

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО РАЗРЯДА В ВОДЕ НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ

Виконано оцінку параметрів електромагнітного поля і полів тиску за умов високовольтного розряду у воді. На основі аналізу публікацій виконано аналіз впливу магнітних, електричних і силових полів на електричні та фізико-механічні характеристики полімерів. Показано актуальність досліджень впливу факторів високовольтного розряду на властивості полімерів, які використовуються як високовольтна ізоляція.

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF RESEARCH OF HIGH-VOLTAGE DISCHARGE EFFECT IN WATER ON THE PROPERTIES OF POLYMERS

The assessment of parameters of electromagnetic field and pressure fields under conditions of a high-voltage discharge in water is fulfilled. Proceeding from the analysis of publications, the effect of magnetic, electric and force fields on electrical and physical characteristics of polymers is analyzed. The relevance is displayed of the research of the high-voltage discharge effect produced on the properties of polymers used as high-voltage insulation.

Электрические изоляционные материалы, применяемые в установках, осуществляющие электрический разряд в воде для выполнения разного рода технологических процессов, находятся под действием многих факторов. Высоковольтный разряд в воде сопровождается различными явлениями, оказывающими воздействие на полимерную электрическую изоляцию [1-4]. Высокие импульсные гидравлические давления приводят к появлению ударных волн в жидкости [5, 6]. Наблюдаются значительные импульсные перемещения объемов жидкости, совершающиеся со скоростями, достигающими сотен метров в секунду [6]. Волны разрежения от перемещающихся поверхностей способны вызывать мощные импульсные кавитационные процессы, охватывающие относительно большие объемы жидкости. Расширение канала разряда генерирует инфразвуковые и ультразвуковые излучения [5]. Взаимодействие волн в жидкости с каналом разряда и стенками разрядных камер способно вызывать механические резонансные явления [6] с амплитудами, позволяющими осуществлять взаимное отслаивание друг от друга многокомпонентных твердых тел. Высоковольтный разряд сопровождается мощными электромагнитными полями, тепловыми, ультрафиолетовыми, а также рентгеновскими излучениями, многократной ионизацией жидкости в канале разряда [7, 8]. Отмеченные явления оказывают на жидкость и объекты, помещенные в нее, разнообразные физические и химические воздействия.

Указанные факторы могут приводить к существенному изменению свойств полимеров, используемых в качестве высоковольтной электрической изоляции электродов импульсных электрогидравлических установок.

Изменение электрических свойств и разрушение изоляторов приводит к выходу из строя электрогидравлического оборудования, снижению его надежности и длительности эксплуатации без ремонтно-профилактических работ. Осо-

бую важность эта проблема приобретает для мощных электрических разрядов с запасаемой энергией, составляющей десятки килоджоулей. Эти обстоятельства показывают актуальность исследований влияния комплекса факторов, сопровождающих электрический разряд в воде, на электрические и механические свойства полимеров, используемых в качестве высоковольтной электрической изоляции электродов.

Цель данной работы – выполнить анализ современного состояния исследований изменения электрических и физико-механических характеристик полимеров, используемых в качестве высоковольтной изоляции, под действием факторов, возникающих при электрическом разряде в воде.

Оценка параметров физических полей. Величину индукции магнитного поля, возникающего при электрическом разряде в воде, вычислили в непосредственной близости от канала разряда (10 мм). Напряженность магнитного поля прямого проводника с током вычислили по формуле (1):

$$H = \frac{I}{2\pi a}, \quad (1)$$

где I - сила тока, протекающего в канале разряда, а; a - расстояние от канала разряда, м. Максимальная величина силы тока, характерная для мощных электрических разрядов, равна 150 кА [8].

Индукцию магнитного поля вычислили по формуле (2):

$$B = \mu_0 \cdot \mu \cdot H, \quad (2)$$

где B - индукция магнитного поля, Тл; H - напряженность магнитного поля, А/м; $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; μ - магнитная проницаемость. Подставив приведенные выше значения силы тока и расстояния, получим величину индукции магнитного поля, равную 3 Тл.

Выполнили оценку уровня напряженности электростатического поля, возникающего в процессе электрического разряда в воде между металлическим электродом и внешней поверхностью его изоляции. Толщина изоляции электрода при максимальном напряжении разряда 50 кВ составляет от 20 до 30 мм. Тогда максимальную напряженность электрического поля определили по формуле (3):

$$E = \Delta U / \delta, \quad (3)$$

где ΔU - разность потенциалов на поверхностях изолятора; δ - толщина изоляции. Следовательно, максимальная напряженность электрического поля в изоляторе составляет от 1,7 кВ/мм до 2,5 кВ/мм.

