

## ТЕМПЕРАТУРНО-ГАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЪЕМА ИЗ КОМОВОЙ И ГРАНУЛИРОВАННОЙ СЕРЫ ПРИ ЕЕ ХРАНЕНИИ НА ОТКРЫТОМ ВОЗДУХЕ

Аккенжеева А.Ш.

*Мақалада қоршаған ортаның күкірттен ластануынан сақтау мақсатында, күкіртті гранула түрінде сақтау мүмкіндігі қарастырылған. Сонымен қатар күкірттің гранулаларының беттік ауданын есептеу формулалары және күкірт гранулаларынан газдың, шаңның бөлінуін төмендететін әдістер енгізілген.*

*In article for decrease pollution окружающую sulfur is offered environments stores it in the granulated condition. For definition total the areas of a surface of granules and granules structures naval sulfurs the formula is deduced from granules at which there will be no sulfur self-heating in volume and allocation sulfur-containing gases and a dust in environment.*

В связи с предстоящим резким увеличением добычи нефти из месторождения Тенгиз, Восточный и Западный Кашаган резко увеличится объем серы, хранящейся на открытом воздухе.

Массивы серы – постоянный, все увеличивающийся стационарный источник загрязнения природной среды. Темпы складирования элементарной серы на Тенгизе высокие, примерно 120 кг с каждой добытой тонны нефти. На Тенгизе к настоящему времени (с учетом реализации) имеется около 7 млн.т элементарной комковой серы. При добыче 100 млн.т нефти образуется 12 млн.т. серы, 1 млрд.т.нефти – 120 млн.т серы, 4 млрд.т – 480 млн.т. [1].

При хранении комовой серы в блоках выделяются серосодержащие газы и серная пыль, которые интенсивно загрязняют окружающую среду, нанося значительный урон флоре и фауне этого региона. Выделение серосодержащих газов из объемов хранящейся серы возможно при условии изменения её температуры в процессе хранения. Так, например, с повышением температуры в объеме серы за счет её окисления и самонагревания механизм выделения серосодержащих газов можно объяснить возникновением конвективных токов. Конвективные потоки воздуха, выходящие в атмосферу их окисляющегося объема проходят вверх. Так как выделяющиеся серосодержащие газы ( $H_2S$ ,  $SO_2$ , меркаптаны) обладают большим удельным весом, чем воздух, то их молекулы после

выделения из гранул будут стремиться вниз. Однако, с увеличением скорости конвективного потока воздуха с ростом температуры выделяющиеся газы будут выноситься из объема серы и распространяться в окружающей среде. Нами было установлено, что удельное газовыделение из объема серы с повышением температуры носит нелинейный характер и может быть описано зависимостью вида

$$G_{SO_2} = A \cdot e^{BT}, \quad \text{мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}), \quad (1)$$

где  $A$  и  $B$  – постоянные коэффициенты, определяемые экспериментально.

Лабораторными экспериментами также установлено, что интенсивность выделения серосодержащих газов (сероводород, сернистый ангидрид) имеет отличительную особенность. При этом выявлено, что интенсивность выделения указанных газов с понижением температуры также растет до определенного значения, затем стабилизируется и при положительных температурах увеличивается согласно зависимости (1). Это указывает на то, что загрязнения оставшимися в сере газами может происходить как в летний, так и в зимний периоды года.

Для определения динамики изменения температуры в объеме окисляющейся комовой серы необходимо изучить его термодинамическое состояние в естественных климатических условиях.

При хранении комовой серы в насыпном виде на складах перед отправкой потребителю, происходит интенсивное газовыделение при изменении температуры серы в результате окислительных процессов и влияния естественной солнечной радиации.

Примем, что насыпной объем комовой серы представляет собой, однородную изотропную среду (навал) насыпной плотностью  $\gamma$ , теплоемкостью  $C$ , теплопроводностью  $\lambda$  и пористостью  $\Pi$ . Внутри этого объема имеются равномерно-распределенные источники выделения тепла  $Q_1$  от окислительных процессов, с поверхности влияет температура движущегося воздуха  $T_в$  и солнечная радиация  $Q_2$ . Внутри навала движется воздух и осуществляется теплообмен  $Q_3$ , за счет конвекции. Тогда температурное поле в навале комовой серы можно представить неоднородным дифференциальным уравнением теплопроводности вида

$$(1 - \Pi)C\gamma \frac{\partial T}{\partial \tau} = (1 - \Pi)\lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + Q_1 + Q_2 - Q_3; \quad (2)$$

где  $\nabla^2 T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$  - оператор Лапласа.

