

ISSN 2306-1561

Automation and Control in Technical Systems (ACTS)

2015, No 2, pp. 172-180.

DOI: 10.12731/2306-1561-2015-2-15



Principles of Modeling the Structure of Composite Materials

Andrey Vladimirovich Ilukhin

Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of «Automation Industrial Process».

State Technical University – MADI, 125319, Russian Federation, Moscow, Leningradsky prospekt, 64. Tel.: +7 (499) 151-64-12. <http://www.madi.ru>

aviluhin@mail.ru

Vadim Israilevich Marsov

Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of «Automation Industrial Process».

State Technical University – MADI, 125319, Russian Federation, Moscow, Leningradsky prospekt, 64. Tel.: +7 (499) 151-64-12. <http://www.madi.ru>

evmarsova@rambler.ru

Mikhail Alexandrovich Astafiev

Russian Federation, Postgraduate Student, Department of «Automation Industrial Process».

State Technical University – MADI, 125319, Russian Federation, Moscow, Leningradsky prospekt, 64. Tel.: +7 (499) 151-64-12. <http://www.madi.ru>

alex123456789.a@yandex.ru

Andrey Vladimirovich Ivachev

Russian Federation, Postgraduate Student, Department of «Automation Industrial Process».

State Technical University – MADI, 125319, Russian Federation, Moscow, Leningradsky prospekt, 64. Tel.: +7 (499) 151-64-12. <http://www.madi.ru>

alex123456789.a@yandex.ru

Abstract. An analytical model of electrical conductivity makes it possible to realize the control of structure of concrete is the continuous measurement of the electrical conductivity of the concrete mixture and analyzing the data to determine the kinetics of processes and interventions in it for the implementation of revibrate.

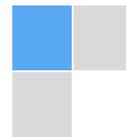
Keywords: conductivity, structure of concrete, the potential difference, a current source, resistance of the sample, potential difference.

ISSN 2306-1561

Автоматизация и управление в технических системах (АУТС)

2015. – № 2. – С. 172-180.

DOI: 10.12731/2306-1561-2015-2-15



УДК 681.3

Принципы моделирования структуры композитных материалов

Илюхин Андрей Владимирович

Российская Федерация, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация производственных процессов».

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский проспект, д.64, Тел.: +7 (499) 151-64-12, <http://www.madi.ru>

aviluhin@mail.ru

Марсов Вадим Израилевич

Российская Федерация, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов».

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский проспект, д.64, Тел.: +7 (499) 151-64-12, <http://www.madi.ru>

evmarsova@rambler.ru

Астафьев Михаил Александрович

Российская Федерация, аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов».

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский проспект, д.64, Тел.: +7 (499) 151-64-12, <http://www.madi.ru>

alex123456789.a@yandex.ru

Ивачёв Андрей Владимирович

Российская Федерация, аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов».

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский проспект, д.64, Тел.: +7 (499) 151-64-12, <http://www.madi.ru>

alex123456789.a@yandex.ru

Аннотация. Разработанная аналитическая модель электропроводности дает возможность реализовать контроль структурообразования бетона, заключающийся в

непрерывном измерении электропроводности бетонной смеси и анализе полученных данных, с целью определения кинетики протекающего процесса и вмешательства в него для реализации повторного вибрирования.

Ключевые слова: электропроводность, структурообразование бетона, разность потенциалов, ток источника, сопротивление образца, разность потенциалов.

1. Введение

Наиболее приемлемым методов контроля структурообразования бетона можно считать метод, основанный на измерении электропроводности бетона. Этот метод, является прямым, непосредственным, позволяя фиксировать кинетику структурообразования на информационных носителях, без дополнительных тарировочных кривых. Моменты качественных изменений в структуре бетона соответствуют экстремальным точкам на кривых электропроводности. Контроль структурообразования бетона, заключается в непрерывном измерении электропроводности бетонной смеси и анализе полученных данных с целью определения кинетики протекающего процесса и вмешательства в него для реализации повторного вибрирования [1 ... 16].