Изоляторы электродов испытывают действие импульсного давления с амплитудой до 1000 МПа в условиях неравномерного трехосного нагружения [3, 6, 7, 8].

Влияние электромагнитных полей на изменение электрических и физико-

механических характеристик полимеров. В работе [9] исследовано влияние магнитного поля на полимеры. В первой серии экспериментов проводилось растяжение образцов (до разрушения) без магнитного поля и в полях 0,3; 0,5; 0,8 Тл. Здесь было отмечено существенное уменьшение модуля упругости (Юнга) в магнитном поле. Об этом свидетельствуют данные в табл. 1.

Таблица 1 - Поведение модуля Юнга упругости и разрывного удлинения полиэтилена в магнитном поле

Условия испытаний	Модуль Юнга, МПа	Максимальное напряжение, МПа	Разрывное удлинение, %
Без поля	860	41,5	435
0,3 Тл	300	41,0	500
0,5 Тл	260	40,5	435
0,8 Тл	310	38,5	525

Таким образом, модуль упругости при растяжении в магнитных полях может уменьшаться в 2—2,5 раза, в интервале изменения индукции магнитного поля - от 0,3 до 0,8 Тл. Для полиэтилентерефталата также наблюдаются подобные результаты воздействия магнитного поля, приводящие к значительному уменьшению разрывного удлинения. Полимер хрупко разрушается в окрестности предела упругости (табл. 2).

Таблица 2 - Поведение модуля Юнга и разрывного удлинения полиэтилентерефталата в магнитном поле

Условия испытаний	Модуль Юнга, МПа	Максимальное напряжение, МПа	Разрывное удлинение, %
Без поля	1115	67,0	355
0,3 Тл	460	68,5	20
0,5 Тл	445	67,5	20
0,8 Тл	380	65,0	20

Помимо растяжения, также был исследован процесс релаксации рассматриваемых полимерных материалов в магнитном поле. В результате экспериментов [9] выявлено, что с увеличением напряженности магнитного поля скорость релаксации в полиэтилентерефталате заметно снижается, а остаточное напряжение в образце увеличивается. В поле с напряженностью 0,8 Тл практически отсутствует резкое падение напряжения в образце на начальных временах релаксации.

Установлено, что для полипропилена в магнитных полях также снижается скорость релаксации и возрастает величина остаточного напряжения. Но для полипропилена релаксационные кривые, полученные в разных по величине магнитных полях, практически совпадают.

Эксперименты по измерению электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) [9] показали, что при растяжении в полимерах появляются магнитные моменты, связанные с радикалами, возникающими при обрыве молекулярных цепочек. Таким образом, определено сильное влияние магнитного поля на механические свойства немагнитных материалов [9].

Описанные эксперименты важны с прикладной и технической точек зрения. В частности, для мощных электрических разрядов в воде, где индукция магнитного поля достигает значения 3 Тл, находятся элементы изоляции электродов, которые испытывают импульсные и циклические нагрузки.

В работе [10] рассматривается модификация поверхности пленок из полиэтилена, полипропилена путем воздействия на них импульсной плазмы атмосферного давления. Уровень активации поверхности полимеров превышает в некоторых случаях до двух раз результаты, достигаемые с применением коронного разряда атмосферного давления или плазменных технологий низкого давления. Наиболее важной особенностью процесса плазмохимической модификации полимерных материалов, определяющей особый интерес к этому методу, является то, что изменениям подвергается только обрабатываемая поверхность материала и очень тонкий приповерхностный слой, толщина которого, по разным оценкам, составляет от 100 Å до нескольких микрометров. Полимер в остальном объеме практически не изменяется, сохраняя физико-механические, химические и электрофизические свойства модифицируемого материала.

Механическое деформирование полимеров в электрическом поле исследовано в работе [11]. Отмечено существенное уменьшение порога пробоя изоляции в этих условиях.

Анализ литературы показал, что выполнены исследования влияния отдельных факторов электрического разряда в воде на свойства полимеров, используемых в качестве высоковольтной изоляции электродов. Учитывая актуальность данной проблемы в научном и практическом отношении, целесообразно проведение исследований в данном направлении. Можно сделать следующие выводы.

1. В процессе электрического разряда в воде индукция магнитного поля, действующего на изоляторы электродов, может достигать значения 3 Тл, напряженность электрического поля – 2,5 кВ/мм и давление ударных волн – 1000 МПа, что может приводить к существенному отличию параметров электрической изоляции от их значений, определенных в нормальных условиях.

