

10. Григорьева М.М., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Свободноконвективный тепломассоперенос при газофазном зажигании кабельной изоляции в результате перенапряжения // Журнал инженерной термофизики. 2011. Т. 20. № 2. С. 192–200.
11. Вилунов В.Н., Зарко В.Е. Зажигание твердых веществ. Амстердам, Эльсевер, 1989.
12. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплоперенос в химической кинетике. Нью-Йорк, Пленум пресс, 1969.
13. Дагаут П., Казоннет М. Зажигание, окисление и горение керосина: Обзор экспериментальной и кинетической моделей // Успехи в энергетике и науке о горении. 2006. Т. 32. С. 48–92.
14. Кузнецов Г.В., Захаревич А.В., Максимов В.И. О механизме зажигания бензина одиночной металлической частицей, разогретой до высоких температур // Пожаровзрывобезопасность. 2008. Т. 17. № 5. С. 39–42.

УДК 620.197

АНАЛИЗ НА ОСНОВЕ ДИФФУЗИОННОЙ МОДЕЛИ НАСЫЩЕНИЯ СИЛИКАГЕЛЯ ПАРАМИ ВОДЫ ПРИ КОНСЕРВАЦИИ АГРЕГАТОВ ПАРОВОДОЯНОГО ТРАКТА ТЭС

Голдаев С. В., д. ф-м. н., Хушвактов А. А.
Томский политехнический университет, г. Томск
Таджикский технический университет, г. Душанбе
E-mail: SVGoldaev@tpu.ru

Опыт эксплуатации ТЭС показывает, что при некачественном проведении консервации их агрегатов, конденсация влаги, содержащейся в воздухе и газах, во время останова со снижением давления среды до атмосферного и попадание во внутренний объем кислорода воздуха вызывает стояночную атмосферную коррозию (САК) углеродистой стали [1].

Эффективное решение многосторонней проблемы защиты агрегатов пароводяного тракта (АПТ) ТЭС при простоях от САК позволит сохранить их рабочий ресурс, уменьшить материальные потери в результате коррозии металлов, снизить загрязнение окружающей среды [2].

В работе [3] предложено использовать для консервации АПТ ТЭС силикагель, который широко применяется в процессах очистки дымовых газов от диоксида углерода [4], в адсорберах воздуходелительных установок [5] и др. Он производится в промышленных масштабах и имеет низкую цену [6].

При консервации АПТ ТЭС, поддержании заданной влажности в замкнутых объемах, достаточно широко распространено осушение в статических условиях. Количество загружаемого адсорбента в этом случае определяется в основном равновесной адсорбционной емкостью. Процесс насыщения силикагелей влагой в статических условиях характеризуется

малой скоростью. Длительность полного насыщения при комнатной температуре мелкопористых силикагелей составляет 40 ч, среднепористых – 50 ч и крупнопористых – 75 ч [4, 7]. При фиксированной относительной влажности газа влагоемкость (g_c) силикагеля не зависит от температуры, при которой происходит процесс поглощения [8].

В теории адсорбции находят применение различные нестационарные постановки [5, 9]. Когда процесс рассматривается в пределах интервала времени, в котором концентрация (C) на противоположном от открытой поверхности конце частицы или в ее центре при симметричном массообмене еще не успевает измениться существенным образом, то применима такая математическая постановка [9]

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D_c \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}; \quad (1)$$

$$\text{при } \tau = 0 \quad C = 0; \quad x = 0 \quad C = C_0; \quad x \rightarrow \infty \quad C = 0. \quad (2)$$

где D_c – коэффициент свободной диффузии.

Установлено, что предположение о полуограниченности образца адсорбента толщиной L_s можно считать верным, если диффузионное число Фурье $Fo_D = D_c t / L_s^2 < 1,0$ [10].

Точное аналитическое решение краевой задачи (1) – (2) имеет вид [11]

$$C(x, \tau) = C_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_c \tau}} \right) \right], \quad (3)$$

где $\operatorname{erf}(z) = \left(2 / \sqrt{\pi} \right) \int_0^z \exp(-y^2) dy$ – интеграл вероятностей или функция

Крампа,

которая встречается в нестационарной теории теплопроводности [11], в задачах тепловой обработки металлов [12].

