

Особенности течений топливных водоугольных суспензий со сложной реологией в энергетических установках

Касимов Шухрат Абдусаматович, кандидат физико-математических наук, доцент;
Халхаджаев Бахтиёр Ботирович, магистр, ассистент
Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта

В статье исследованы режимы течения с учетом сложной реологии высококонцентрированных водоугольных топливных суспензий (ВУС). Установлено, что при течении ВУС в энергетических установках, нарушается режим течения, что обусловлено взаимным влиянием геометрических размеров и параметров течения суспензии при организации ее сжигания в топочных камерах энергоустановок.

Ключевые слова: водоугольная суспензия (ВУС), вязкость смеси, законы сохранения, сложная реология, деформационная инертность, режимы течения.

Characteristics of the flow regimes of water-coal fuel slurries with complex rheology in power pipes

Shukhrat Kasimov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor;
Bakhtiyor Halhadzhaev, master, assistant
Tashkent Railway Engineering Institute

The article deals the flow regimes with regard to the complex flow rheology of highly concentrated water-coal fuel slurries (WCS). It has been established that during the WCS flow through power pipes the flow mode is disturbed, which is due to the mutual influence of the geometric dimensions and flow parameters of the suspension when it is burned in the combustion chambers of power plants.

Keywords: water coal slurry (WCS), mixture viscosity, conservation laws, complex rheology, deformation inertness, flow regimes.

DOI: 10.5281/zenodo.3271166

Широко признано, что использование новых источников энергии имеет первостепенное значение для устойчивого развития нашего общества. Экологические проблемы, такие как глобальное потепление и другие, подтолкнули человечество к развитию новых источников энергии, которые могли бы, в то же время, возобновляемым и устойчивым.

Применение водоугольных суспензий (ВУС) в качестве топлива для промышленных энергоустановок, особенно в последние годы, привлекает к ним интерес многочисленных исследователей. Процессы обогащения угля (просеивание, промывка и т.д.) генерируют большое количество мелких и ультратонких частиц угля, обычно в форме водоугольных суспензий. Утилизация этих отходов угля является предпочтительным вариантом их утилизации и предлагает возможности для добавления стоимости. Прямое сжигание угольных шламов может устранить хлопотные процессы обезвоживания и сушки. Сжигание или совместное сжигание угольных шламов с другими видами топлива (уголь более высокого качества, биомасса) в котлах с циркулирующим псевдоожиженным слоем является наилучшим вариантом их использования. Высокая эффективность сгорания может быть достигнута при условии, что процесс сгорания должным образом разработан, чтобы привлечь во внимание уникальные свойства топлива. Поскольку биомасса считается топливом с нейтральным содержанием углерода, совместное сжигание угольных шламов с биомассой может сни-

зить выбросы CO₂ и снизить стоимость электроэнергии. Большинство работ посвящено проблемам, связанным с гидродинамикой и реологией течения высококонцентрированных ВУС применительно к магистральным трубопроводным системам. Однако ряд технических трудностей, возникающих при организации внутрицехового распределения ВУС на тепловых электростанциях и, главное, при распыливании их через специальные форсунки в топке или аппарате предварительного отделения влаги, обусловлен недостаточной изученностью физических параметров и режимов течения ВУС в этих условиях [1-2].

На практике, наряду с достаточной мерой вязкими свойствами (ньютоновская жидкость) встречаются среды, напряженно-деформированное состояние которых в значительной степени зависит от изменения напряжений и скоростей деформаций как во времени, так и в пространстве. В ряде случаев, последние обладают свойством заметным образом изменять напряженное состояние при постоянной скорости или ускоренной деформации (свойство релаксации), а также изменять деформированное состояние при постоянном напряжении (свойство последействия или ретардации). Весьма часто явления релаксации и ретардации, известные под общим названием как наследственность, проявляются одновременно даже у сред, которые при течении неотличимы от вполне вязких жидкостей, такие как ВУС, концентрированные смеси, растворы, масла, пасты,

