

Введение Ионные жидкости (ИЖ) представляют собой новый класс веществ, которые рассматриваются в качестве замены традиционных органических компонентов. Они являются перспективными в различных областях, таких как рефрактометрия, электрохимические сенсоры, катализ и органический синтез, синтез полимеров, электрохимия, а также и в медицине [1-4]. Ионные жидкости получили широкое распространение благодаря своим свойствам, таким как низкая температура плавления, незначительное давление паров, негорючесть, высокая термическая стабильность, что позволяет работать с ними в широком диапазоне температур. Также ИЖ регенерируемые и их легко утилизировать. Кроме того их физико-химические свойства могут быть настроены соответствующим подбором катиона и аниона. Эти свойства делают их привлекательными особенно в развивающейся области зеленой химии [1,5]. Некоторые ионные жидкости гигроскопичны и наличие даже незначительного количества воды изменяет их физические свойства [6-14]. К таким относится исследуемая ионная жидкость [Emim]Cl, вязкость водного раствора которой изучается в данной работе. Обычно ионные жидкости являются вязкими, что объясняется в литературе образованием некоторой упорядоченной структуры (домены, цепочки, ионные пары, квазимолекулярные упаковки, ассоциаты) [1]. На вязкость также влияет и температура, так в работе [5] было установлено, что при увеличении температуры вязкость уменьшается, а при увеличении алкильной цепочки катиона имидазольной ИЖ вязкость возрастает, например, у чистых ИЖ [C6mim]Cl вязкость равна 18,089 мПа·с, а у [C8mim]Cl равна 20,883 мПа·с [5]. Данные по вязкости ИЖ [Emim]Cl ограничены свойствами чистой [Emim]Cl [15-16], либо с небольшим содержанием воды [17] вследствие ее гигроскопичности. Однако для химической технологии интерес представляют смеси и растворы, в частности водные растворы, вязкость которых исследована в данной работе. Методика эксперимента Измерение вязкости ионной жидкости [Emim]Cl при различных концентрациях 40÷80% проводились на приборе вискозиметр капиллярный стеклянный ВПЖ – 3. Устройство представляет собой капиллярную трубку с измерительным резервуаром, ограниченными двумя метками М1 и М2. Капиллярная трубка впаяна внутрь корпуса вискозиметра, имеющего два отвода. К прибору прилагается насадка с краном. Насадка соединяется конусом с корпусом. Измерения вязкости при помощи вискозиметра основано на определении времени истечения через капилляр определенного объема жидкости из измерительного резервуара [18]. Вязкость жидкости определялась по формуле:
$$\eta = \frac{K}{t} \cdot \rho$$
 где K – постоянная вискозиметра, мм²/с, ($K=0,5144$, указывается в паспорте прибора), t – время истечения жидкости, с, ρ – вязкость жидкости, мПа·с, ρ – плотность жидкости, г/см³. Перед определением вязкости жидкости вискозиметр был тщательно промыт и высушен в лабораторном сушильном шкафу при 100°С. При определении вязкости жидкости необходимо знать ее плотность, поэтому предварительно были измерены объем и масса

ионной жидкости. После термостатирования прибора при заданной температуре, было измерено время истечения жидкости между метками М1 и М2. Вязкость была рассчитана по формуле (1), по среднему арифметическому (из 8 измерений) времени истечения жидкости. Результаты Методика измерения вязкости была отработана на веществе триэтиленгликоль с известными свойствами [20], значения полученных данных в сравнении представлены на рис. 1. Максимальная относительная ошибка между литературными и экспериментальными данными составила 6,57%. Плотность раствора ИЖ [Emim]Cl, как и другой имидазольной ионной жидкости [Bmim]Br [20], незначительно уменьшается с увеличением содержания воды и температуры, что представлено в табл. 1 и 2. Объем жидкости определялся при различных температурах, соответствующих температурам измерения вязкости. Рис. 1 - Экспериментальные и литературные данные вязкости для триэтиленгликоля при температурах 15÷80°C, где ○ – экспериментальные значения, □ – литературные данные [19]

Таблица 1 - Плотность водного раствора ионной жидкости [Emim]Cl при концентрациях 40÷80 масс. % и температурах 20÷80°C

Температура, °C	40 масс. %	50 масс. %	60 масс. %	70 масс. %	80 масс. %
20°C	1,001733	1,028437	1,071948	1,087000	1,111276
30°C	0,997301	1,021872	1,06268	1,077891	1,100591
40°C	0,992907	1,015391	1,053571	1,071903	1,091594
50°C	0,998553	1,008992	1,046099	1,065981	1,084208
60°C	0,984236	1,002672	1,038732	1,060124	1,078371
70°C	0,979957	0,996432	1,031469	1,055773	1,072591
80°C	0,975714	0,990268	1,024306	1,051458	1,068307

В результате проведенных экспериментов были получены зависимости вязкости от температуры для ионной жидкости [Emim]Cl при различных концентрациях, что показано на рис.2. Эксперимент проводился при атмосферном давлении.