Для автоматизированного расчета распределения концентраций табличный способ определения интеграла вероятностей трудоемок, а удобнее использовать интерполяционное выражение, например, такое [12]:

$$\operatorname{erf}(z) = \sqrt{1 - \exp(-1,26 \cdot z^2)}.$$

Несмотря на то, что эта формула содержит только одну константу, она достаточно точна, погрешность ее не превышает 1 %.

Описанный алгоритм был реализован на Турбо Паскале.

Значения свободной диффузии определены при помощи установки, разработанной на кафедре «Теплотехника и теплотехническое оборудование» ТТУ, на которую получен патент [13]. Данное устройство состоит из эксикатора, электронных весов, чашки Петри, электронного секундомера. Измерения

выполнялись следующим образом: дисперсный материал (силикагель на основе никеля) в зависимости от размеров гранул разделяют на фракции (образцы с различным диаметром): 2,85 мм, 3,65 мм, 4,68 мм, 5,8 мм, взвешивают в сухом состоянии и помещают в эксикатор, содержащий в днище раствор, где воздух пропитан молекулами этого раствора. На протяжении 10 часов, каждые 2 часа, исследуемый объект вынимают из эксикатора и взвешивают, по формуле (4) рассчитывают коэффициент свободной диффузии:

$$D_c = (l / \pi)^2 \operatorname{tg}(\alpha). \quad (4)$$

Здесь l – толщина образца; $\pi = 3,14$; $\operatorname{tg}(\alpha) = \ln(1-\gamma)/t$ – определяется графически из наклона зависимости $\ln(1-\gamma)$ от $t_{\text{сек}}$, где γ – коэффициент набухания, вычисляемый по формуле

$$\gamma = M_t / M_\infty. \quad (5)$$

Здесь M_t – масса образца в момент времени t , M_∞ – максимальная масса набухшего образца. Из полученных опытных данных, зная M_t , и M_∞ , по (5) находится коэффициент набухания [14].

На рисунке 1 изображены профили концентрации паров воды в толще силикагеля при значении $D_c = 2,54 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ для разных моментов времени, удовлетворяющих неравенству $\text{Fo}_D = D_c t / L_s^2 < 1,0$.

Таблице 1. Осредненные значения D_c с погрешностью 5% для различных гранул силикагеля.

| Раствор | $d, \text{мм}$ | $D_c \cdot 10^7, \text{м}^2 / \text{с}$ |
|-------------------|----------------|---|
| вода из-под крана | 2,85 | 2,54 |
| | 3,65 | 2,92 |
| | 4,68 | 4,17 |
| | 5,80 | 5,01 |

Как видно, если процесс адсорбции определяется только свободной диффузией, то насыщение слоя силикагеля происходит достаточно медленно.

Приведенные результаты качественно соответствуют данным численных расчетов толщины слоя силикагеля, который насыщается парами воды, полученных в рамках другой модели [15].

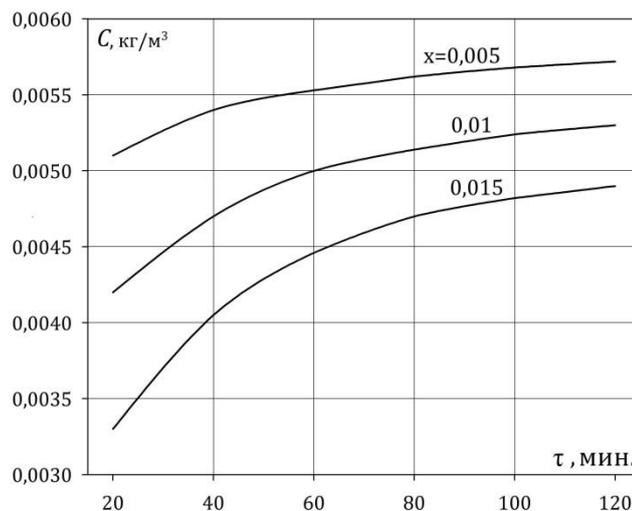


Рисунок 1. Зависимость концентрации паров воды от времени в разных сечениях навески силикагеля

Таким образом, диффузионная модель поглощения влаги из воздуха слоем силикагеля, «замкнутая» экспериментальным значением коэффициента свободной диффузии, определенным по разработанной методике, дает достоверные значения.