нефти, битумы и т.п., в которых эти свойства ярко выражены. Релаксационные и ретардационные переходы в смесях проявляются на разных уровнях их молекулярной и молярной организации [3]. Под термином моли, мы понимаем более представительные частицы, состоящие из большого количества молекул как однородной, так и неоднородной среды в физико-механическом поведении, которые проявляют себя как целостное образование. В связи с чем, рассматриваемую среду считаем состоящей из двух частей, причем одна часть состоит из неупорядоченных, несвязанных мельчайших частиц, а вторая из связанных сегментов и представляет собой распределенные по всему объему структурированные микрообласти - моли различного типа. Различные типы молей характеризуются соответственно различными временами жизни. При изменении напряжения происходит перераспределение числа частиц между структурированной и неструктурированной частями среды, т.е. изменяется относительное объемное содержание свободных частиц и молей. Смеси, в частности, дисперсные системы, структура которых описывается моделью, согласно которой имеется жидкая и твердая фазы. Частицы твердой фазы, связываясь с молекулами жидкости и близ находящимися частицами твердой фазы, в нашем понимании молей, как в отдельности, так и в связанной совокупности представляют собой моли, но более прочные, чем моли, состоящие из частиц жидкости.

Вязко-инертно деформируемые среды - это жидкости, часть которых образует непрерывную вязко деформируемую фазу, а часть жидких частиц объединенные в моли как в турбулентном потоке (размеры которых могут иметь от нескольких сот микронов до нескольких сот метров, обладая различной формой и массой) и жидкости, в которых диспергированы частицы и их, связанные между собой трением, более крупные кинетические образования. При этом молекулярные образования и диспергированные частицы, а также их связанные комплексы в жидкости будем называть молями. Эти смеси кроме механизма вязкостного и упругого, деформируются также по деформационной инерции [4-5]. В данном случае, сравнительно небольшие совокупности частиц могут обеспечить возрастание необратимой вязкой деформации, связанной с деформационной инерцией или, наоборот, могут задержать ее по той же причине если они, сопротивляясь благодаря деформационной инертности или то же самое, вязкостной запаздывающей деформации двигаются в течении. Для недеформированной среды процессы разрыва и восстановления физических узлов (связей) при тепловом движении молекул и молей взаимно уравниваются, а после приложения нагрузки равновесие нарушается и начинается процесс направленной перегруппировки узлов и цепей, с образованием и разрушением различного размера и формы кинетических единиц. Из-за чего, в таких средах будем иметь широкий набор времён релаксации и ретардации, охватывающих несколько порядков. По этим данным можем определить практически все физико-механические свойства сред, связанных с протекающими в них процессами релаксации и ретардации.

Особенности структурной организации сред, т.е. существование различных форм их молекулярной и молярной подвижности приводят к появлению различных наследственных процессов, каждый из которых связан с подвижностью тех или иных структурных элементов. Поведение такой среды в целом может быть описано спектром времён релаксации (ретардации), в котором за быстрые релаксационные (ретардационные) процессы ответственны мелко-масштабные движения молекул и макромолекул, а времена релаксации и ретардации, связанные с подвижностью более крупных представителей - молей, т.е. различных элементов надмолекулярных структур, частиц дисперсной фазы и их комплексов могут быть довольно большими и распределяться в большом диапазоне временной шкалы. Соответствующие им релаксационные (ретардационные) процессы протекают относительно медленно, т.е. более ярко проявляется деформационная инертность крупных образований в этих средах.

В связи с чем, релаксационные и ретардационные процессы в текучих средах следует рассматривать как макроскопическое проявление их молекулярной и молярной подвижности, связанной с отличающимися по размеру (в широком интервале) кинетическими отдельностями-молями.

Для характеристики эксплуатационных свойств и их прогнозирования суспензий, растворов, смол, парафинистых нефтей и многих других многофазных сред, в частности, ВУС, содержащих различного размера и рода частицы угля, наиболее важными являются медленные релаксационные и ретардационные процессы. В связи с чем появляется необходимость развития метода релаксационной спектроскопии в этой области, соответствующей медленным процессам физической и гидродинамической релаксации. Медленные релаксационные процессы, проявляющиеся, в частности, в ВУСах, при разрушении структуры природы, недостаточно исследованы.

Основной интерес здесь представляет то, какие именно релаксационные механизмы ответственны за эти процессы, сколько их, как они связаны со структурными параметрами среды и как прогнозировать свойства этих сред, проявляемых в технологических процессах и получение аналитических выражений, позволяющих определять геометрические размеры сопел, распыливающих форсунок ВУС с учетом параметров течения.