2. Модель и метод

Расчетное значение электропроводности бетонной смеси напрямую зависит от сопротивления образца со структурой, полученной методом случайных упаковок единичного объема сферами с распределенными диаметрами. При расчете сопротивления моделируемого образца предполагаем, что он помещен между двумя плоскими проводящими пластинами, образующими конденсатор. Фиксирование разности потенциалов между пластинами при известном, заданном токе источника, позволяет определить сопротивление образца. Таким образом, задача заключается в определении разности потенциалов на пластинах при известном токе, протекающем через образец, но неизвестном его сопротивлении.

Заменим структурную модель образца электрической моделью. Для этого представим промежутки между проводящими элементами (сферами) в виде активных проводимостей, значения которых определяются методом узловых потенциалов и которые позволяют рассчитать потенциалы пластин.

Для определения проводимости между двумя сферическими включениями можно воспользоваться моделью «противопоставлений», предложенной Рейнольдсем и Хью [2], в которой предполагается, что каждая частица «k» находится в однородной среде, а вычисление проводимостей осуществляется между этой и «k+1» частицей. Таким образом, получив сопротивление «k»-ой частицы со всеми остальными частицами ($k=1, 2, \dots, n$, где n – номер частицы, упакованной в гипотетический объем), составив и решив уравнения на основе законов Кирхгофа, можно определить разность потенциалов между пластинами.

Для расчета проводимости между сферами, помещенными в однородную среду, воспользуемся дипольной (бисферической) системой координат (рисунки 1, 2) [3], которая связана с декартовой системой координат соотношениями

$$X = \frac{a \cdot \operatorname{sh} \eta}{\operatorname{sh} \eta - \cos \xi}; \quad Y = \rho \cos \varphi;$$

$$Z = \rho \sin \varphi; \quad \rho = \frac{\sin \varphi}{\operatorname{sh} \eta - \cos \xi}. \quad (1)$$

