

Литература

1. BP Statistical Review of World Energy. 2015. <http://www.bp.com>.
2. D. O. Glushkov, S. Yu. Lyrshchikov, S. A. Shevyrev, P. A. Strizhak Burning Properties of Slurry Based on Coal and Oil Processing Waste // *Energy Fuels*, 2016, 30 (4), pp 3441–3450.
3. Glushkov D.O., Strizhak P.A., Chernetskii M.Yu. Organic Coal-Water Fuel: Problems and Advances (Review) // *Thermal Engineering*. 2016. V. 63, No. 10. P. 707–717.
4. Glushkov D.O., Strizhak P.A., Vershinina K.Yu. Minimum temperatures for sustainable ignition of coal water slurry containing petrochemicals // *Applied Thermal Engineering*. 2016. V. 96. P. 534–546.
5. Glushkov D.O., Syrodoy S.V., Zakharevich A.V., Strizhak P.A. Ignition of promising coal-water slurry containing petrochemicals: Analysis of key aspects // *Fuel Processing Technology*. 2016. V. 148. P. 224–235.
6. Hezhong Tian, Yan Wang, Zhigang Xue, Yiping Qu, Fahe Chai, Jiming Hao, Atmospheric emissions estimation of Hg, As, and Se from coal-fired power plants in China // *Science of The Total Environment*. – 2011. – V. 409. – I. 16. – P. 3078-3081.
7. Hui Wang, Xiumin Jiang, Minxiao Zhang, Yufeng Ma, Hui Liu, Shaohua Wu, A new fluidization-suspension combustion technology for coal water slurry // *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. – 2010. – V. 49. – I. 10. – P. 1017-1024.
8. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 5, Issue 4, April-2014.
9. Jianguo Liu, Xiumin Jiang, Lingsheng Zhou, Hui Wang, Xiangxin Han. Co-firing of oil sludge with coal-water slurry in an industrial internal circulating fluidized bed boiler // *Journal of Hazardous Materials*. – 2009. – V. 167. – P. 817–823.
10. Key World Energy Statistics. International Energy Agency. 2014. <http://www.iea.org>.
11. Kontorovich AE, Epov MI, Eder LV. Long-term and medium-term scenarios and factors in world energy perspectives for the 21st century, *Russian Geology and Geophysics*. 2014;55(5-6):534–43.
12. Lior N. Energy resources and use: The present situation and possible paths to the future. *Energy* 2008;33(6):842–57.
13. Lishtvan II, Falyushin PL, Smolyachkova EA, Kovrik SI. Fuel suspensions based on fuel oil, peat, waste wood, and charcoal. *Solid Fuel Chemistry* 2009;43(1):1–4.
14. M. P. Baranova, T. A. Kulagina and S. V. Lebedev, Combustion of water and coal suspension fuels of low-metamorphized coals // *Chemical and Petroleum Engineering*. – 2009. – V. 45 (9-10). – P. 554-557.
15. Negin Heidari, Joshua M. Pearce. A review of greenhouse gas emission liabilities as the value of renewable energy for mitigating lawsuits for climate change related damages// *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. V. 55. P. 899-908.
16. Sarath K. Guttikunda, Puja Jawahar, Atmospheric emissions and pollution from the coal-fired thermal power plants in India // *Atmospheric Environment*. – 2014. – V. 92. – P. 449-460.
17. Wenyng Chen, Ruina Xu, Clean coal technology development in China // *Energy Policy*. – 2010. – V. 38. – No. 5. – P. 2123-2130.
18. Xu M, Zhang J, Liu H, Zhao H, Li W. The resource utilization of oily sludge by co-gasification with coal. *Fuel* 2014;126:55–61.
19. Y. Hu, S. Naito, N. Kobayashi, M. Hasatani, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> emissions from the combustion of coal with high oxygen concentration gases // *Fuel*. – 2000. – V. 79. – P. 1925–1932.