Исключительно широким классом неньютоновских жидкостей, встречающихся в природе и технологии современного производства, являются дисперсные системы — гетерогенные (неоднородные) системы, состоящие из множества дискретных мелких частиц (дисперсная фаза), находящихся в однородной среде (дисперсионная среда). При этом как дисперсная, так и дисперсионная среды могут быть в твердом, жидком или газообразном агрегатных состояниях. Дисперсные системы с жидкой дисперсионной средой называются: суспензии (дисперсная фаза — твердые частицы), эмульсии (дисперсная фаза — капли жидкости, несмешивающейся с дисперсионной средой), пены (дисперсная фаза — газовые пузырьки). Не останавливаясь подробно на дисперсных системах с твердой и газообразной диспер-

сионными средами, аэрозоли, пеноматериалы и др., отметим, что с механической точки зрения дисперсные системы с жидкой и газообразной дисперсионными средами можно обобщенно называть суспензиями, конкретизируя при этом для каждой рассматриваемой дисперсной системы агрегатные состояния её дисперсной и дисперсионной сред. Вместе с тем, наличие перечисленных выше наименований дисперсных систем полностью оправдано с точки зрения физической химии, физико-химической механики, физики и механики полимеров, изучающих дисперсные системы на молекулярном уровне.

Дисперсные системы типа суспензий, эмульсий, коллоидных растворов, растворов и расплавов полимеров широко используются в ряде отраслей промышленности: энергетика — суспензии ядерного горючего (окислов урана и тория), высококонцентрированные наполненные ракетные топлива, топливные смеси; строительство — цементные и бетонные растворы, краски пульпы; добывающие отрасли — буровые и промывочные жидкости, глинистые растворы, пульпы грунтов и полезных ископаемых; машиностроение и обрабатывающие отрасли — смазки, смазочно-охлаждающие жидкости и др.; химическая, пищевая и фармацевтическая технологии — растворы и расплавы полимеров, кондитерские массы, пасты, кремы. Большая часть, встречаемых в природе, технике и технологии, текучих сред являются дисперсными системами, состоящими из двух и более фаз. К таким средам относятся глинистые и цементные растворы, смолы, парафинистые нефти, пасты, мази, пульпы, смазочные материалы, масляные краски, пищевые массы и многие др.

Литература:

1. McKendry, P. Energy production from biomass (part 1): Overview of biomass. *Bioresour. Technol.* 2002, 83,37–46. [CrossRef]
2. Bridgwater, A.V. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. *Chem. Eng. J.* 2003, 91,87–102. [CrossRef]
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003, 840 с.
4. Я.Д.Ходжаев И.Н.Хусанов Ш.А.Касымов. Исследование течений ретардирующей вязко — инертно деформируемой среды. Научный журнал «Вестник ТашИИТ», №1, 2014г, стр.46-49.
5. Хусанов И.Н. Реологическая модель концентрированных гидросмесей. Навои. Международная научно-тех. конф. «Современная техника и технология горно-металлургической отрасли и пути их развития», 29-30 сентября 2008 г. с.109-110.
6. Mewis J., Wagner N.J. *Colloidal Suspension Rheology* (Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2012).

В многофазных и многокомпонентных текучих средах в виду наличия в них частиц с различными свойствами, явления внутренних процессов переноса физических субстанций значительно сложнее, и они в большинстве случаев не могут быть описаны только законами упругости Гука и вязкого трения Ньютона. Дисперсные фазы в жидкостях оказывают существенное влияние на реологические и гидродинамические свойства смеси тем сильнее, чем больше их объемное содержание. Многочисленными исследованиями установлено [1,2,6], что увеличение объемного содержания частиц в жидкостях приводит не только к изменению вязкости смеси, но и к проявлению совершенно новых свойств и закономерностей движения смеси. При определенных концентрациях дисперсной фазы и скорости движения смеси, в них проявляются процессы образования, и разрушения молярных структур вследствие этих процессов изменяются гидродинамические, реологические параметры и свойства смеси.

Своевременное и более точное установление изменяющихся значений реологических и гидродинамических параметров сред, используемых в технике и технологии, является важнейшим фактором предупреждения аварийных ситуаций, осложнений, а также стимулом усовершенствования техники и технологических процессов. Следовательно, необходимо проводить дальнейшие исследования реологических свойств сред и создания соответствующих моделей напряжено деформационных состояний для описания и установления закономерностей рассмотренных процессов переноса.