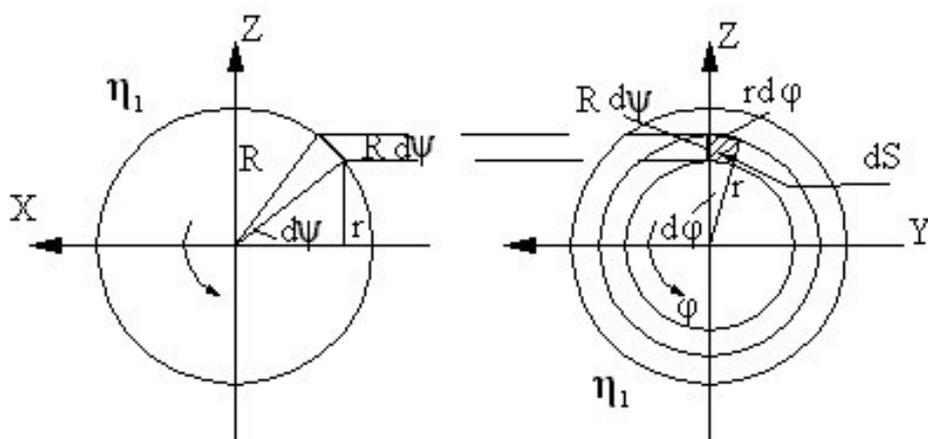


Рисунок 1 – К выводу выражения (3) в дипольной системе координат

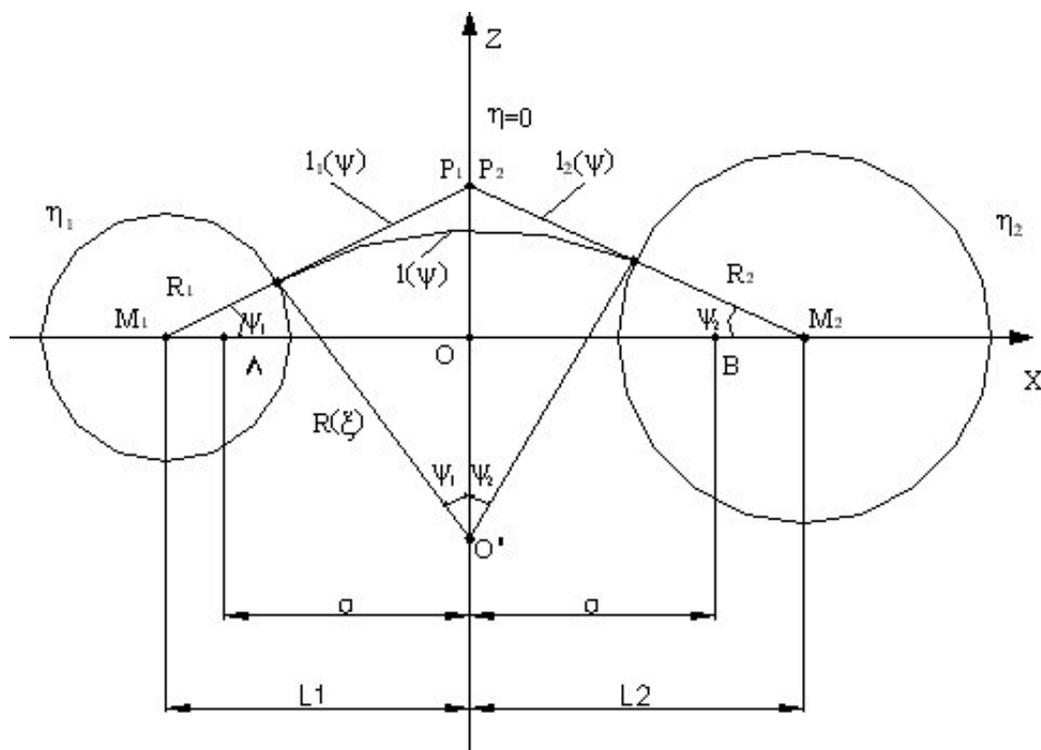


Рисунок 2 – К выводу выражения (4) в дипольной системе координат

Область изменения координат в дипольной системе определяется как $0 \leq \xi \leq \pi$; $-\infty < \eta < +\infty$; $0 \leq \varphi \leq 2\pi$, а практическое их значение связано с тем, что поверхности $\eta = \text{const}$ представляют собой сферы, окружающие либо заданную точку M_1 , либо заданную точку M_2 (рисунок 2). Поверхности $\xi = \text{const}$ при $\xi \rightarrow \pi$ имеют веретенообразную форму, а при $\xi \rightarrow 0$ они похожи на сферы, имеющие на противоположных полюсах воронкообразные углубления.

На координатной поверхности η (рисунки 1, 2) выполняется условие (2): $\text{grad } \varphi = 0$, которое описывает поверхность равного потенциала, где φ – потенциал.

На координатной поверхности ξ выполняется условие (3): $\text{grad } E = 0$, которое описывает поверхности, на которых лежат силовые линии поля, созданного разностью потенциалов, сообщенных сферам. Поскольку заполнитель по сравнению с матрицей имеет абсолютную проводимость ($R_3=0$) сферическая поверхность элемента эквипотенциальна и силовые линии поля на поверхности сферического элемента не будут иметь тангенциальной составляющей, а сами силовые линии будут совпадать с линиями тока в однородной среде при конечном значении проводимости матрицы.

Таким образом, проводимость между двумя сферическими включениями в однородной эффективной среде может быть записана, как

$$g = \gamma_0 \oint_s \frac{dS}{l(\psi)}, \quad (2)$$

где γ_0 – удельная проводимость материала матрицы; dS – элемент поверхности сферического включения; $l(\psi)$ – длина дуги от поверхности одной сферы до другой.

Значение dS определится в соответствии с рисунком 1:

$$dS = R d\psi \cdot r d\varphi, \quad (3)$$

где R, r – радиусы сферического включения и сегментной окружности.