Список литературы:

1. Сутоцкий Г. П. Повреждения энергетического оборудования, связанные с водно-химическим режимом. – С-Петербург.: Из-во НПО ЦКТИ, 1992. – 256 с.
2. Богачев А. Ф. Предотвращение коррозии и повреждений оборудования пароводяного тракта ТЭС // Теплоэнергетика. – 2001. – № 7. – С. 65–71.
3. Голдаев С.В., Хушвактов А. А. Об использовании силикагелей для повышения долговечности котельного оборудования // Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность: материалы трудов XIX Всероссийской научно-технической конференции. – Томск: Изд-во «Скан». – 2013. – Т. 2. – С. 386–389.
4. Серпионова Е. Н. Промышленная адсорбция газов и паров: – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1969. – 416 с.
5. Алексеев В.П., Вайнштейн Г.Е., Герасимов П.В. Расчет и моделирование аппаратов криогенных установок – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 280 с.
6. Обзор рынка силикагеля в СНГ. ООО «Инфолайн» (Исследовательская группа). [Электронный ресурс]. <http://www.infomine.ru/research/18/441> (дата обращения 15.11.2013).
7. Морозов В. С., Морозов Е. В., Вихрова С. В. Остаточное содержание влаги в воздухе, осушенном силикагелем // Технические газы – 2005. – № 6. – С. 34–36.
8. Остриков А. Н. Процессы и аппараты пищевых производств: в 2-х кн. – Кн. 2. – СПб.: ГИОРД, 2007. – 608 с.
9. Романков П. Г., В. Ф. Фролов Массообменные процессы химической технологии – Л.: Химия, 1990. – 384 с.
5. Крейт, Ф. Блэк У. Основы теплопередачи. – М.: Мир, 1983. – 512 с.
6. Лыков, А.В. Тепломассообмен: Справочник. – М.: Энергия, 1972. – 560 с.

7. Резников А. Н., Резников А.Н. Тепловые процессы в технологических системах – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
8. Пат. № ТЈ 473. Республика Таджикистан, МПК (2011.01) G 01 N5/02. Способ определения коэффициентов самодиффузии и массоотдачи дисперсных материалов / А. А. Хушвактов., М. М. Сафаров, Д. С. Джураев. – № ТЈ 473; заявл. 11.10.2011; опубл. 02.11.2011, – 4 с.
9. Хушвактов, А. А., Сафаров М.М., Джураев Д.С. Изменение коэффициента самодиффузии и количества диффундируемых молекул воды в ультрадисперсных никелевых катализаторах на основе силикагеля // Вестник Таджикского технического университета. – Душанбе, – 2011. – № 4. – С. 5–10.
10. Голдаев С.В., Хушвактов, А. А. Совершенствование методик расчета характеристик осушителей воздуха с использованием силикагеля // Известия вузов. Проблемы энергетики. – 2014. – № 7-8. – С. 14–22.

УДК 536.24

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОЖАРООПАСНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕРЕГРУЗКИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Григорьева М.М., Иванова Е.В., Стрижак П.А.
Томский политехнический университет, Томск

По статистическим данным электротехническая продукция воспламеняется чаще всего [1]. Провод и кабели занимают первое место по количеству пожаров, жертв и порче имущества среди всех типов электротехнической продукции [2 - 4].

Причиной возгорания кабелей чаще всего является перегрев проводников вследствие короткого замыкания или перегрузки. Это происходит из-за возгорания изоляции. Концентрация кабелей в ограниченном пространстве может привести к серьезным повреждениям в случае пожара. Пожарная безопасность кабельных линий в значительной степени определяется состоянием включения кабеля в перегородку между помещениями и состоянием изоляции.

На сегодняшний день, оценка пожарной опасности кабельных изделий осуществляется на предположении, что сечение проводника имеет постоянную температуру. Принимается во внимание только изменение температуры кабеля во времени. Этот подход является слишком упрощенным и, как правило, используется для определения временных характеристик пиролиза и воспламенения изоляции при перегрузках кабельных линий. Недостатком, описанным в [5] модели, является то, что он игнорирует условия, когда теплообмен с окружающей средой затруднен (кабель замурован в стене или проходит в коробе). Таким образом, не существует методов прогнозирования пожарной опасности кабельных линий с ограниченным теплоотводом и при перегрузках.