**МИНИМИЗАЦИЯ МУЛЬТИПЛИКАТИВНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НЕФТИ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Ю.Е. Балахнина, Е.А. Андрианова, Ю.К. Атрошенко**

*Научный руководитель: к.т.н., ст. преподаватель Атрошенко Ю.К.*

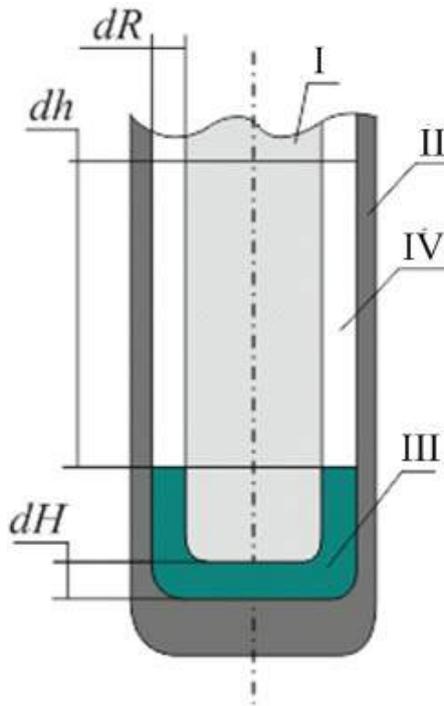
*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Поддержание температуры нефти в трубопроводах и на пунктах сбора и подготовки нефти осуществляется для обеспечения возможности надежной транспортировки нефти, так как снижение температуры может приводить к загустению продукта и может препятствовать протеканию технологических процессов [2, 3]. Для поддержания температуры нефти используются установки подогрева. В зависимости от химического состава и свойств нефти ее температура поддерживается в диапазоне от 30 до 90 °С [1, 4].

Для измерения температуры нефти используются термопреобразователи сопротивления и термоэлектрические преобразователи [5]. От качества работы систем контроля параметров (давления, температуры и т.д.) зависит надежность работы систем добычи и транспортировки нефти, поэтому основной задачей метрологического обеспечения объектов нефтегазовой промышленности является обеспечение получения оперативной и достоверной информации о технологических процессах.

Одной из погрешностей измерения температуры, которая может быть устранена методами минимизации систематической погрешности в ходе подготовки и проведения измерения является мультипликативная погрешность. Такая погрешность увеличивается (или уменьшается) с изменением измеряемой физической величины [9]. Одним из источников такой погрешности является не полный контакт слай термопары с объектом измерения. Причинами не полного контакта является конструкция датчика (промышленное исполнение) и наличие вспомогательной арматуры (защитной гильзы) [6, 7]. В этих условиях способом минимизации такой погрешности является выбор обоснованного времени выполнения измерений. Для определения влияния

длительности выполнения измерения на выходной сигнал термоэлектрического преобразователя необходимо определить отклонение температуры от измеряемой и соответствующее отклонение выходного сигнала – термо-ЭДС – от номинальной статической характеристики.



Способ установки термоэлектрического преобразователя показан на рис. 1.

Для определения влияния длительности выполнения измерения на выходной сигнал термоэлектрического преобразователя целесообразно использовать разработанную модель теплопереноса, описание которой приведено в работах [6, 7].

Определение выходного сигнала при изменении температуры от 0 °С до 70 °С выполнено в соответствии с данными [8]. Выражение для определения выходной ТЭДС для термопары типа К (ХА):

$$E_{XA}(t) = \sum_{i=0}^8 A_i \cdot t^i + 0,125 \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{t-127}{65} \right)^2 \right]$$

Выражение для определения выходной ТЭДС для термопары типа L (ХК):

$$E_{XK}(t) = \sum_{i=0}^8 A_i \cdot t^i$$

Номинальные и реальные статические характеристики (полученные при различных длительностях выполнения измерения) термопар типа К (ХА) и L (ХК) приведены на рис. 2, а и 3, а, соответственно. Зависимости относительного отклонения ТЭДС от номинальной статической характеристики от различных значений выполнения измерений показано на рис. 2, б и 3, б.