Таблица 2 - Плотность водного раствора ИЖ [Emim][Cl] при концентрации 97,18 масс. % и температурах 80°C÷100°C

Температура, °C	Плотность, г/см³
80°C	1,095476
90°C	1,086423
100°C	1,072494

В литературных источниках [15-17] представлены зависимости вязкости от температуры для чистой ионной жидкости [Emim]Cl, которые представлены на рис. 3. Сравнивая рис. 2 и 3, можно заключить, что при содержании воды в растворе 20 масс. % вязкость уменьшается в 20 раз, дальнейшее увеличение содержания воды приводит к уменьшению вязкости лишь вдвое. Рис. 2 - Зависимость вязкости от температуры: - 40 масс. % раствор, - 50 масс.% раствор, - 60 масс. % раствор, - 70 масс. % раствор, - 80 масс. % раствор

Рис. 3 - Вязкость чистой ионной жидкости [Emim][Cl], Sebastian Fendt, Sasisanker Padmanabhan, Harvey W. Blanch, and John M. Prausnitz [15], Ting Chen, Mandan Chidambaram, Kenneth R. Seddon, Annegret Stark, and María-José Torres [16], Zhiping Liu, Berend Smit, and Alexis T. Bell [17]

Вязкость воды закономерно изменяется в зависимости от температуры: уменьшается с ее возрастанием. В соответствии с этим, по результатам данных можно сказать, что вязкость ИЖ увеличивается с уменьшением концентрации воды в ИЖ. В работе [17] приведены значения вязкости при малых концентрациях воды, вследствие ее

гигроскопичности как изображено на рис. 4. В данной работе также была измерена вязкость 97,18 масс. % раствора ИЖ, результаты которой представлены на рис. 4, из которой видно, что незначительное содержание воды резко уменьшает вязкость раствора, что можно также наблюдать для [Bmim]Br [20]. В соответствии с полученными данными для описания поведения вязкости водного раствора ИЖ [Emim]Cl получена зависимость при концентрациях от 40÷80 масс. % и температурах от 20÷80°C: , (2) где $A = -21,95999953 + 2,644916598 * X - 0,08366081444 * X^2 + 0,0009195273577 * X^4$, $B = -0,6910640559 + 0,03041633922 * X - 0,0006334800908 * X^2 + 0,000003778197899 * X^3$, X – массовая концентрация ИЖ, T – температура, °C. Рис. 4 - Зависимость вязкости от массовой доли воды в растворе [Emim]Cl, ● – Zhiping Liu, Berend Smit, and Alexis T. Bell [17] при 100°C, ■ – экспериментальное значение при 100°C, – экспериментальное значение при 90°C, -экспериментальное значение при 80°C Абсолютная погрешность значения вязкости, вычисленной по зависимости (2) по сравнению с экспериментальными данными, полученными в данной работе, представлен на рис. 5: Рис. 5 - Разброс ошибки эксперимента, где □ при концентрации 40 масс. %, при концентрации 50 масс. %, △ при концентрации 60 масс. %, при концентрации 70 масс. %, ○ при концентрации 80 масс. % Среднеквадратическое отклонение экспериментальных данных было рассчитано по формуле: (3) где n – количество экспериментов; – экспериментальные значения вязкости; – значения вязкости, рассчитанные по формуле (2) и составило 0,01119. Заключение В данной работе была измерена вязкость водного раствора ионной жидкости [Emim]Cl при температурах 20÷800C и концентрациях 40÷80% масс. при атмосферном давлении. Изучив экспериментальные данные можно сказать, что динамическая вязкость водного раствора [Emim]Cl уменьшается с повышением температуры и увеличивается с увеличением концентрации ионной жидкости. На основе этих данных получена зависимость вязкости водного раствора ионной жидкости [Emim]Cl от температуры и концентрации в исследуемом диапазоне изменения параметров.