Для решения уравнения (2) необходимо определить начальные и граничные условия.

После образования комовой серы в навале высотой  $h$  примем, что температура серы равна  $T_0$  и соответствует начальному времени, т.е.

$$T|_{\tau=0} = T_0, (x, y, z > 0) \quad (3)$$

На границах поверхности навала и его основания будет происходить теплообмен соответственно с атмосферой и подготовленным под склад бетонным основаниям, т.е.:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial z} + \alpha_s (T - T_s)|_{z=0} = 0, (\tau > 0) \quad (4)$$

и

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial z} - \lambda_b \frac{\partial T_b}{\partial z} \Big|_{z=h} = 0, (\tau > 0), \text{ где} \quad (5)$$

$\alpha_s$  и  $T_s$  – коэффициент поверхностной теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К) и температура воздуха, °К;

$\lambda_b$  и  $T_b$  - коэффициент теплопроводности бетонного основания, Вт/(м·К) и температура бетона, °К.

Мощность источников выделения тепла от окислительных процессов в объеме комовой серы можно представить как

$$Q_1 = C_k q S [U_0 + E(T - T_0)], \text{ где} \quad (6)$$

$C_k$  – концентрация кислорода в объеме комовой серы, долях ед.;

$q$  – удельная тепловыделение от окислительных процессов, Дж/м<sup>3</sup>;

$S$  – площадь поверхности окисления в объеме комовой серы, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>;

$U_0$  – скорость сорбции кислорода комовой серой при температуре  $T_0$ , м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·с;

$E$  – температурный коэффициент скорости сорбции кислорода комовой серой, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с·К);

Согласно проведенным нами исследованиям распределение концентрации кислорода по высоте окисляющегося объема  $h$  можно представить как

$$C_K = C_0 \exp\left(-\frac{U\gamma}{k_m \mathcal{G}_\phi} z\right), \text{ где}$$

$C_0$  – концентрация кислорода на поверхности окисляющегося объема, контактирующего с атмосферой, доли ед.;

$U$  – скорость сорбции кислорода комовой серой,  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ ;

$k_m$  – коэффициент пористости окисляющегося объема,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;

$\mathcal{G}_\phi$  – скорость фильтрации воздуха в окисляющемся объеме,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$z$  – координата высоты окисляющегося объема,  $\text{м}$ .

Количество тепла поступающего в объем комовой серы за счет солнечной радиации можно представить как

$$Q_2 = q_l (1 - A_c) F, \text{ Дж}/\text{м}^3 \cdot \text{с}, \text{ где}$$

$q_l$  – количество подающей лучистой энергии,  $\text{Дж}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ ;

$A_c$  – альbedo комовой серы;

$F$  – площадь комовой серы в объеме облучаемая прямой солнечной радиацией,  $\text{м}^2/\text{м}^3$ .

Количество тепла, выносимого из объема комовой серы за счет объемной теплоотдачи, можно представить как

$$Q_3 = \alpha_v (T - T_g), \text{ где}$$

$\alpha_v$  – коэффициент объемной теплоотдачи,  $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ ;

$T_g$  – температура фильтрующегося в объеме воздуха,  $^{\circ}\text{К}$ .

Таким образом уравнение (2) можно представить как

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \nabla^2 T + C_0 \exp\left(-\frac{U\gamma}{k_i \mathcal{G}_\delta} z\right) qS [U_0 + E(T - T_0)] + q_{\tilde{\epsilon}} (1 - \hat{A}_{\tilde{n}}) F - \alpha_v (T - \hat{O}_{\hat{a}})$$

где  $a = \lambda / C\gamma$  – коэффициент температуропроводности, м<sup>2</sup>/с.