Элемент поверхности сферического включения берется по поверхности одной сферы, т.к. количество силовых линий (линий тока) одинаково для обеих сфер, даже если у них разные радиусы. В соответствии с рисунком 2 радиус $r = R \sin \psi$, а

$$dS = R^2 \sin \psi d\psi d\varphi, \quad (4)$$

В выражении (4) длина дуги $l(\psi)$, совпадает с линией сечения координатной поверхности ξ (рис.2) с плоскостью, проходящей через оси координат x, z , и заключенной между поверхностями сферических включений. Эта дуга является одновременно и линией тока между этими включениями.

С учетом (4) уравнение (2) запишется, в виде

$$g = \gamma_0 R^2 \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \frac{\sin \psi}{l(\varphi)} d\psi d\varphi. \quad (5)$$

Поскольку по углу φ значение длины дуги тока не изменяется, выражение (5) может быть переписано:

$$g = \gamma_0 R^2 2\pi \int_0^\pi \frac{\sin \psi}{l(\psi)} d\psi. \quad (6)$$

Таким образом, задача сводится к определению длины дуги $l(\psi)$. Из рисунка 2 видно, что $l(\psi)$ может быть записано, так:

$$l(\psi) = l_1(\psi_1) + l_2(\psi_2), \quad (7)$$

$$\begin{aligned} l_1(\psi_1) &= R(\xi) \cdot \psi_1 \\ \text{где} \quad l_2(\psi_2) &= R(\xi) \cdot \psi_2 \end{aligned} \quad (8)$$

Рассмотрим вывод выражения для $l_1(\psi_1)$, поскольку $l_2(\psi_2)$ получается аналогично. Выразим $R(\xi)$ через параметры a , l_1 , R_1 и текущий параметр ψ_1 .

Из рисунка 2 видно, что:

$$M_1 P_1 = \frac{l_1}{\cos \psi_1}. \quad (9)$$

Так как углы $\angle P_1 M_1 O$ и $\angle C_1 O_1 P_1$ равны, как образованные взаимно перпендикулярными сторонами, то

$$C_1 P_1 = \frac{l_1}{\cos \psi_1} - R_1, \quad (10)$$

При угле $\psi > 90^\circ$ в выражении (10) знак перед R должен смениться на $+$, но, т.к. при этом меняется и знак $\cos \psi$, то формула остается справедливой и для $\psi > 90^\circ$.

Поскольку

$$\frac{C_1 P_1}{R(\xi)} = \operatorname{tg} \psi_1, \quad (11)$$

то

$$R(\xi) = \frac{C_1 P_1}{\operatorname{tg} \psi_1}. \quad (12)$$

С учетом выражения (10) для (12), получим:

$$R(\xi) = \frac{\left(\frac{l_1}{\cos \psi_1} - R_1 \right)}{\operatorname{tg} \psi_1} = \frac{l_1 - R_1 \cos \psi_1}{\sin \psi_1}. \quad (13)$$

Тогда в соответствии с (8):

$$l_1(\psi_1) = \frac{l_1 - R_1 \cos \psi_1}{\sin \psi_1} \cdot \psi_1. \quad (14)$$

Значение L_1 и L_2 определяются, как:

$$\begin{aligned} L_1 &= \sqrt{a^2 - R_1^2} = \frac{D^2 + R_1^2 - R_2^2}{2D}; \\ L_2 &= \sqrt{a^2 + R_1^2} = \frac{D^2 - R_1^2 + R_2^2}{2D}. \end{aligned} \quad (15)$$

На рисунке 2 изображены две сферы η_1 и η_2 с радиусами R_1 и R_2 , с расстоянием между центрами D . В этом случае расстояние между, так называемыми «центрами возмущения», A и B (точками схождения линий тока) определится выражением:

$$a = \frac{1}{2D} \sqrt{[D^2 - (R_1 + R_2)^2][D^2 - (R_1 - R_2)^2]}. \quad (16)$$

