)$ можно представить в виде

$$\frac{\theta_2 - \theta_0}{\xi(\tau)} = v(\varepsilon, \tau) = \frac{W \mu_r P_0}{P^*(T)} \frac{\partial \xi}{\partial \tau}, \quad (20)$$

где $P^*(T)$ определяется по формуле (1). Разделяя переменные в уравнении (20), найдем

$$\xi(t) = \sqrt{\frac{2(\theta_2 - \theta_0)}{W \mu_r P_0}} \sqrt{t + \xi_0^2}. \quad (21)$$

Из формулы (21) следует, что гидратное давление θ_2 снижается довольно резко до некоторого значе-

ния, соответствующего разложению гидрата, что свидетельствует о быстром его разложении и незначительных размерах зоны диссоциации

$$(\xi_0 < \xi(\tau) < \xi_{пред}).$$

Расчеты по формуле (21) показывают, что зона диссоциации находится в зоне упругих деформаций угольного пласта. Этот факт говорит о том, что в этой области происходит начальный рост концентрации газа. Общее количество диссоциированного газа будет

$$V(\tau) = \frac{2(\theta_2 - \theta_0)}{\sqrt{\pi a_0}} \cdot \sqrt{\tau}. \quad (22)$$

Исходя из формулы состава кристаллогидрата ($CH_4 \cdot 5,75 \cdot H_2O$) и с учетом выражения (22) можно определить массу газа и число объемов газа в одном объеме гидрата. Например, для $P_0 = 1$ МПа, $\tau = 0$ °С. Число объемов газа в единице объема гидрата составляет $101,44 \text{ кг/м}^3$. Таким образом, один объем гидрата содержит более сотни объемов газа, это свидетельствует о том, что гидраты (особенно метана) отличаются значительными запасами внутренней энергии и высокой концентрацией газа. Следовательно, зоны разложения гидрата являются зонами повышенной газодинамической активности пласта.

Список литературы

1. Веригин Н.Н. О разложении гидрата газа в пласте. //МЖГ.- 1982 - №4.-с.171 -173.
2. Макогон Ю.Ф. Гидраты природных газов.- М.: Недра,1974.
3. Ван-Дайк М. Методы возмущений в механике жидкости. М., Мир, 1967.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ РАССОЛОВ

Зелинская Е.В, Овсянникова О.П., Воронина Е.Ю.

*Иркутский Государственный
технический университет,
Иркутск*

С целью наиболее эффективного решения вопросов охраны окружающей среды и рационального использования сырьевых ресурсов необходимо вовлечение в переработку природных высокоминерализованных вод и рассолов, вскрывающихся в процессе эксплуатации кимберлитовой трубки "Удачная". При этом необходимо решение двух взаимосвязанных задач: снижения общей минерализации рассолов перед обратной их закачкой в подземные горизонты для уменьшения их негативного воздействия на подземную гидросферу и ландшафт, и извлечение промышленно-ценных компонентов с получением товарных продуктов, имеющих спрос на рынке сырьевых ресурсов.

В задачу исследования входила разработка принципиальной технологической схемы извлечения стронция и рубидия как непосредственно из рассолов, обводняющих месторождение и вскрывающихся раз-

ведочными и эксплуатационными скважинами, так и из дренажных вод, поступающих в карьер в процессе добычи кимберлитовой руды.

Технологические пробы высокоминерализованных вод были отобраны из скважины № 322 на глубине 550 м и на карьере трубки "Удачная" с горизонта - 155 (западное рудное тело) из емкости ЦНС, расположенной на горизонте - 65 (проба №2 - "карьер"). Результаты анализа вод, выполненные аналитическим путем, а также расчетные содержания представлены в таблице 1.

Данные, приведенные в таблице 1, показывают, что все микрокомпоненты относятся к промышленно-ценным компонентам, превышение по сравнению с минимально-промышленными концентрациями составляет для стронция в 3,5-5,3 раза; для лития в 13-22,5 раза; для рубидия в 2,9-4,3 раза.

Содержание ионов в форме простых катионов зависит от природы, концентрации компонентов и минерализации рассолов. Стронций в рассолах преимущественно находится в виде простого иона, в то время как кальций – в виде различных соединений.

Необходимо добавить, что существует значительная разница между содержанием макро- и микрокомпонентов и формой нахождения ионов в рассолах. Концентрации натрия, кальция, калия, магния в десятки раз превышают концентрации стронция, лития, рубидия. Это обстоятельство создает дополнительные трудности их разделения в технологических процессах, близость свойств ионов данных металлов и взаимное влияние значительно снижает возможности их селективного выделения в индивидуальные продукты.

Данная особенность природных рассолов является основным ограничением для вовлечения в промышленную переработку, так как необходимость разделения микро- и макрокомпонентов значительно усложняет технологические схемы, что ведет к их удорожанию и снижению рентабельности производства, вплоть до отрицательного значения.