При некоторых упрощающих предположениях температурный режим в объеме хранящейся комовой серы можно описать аналитическим выражением вида

$$T = T_0 + 2\sigma \sum_{n=1}^{\infty} A \left\{ \frac{1 - e^{-\left[\hat{a} \left(\frac{\mu_n}{h}\right)^2 - \beta\alpha\right]\tau}}{a \left(\frac{\mu_n}{h}\right)^2 - \beta\mu + \alpha} - \frac{e^{\chi\tau} - e^{-\left[\hat{a} \left(\frac{\mu_n}{h}\right)^2 - \beta\mu + \alpha\right]\tau}}{a \left(\frac{\mu_n}{h}\right)^2 - (\beta\mu - \alpha + \chi)} \right\} \left\{ \cos \frac{\mu_n}{h} z - \frac{\hat{A}}{\mu_n} \sin \frac{\mu_n}{h} z \right\}, \quad (7)$$

где  $b = C_k q u_0 / C_p \gamma$ ,  $\sigma = \beta S_0$ ,  $\mu_n = \eta_n h$ ,  $\eta_n$  – корень характеристического уравнения.

Таким образом, зная динамику изменения температурного режима в объеме окисляющейся комовой серы можно определить степень загрязнения окружающей среды серосодержащими газами.

Для снижения степени загрязнения окружающей среды серой при ее хранении нами предлагается хранить ее не в комовом, а в гранулированном состоянии. При этом гранулометрический состав объема серы из гранул, должен быть подобран таким образом, чтобы не происходило самонагревания серы в объеме.

Для описания изменения термодинамического состояния гранулированной окисляющейся серы на складе при хранении в свободном насыпном виде рассмотрим уравнение вида [2]:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + b - dT, \quad (8)$$

с начальными и граничными условиями

$$T(\tau, x)_{\tau=0} = T_2 + \frac{x}{h} (T_3 - T_2) \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} T(\tau, x)_{x=0} &= T_2 \\ T(\tau, x)_{x=h} &= T_3 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где 
$$b = \frac{S_0}{C_p \gamma} C_k U q + \frac{\alpha_T T_e}{(1-\Pi) C_p \gamma} \quad (11)$$

$$d = \frac{\alpha_T}{(1-\Pi) C_p \gamma},$$

где  $T$  и  $T_b$  – температура в окисляющемся объеме соответственно серы и воздуха, К;  $C_k$  – концентрация кислорода в объеме гранулированной серы, доли ед.;  $S_0$  – площадь поверхности взаимодействия кислорода и гранул серы в объеме,  $m^2/m^3$ ;  $q$  – удельное тепловыделение при окислении серы кислородом воздуха, Дж/ $m^3$ ;  $\alpha_T$  – коэффициент объемной теплоотдачи, Вт/ $m^3 \cdot K$ .

Решение задачи (8) –(10) будет иметь вид

$$T_p(\tau, x) = T_2 + \frac{x}{h}(T_3 - T_2) + \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k(d + a\lambda_k^2)} \left[ b - dT_2 - (b - dT_3)(-1)^k \right] \cdot \left[ 1 - e^{-(d + a\lambda_k^2)\tau} \right] \sin \frac{k\pi}{h} x \quad (12)$$

Анализ результатов расчета по формуле (12) показывает, что термодинамическое состояние при окислении гранулированной серы зависит от комплекса факторов, в том числе и от первоначального значения температуры серы. Из анализа выражения (12) также видно, что при значении:

$$b - dT_2 - (b - dT_3)(-1)^k = 0$$

изменение температуры со временем не будет происходить.

Отсюда определим, что при  $k=1$  величина «b» будет равна:

$$b = \frac{(T_2 - T_3)d}{2}$$

При подстановке значения «b», описываемого выражением (11) можно определить суммарную площадь поверхности гранул, а следовательно и гранулометрический состав навала серы из гранул, при

которых не будет происходить самонагревание серы в объеме и выделение серосодержащих газов и пыли в окружающую среду.

#### **Литература:**

1. Диаров М.Д. Экология и мы. Газета «Ак-Жайык», 10 октября 2002г.
2. Ахмеджанов Т.К.и др. Математические модели самонагревания полезных ископаемых. Алматы, Наука, 2002.С.248.