Значение D в декартовой системе координат, будет:

$$D = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2}. \quad (17)$$

Поскольку $R(\xi)$ определяется выражением (13), то, в соответствии с (8), можно записать:

$$I(\psi_1) = \frac{L_1 - R_1 \cos \psi_1}{\sin \psi_1} \cdot (\psi_1 + \psi_2). \quad (18)$$

Координатные поверхности η дипольной системы координат, представляют собой эквипотенциальные поверхности поля двух разноименно заряженных шаров. Поэтому плоскость, проходящую через ось Z перпендикулярную оси X , можно так же рассматривать как эквипотенциальную поверхность, потенциал которой равен нулю. Таким образом, эта плоскость может быть представлена как граница раздела двух полупространств, которая может быть заменена бесконечно тонкой проводящей пластиной.

Тогда задача расчета проводимости между сферами сводится к определению общей проводимости двух полупространств со сферами, соединенными последовательно, т.е.:

$$\frac{g_1 g_2}{g_1 + g_2}. \quad (19)$$

В соответствие с уравнением (6), получим:

$$g_1 = \gamma_0 R_1^2 2\pi \int_0^\pi \frac{\sin^2 \psi_1}{\psi_1 (L_1 - R_1 \cos \psi_1)} d\psi_1, \quad (20)$$

$$g_2 = \gamma_0 R_2^2 2\pi \int_0^\pi \frac{\sin^2 \psi_2}{\psi_2 (L_2 - R_2 \cos \psi_2)} d\psi_2.$$

На основании выражений (19) и (20) производится расчет активного сопротивления между всеми сферами и между сферами и пластинами конденсатора на основании модели «противопоставлений».

Используя выражение (19), на основе метода «противопоставлений» можно составить систему уравнений для узловых потенциалов, учитывая тот факт, что узловой определитель, составленный из коэффициентов системы уравнений (которые представляют собой проводимости), симметричен относительно главной диагонали.

Кроме значений проводимости между шарами для успешного использования метода узловых потенциалов необходимо знать значения проводимостей между шарами и пластинами. Для нахождения этих проводимостей использовался метод «зеркального отображения». Суть метода поясняется на рисунке 3.

При просчете проводимости с пластиной на расстоянии $a'=a$ по другую сторону пластины имитируется шар O' . Проводимости рассчитываются между шарами O и O' : $G = 0,5G_{\text{об}}$, где $G_{\text{об}} = G + G_0$.

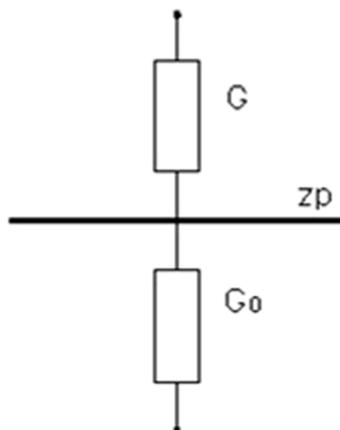


Рисунок 3 – Определение проводимости между сферой и пластиной

Поскольку $R_1 = \frac{(F_1 - F_2)}{I}$, где F_1 – потенциал верхней пластины; F_2 – потенциал нижней пластины, и, учитывая, что ток $I=1\text{А}$, а при использовании метода узловых потенциалов $F_2 = 0$, имеем: $R = F_1$, $G = \frac{1}{F_1}$.

3. Заключение

Расчетное значение электропроводности бетонной смеси напрямую зависит от сопротивления образца со сферической структурой. Разработанная аналитическая модель электропроводности позволяет произвести расчет активного сопротивления между всеми сферами и между сферами и пластинами конденсатора на основании модели «противопоставлений». Появляется механизм реализовать тем самым аналитический способ контроля процесса структурообразования бетона, заключающийся в непрерывном измерении электропроводности бетонной смеси и анализе полученных данных, с целью определения кинетики протекающего процесса и вмешательства в него для реализации повторного вибрирования.