Рис. 1. Схема установки термоэлектрического преобразователя в защитную гильзу:  
I – чувствительный элемент термоэлектрического преобразователя; II – защитная гильза; III – буферный материал; IV – воздушное пространство

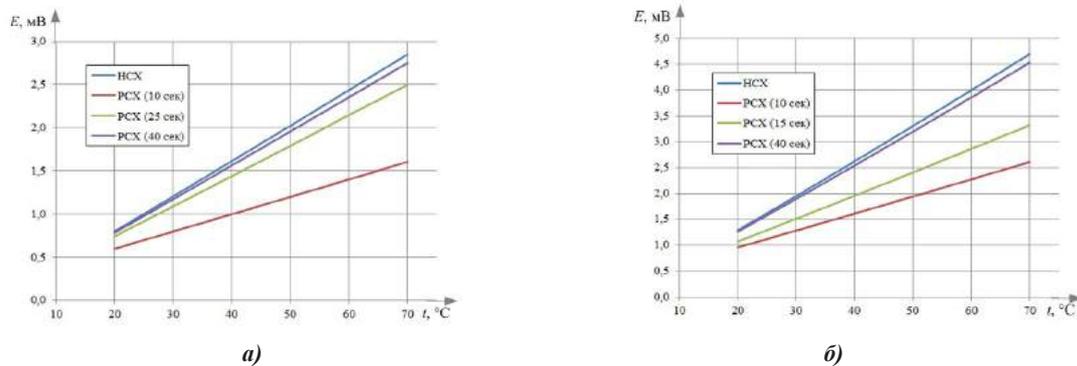


Рис. 2. Номинальные и реальные статические характеристики термопар типа К (а) и L (б)

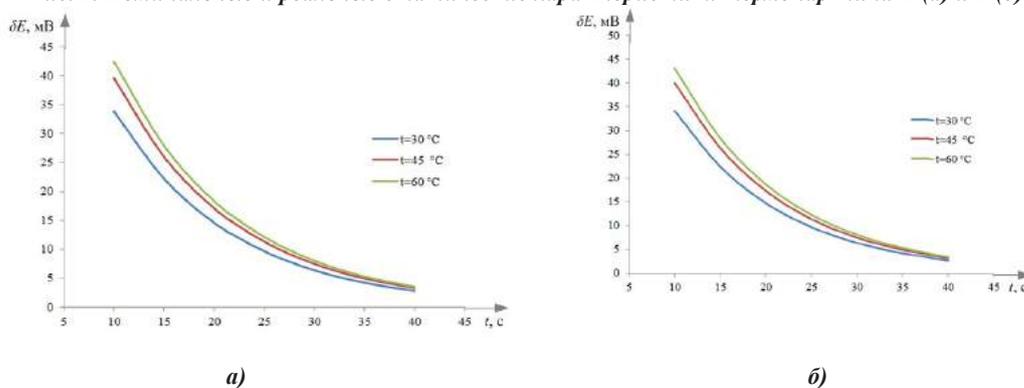


Рис. 3. Зависимость относительного отклонения ТЭДС от номинальной статической характеристики термопар типа К (а) и L (б) от длительности выполнения измерений

Из рис. 2 видно, что отклонение реальной статической характеристики термопары при различных значениях длительности выполнения измерения сокращается при меньших временах нагрева датчика, что подтверждается зависимостями, приведенными на рис. 3. По представленным данным видно, что условия выполнения измерения, способ монтажа датчика на объекте измерения оказывают существенное влияние на точность измерения. Обоснованный выбор длительности выполнения измерений позволит снизить мультипликативную погрешность измерения температуры термопарами.