2. Электромагнитное поле и ударные волны, возникающие в результате электрического разряда в воде, могут приводить к существенному изменению физико-механических свойств полимеров, используемых в качестве высоковольтной изоляции электродов, поэтому при выборе параметров электрической изоляции электродов необходимо учитывать изменения физико-механических характеристик полимеров.

Статья подготовлена по материалам доклада IX Международной научной конференции “Импульсные процессы в механике сплошных сред” (15-19 августа 2011, г. Николаев).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л.А. Юткин. – Л.: Машиностроение, 1986. – 253 с.
2. Гулый Г.А. Научные основы разрядно-импульсных технологий / Г.А. Гулый. - Киев: Наукова думка, 1990. - 311 с.
3. Кривицкий Е.В. Динамика электровзрыва в жидкости / Е.В. Кривицкий. - Киев: Наукова думка, 1986. - 208 с.
4. Наугольных К.А. Электрические разряды в воде / К.А. Наугольных, Н.А. Рой. - М.: Наука, 1977. - 155 с.

5. Барбашова Г.А. Определение гидродинамической нагрузки на стенку нефтяной скважины, формируемой электрическим разрядом / Г.А. Барбашова, В.М. Косенков // ПМТФ. - 2001. - Т.42, № 6. - С. 93.
6. Косенков В.М. Резонансные колебания цилиндрической стенки разрядной камеры в результате электрического разряда в воде/ В.М. Косенков // ПМТФ. - 2011. - № 4. - С.43-51.
7. Косенков В.М. Развитие пробоя в воде/ В.М. Косенков, Н.И. Кускова // ЖТФ. - 1987. - Т.57, Вып.10. - С. 17-20.
8. Косенков В.М. Влияние длины канала высоковольтного разряда в воде на эффективность пластического деформирования цилиндрической оболочки / В.М. Косенков // ЖТФ. - 2011. - Т. 81, № 10. - С.133-139.
9. Александров П. А. Механические свойства материалов в магнитном поле. Сер. "Термоядерный синтез" / П. А. Александров // Вопросы атомной науки и техники. – 2006. - Вып. 1. - С. 24-30.
10. Головятинский С. А. Модификация поверхности полимеров импульсной плазмой атмосферного давления. Серія фізична "Ядра, частинки, поля"/ С. А. Головятинський // Вісник Харківського університету. – 2005, Вип. 2/24. – С. 80-86.
11. Слуцкер А. И. Влияние механического нагружения на кинетику электрического разрушения полимеров / А. И. Слуцкер // Журнал технической физики. – 2008.-Т. 78, Вып. 11. – С. 60-63.

УДК 622.411.332.023.623:622.83

Канд. техн. наук В.В. Круковская
(ИГТМ НАН Украины)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕПЕНИ СВЯЗАННОСТИ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА И ФИЛЬТРАЦИИ МЕТАНА

Виконано чисельне моделювання зв'язаних процесів зміни напружено-деформованого стану гірських порід та фільтрації метану у порушеному вуглепородному масиві навколо вибою гірничої виробки. Результати розрахунку порівняно з результатами розв'язання окремих задач зміни у часі геомеханічних і фільтраційних параметрів. Проаналізовано вплив кожного з процесів на загальний результат та визначено ступінь зв'язку розглянутих процесів.

DEGREE OF RELATIONSHIP OF PROCESSES CHANGES THE ROCK MASS STRESS STATE AND METHANE FILTRATION INVESTIGATION

Numerical modeling of coupled processes of rock stress-strain state change and methane filtration in disrupted coal-rock massif around mine face working is completed. The calculation results are compared with the results of solving separate problems of changes of geomechanical and filtration characteristic in time. The influence of each of this processes on the general result is analyzed and the degree of relationship above processes is defined.

В качестве одного из основных методов теоретического исследования сложных прикладных проблем в настоящее время все чаще используется так называемый вычислительный эксперимент. Суть этого метода состоит в том, что на основе математической модели в результате непосредственного численного решения соответствующих уравнений количественно определяется поведение изучаемого объекта в тех или иных условиях [1]. Сравнение результатов расчетов с имеющимися экспериментальными данными позволяет оценить эффективность математической модели, определить необходимые константы и параметры и добиться ее адекватности рассматриваемому явлению. На основе прошедшей такую проверку модели можно прогнозировать поведение исследуемого объекта в условиях, недостижимых в натурном эксперименте.

Зачастую изучаемое явление состоит из нескольких процессов, происходящих в массиве горных пород при подземной добыче угля (изменение НДС твердого тела, диффузия и фильтрация жидкости и газа, десорбция газа, теплофизические и химические процессы) и оказывающих влияние один на другой. Степень этого влияния может быть различной. Например, при расчете параметров напряженного состояния можно пренебречь изменением температуры по-