Список информационных источников

- [1] Воробьев В.А., Илюхин А.В. Математическое моделирование электрофизических свойств электропроводных бетонов. // Изв. вузов. Строительство. – 1995. – № 5,6. – С. 47-53.
- [2] Духин С.С., Шилов В.М. Диэлектрические явления и двойной слой в дисперсных структурах и полиэлектrolитах. – Киев: Наукова думка, 1972. – 207с.
- [3] Духин С.С., Шилов В.М. Диэлектрические явления и двойной слой в дисперсных структурах и полиэлектrolитах. – Киев: Наукова думка, 1972. – 207 с.

- [4] Г. Бухгольц. Расчет электрических и магнитных полей. - М.: Иностранная литература, 1981. – 704 с.
- [5] Илюхин А.В., Колбасин А.М., Марсов В.И. Формирование оптимальной структуры асфальтобетонной смеси с пуассоновским распределением частиц // Строительные материалы. – 2012. – Вып. 9. – С.47-50.
- [6] Марсов В.И., Колбасин А.М., Сарычев И.Ю., Курилин А.В. МОДЕЛЬ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 3(5). – С. 7-11.
- [7] Колбасин А.М., Марсов В.И., Абдулханова М.Ю., Курилин А.В. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ КОМПОНЕНТОВ БЕТОННОЙ СМЕСИ // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – № 2. – С. 123-131. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-2-12.
- [8] Марсов В.И., Колбасин А.М., Цепкин П.А., Гришин А.А. МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕЗОНАНСНОЙ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СИСТЕМЫ СО СРЕДОЙ // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 2(4). – С. 106-110.
- [9] Марсов В.И., Колбасин А.М., Цепкин П.А., Гришин А.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ РАССОГЛАСОВАНИЯ РЕЗОНАНСНОГО ВИБРАТОРА ПРИ НАГРУЖЕНИИ // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 2(4). – С. 110-115.
- [10] Остроух А.В., Вэй П., Мью Л.А., Суркова Н.Е. Имитационное моделирование неоднородности строительной смеси в горизонтальном барабанном смесителе // В мире научных открытий. – 2014. – №12.2 (60). – С. 766-778.
- [11] Остроух А.В., Вэй П.А. Оптимизация параметров процесса смешивания сухих строительных смесей в горизонтальном барабанном смесителе непрерывного действия методом имитационного моделирования // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – №2 (10). – С. 21-28. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-2-3.
- [12] Кабир М.Р., Исмоилов М.И., Остроух А.В. Системный подход к проектированию АСУ ТП процессом приготовления бетонной смеси // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – № 3 (11). – С. 191-200. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-3-18.
- [13] Остроух А.В., Айсарина А.А. Разработка автоматизированной системы управления бетоносмесительной установкой с двухвальным смесителем // Автоматизация и управление в технических системах. – 2015. – № 1. – С. 51-59. DOI: 10.12731/2306-1561-2015-1-7.
- [14] Malygin E.N., Karpushkin S.V., Krasnyanskiy M.N., Ostroukh A.V. Technical Equipment Configuration and Functioning Mode Optimizing for Chemical-engineering Systems of Multi-product Plants // American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences. 2015. Vol. 15. No. 3. pp. 447-453, DOI: 10.5829/idosi.aejaes.2015.15.3.12559.
- [15] Ostroukh A.V., Wai Ph.A. Optimization of parameters dry construction mixtures in the horizontal drum mixer // International Journal of Advanced Studies (iJAS). 2014. Vol. 4. No 2. pp. 38-44. DOI: 10.12731/2227-930X-2014-2-2.
- [16] Wai Ph.A., Ostroukh A.V. Development of simulation model mixed system in the AnyLogic software // International Journal of Advanced Studies (iJAS). 2014. Vol. 4. No 4. pp. 48-53. DOI: 10.12731/2227-930X-2014-4-2.