#### Литература

1. Kok M.V. Thermal behavior and kinetics of crude oils at low heating rates by differential scanning calorimeter // Fuel Processing Technology, 2012. – Vol. 96. – p. 123–127.
2. Li H., Zhang J., Song C., Sun G. The influence of the heating temperature on the yield stress and pour point of waxy crude oils // Journal of Petroleum Science and Engineering November, 2015. – Vol. 135. – p. 476–483.
3. Negoită L.I., Rădulescu S. Heating Systems in a Crude Oil Pumping Station // Petroleum–Gas University of Ploiesti Bulletin. Technical Series, 2016. – Vol. 68, Is. 3. – p. 41–47.
4. Yip Y.H., Foo J.J. The mitigation against crude oil wax solidification subsequent to heating: A sustainable crude oil logistic strategy // Asia Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress 2015: APCChE 2015, incorporating SNAMECA, 2015. – p. 2705–2716.
5. Атрошенко Ю.К., Бычкова А.А. Численное моделирование контактных средств измерения температуры технологических сред на нефтяных и газовых месторождениях // Труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» в 2 томах. – Томск, 2016. – Т.2. – С. 291–293.
6. Атрошенко Ю.К., Стрижак П.А. Необходимое время измерения термоэлектрическими преобразователями с защитными гильзами // Датчики и системы. – Москва, 2015. – № 5 (192). – С. 23–27;
7. Атрошенко Ю.К., Стрижак П.А. О влиянии защитной гильзы на погрешность измерения температуры термоэлектрическими преобразователями // Энергетик. – Москва, 2015. – № 10. – С. 52–55;
8. ГОСТ 3044-84. Преобразователи термоэлектрические. Номинальные статические характеристики. 87 с. 1985 год
9. Тихоненков В.А., Солуянов Д.А. Компенсация мультипликативной температурной погрешности с учетом положительной нелинейности температурной характеристики выходного сигнала датчика // Технические науки – от теории к практике. – Новосибирск, 2013. – № 19. – С. 143–150.

### ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МОМЕНТОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГРАДИЕНТНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Л.А. Богомолова

Научный руководитель д.т.н., И.Ю. Семькина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В современной промышленности в качестве исполнительного устройства наибольшее распространение получил электропривод переменного тока на базе асинхронного двигателя. Этот тип электропривода обладает общепризнанными достоинствами. Для управления асинхронными электродвигателями преимущественно используют преобразователи частоты, которые позволяют регулировать координаты электропривода и оптимизировать режим работы. В тоже время преобразователи частоты могут реализовывать различные законы управления двигателем.

Одним из перспективных существующих законов управления асинхронным электроприводом является градиентное управление (ГУ), которое позволяет сформировать аналитическое выражение регулятора, обеспечивающего движение к цели управления с максимальной интенсивностью исходя из текущего состояния объекта управления.

$$\mathbf{u} = [u_{1\alpha} \quad u_{1\beta} \quad 0 \quad 0]^T.$$

$$\frac{\partial \omega(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t)}{\partial \mathbf{u}} = \begin{bmatrix} -h_1 \Psi_{2\beta} \Delta_M + h_2 \Psi_{1\alpha} \Delta_{\Psi 1} \\ h_1 \Psi_{2\alpha} \Delta_M + h_2 \Psi_{1\beta} \Delta_{\Psi 1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

где:  $h_1, h_2$  – весовые коэффициенты градиентного регулятора,  $\Delta_{\Psi 1}$  – разница между измеренной и заданной величинами потока статора,  $\Delta_M$  – разница между измеренной и заданной величинами электромагнитного момента,  $\Psi_{2\beta}, \Psi_{2\alpha}$  – составляющие электромагнитного потока ротора по осям  $\alpha$  и  $\beta$  в неподвижной системе координат,  $\Psi_{1\beta}, \Psi_{1\alpha}$  – составляющие электромагнитного потока ротора по осям  $\alpha$  и  $\beta$  в неподвижной системе координат.

Проведенные на текущий момент исследования доказали, что градиентное управление имеет быстроедействие, аналогичное быстрдействию прямого управления моментом, а также может использоваться как основа для энергооптимальной системы управления [1].

Ленточные конвейеры являются одним из наиболее распространённых типов горных машин, для которых