

13. Апостолов С. П., Денисов В. А. Двухпозиционное регулирование давления воздуха с помощью электроконтактного манометра: Методическое пособие. – Саратов: Саратовский государственный технический университет – 2010 – 150с.
14. Электронный каталог [Электронный ресурс]// База данных содержит сведения о преобразователях частоты компании "Триол" – Режим доступа: <http://www.triolcorp.com><http://www.schneider-electric.ru/> (дата обращения 01.07.2015)

ДВУХВОЛНОВАЯ РЕНТГЕНОВСКАЯ АБСОРБЦИОМЕТРИЯ

Черепенников Ю.М., Гоголев А.С.
Томский политехнический университет

На протяжении нескольких десятилетий одной из важнейших технических проблем нефтегазовой промышленности в мире является измерение количества и параметров добываемой скважинной продукции в реальном времени без разделения фаз, не используя движущиеся детали и не управляя процессом вручную. Подробный обзор проблем и их решений приведен в монографии [1]. Результаты измерений компонентного состава, газа, нефти и воды на этапе добычи позволяют оценивать экономическую эффективность операций по оптимизации работы скважин, характеризуют состояние разрабатываемого участка недр, являются основой для налоговых расчетов между государством и нефтедобывающим предприятием. Требования к точности измерений количества и параметров нефти постоянно повышаются. С другой стороны, с развитием средств аналитического оборудования и вычислительной техники появляются качественно новые возможности для решения указанных проблем.

В технике известно множество способов измерения характеристик многофазных жидкостей, например, с помощью радиационных, акустических, диэлькометрических, микроволновых и других методов. Следует отметить, что одно из основных требований, предъявляемых к средствам измерения, является неинтрузивность, особенно, когда условия измерения осложнены агрессивностью исследуемых сред, повышенным либо пониженным давлением в продуктопроводе, что в принципе исключает возможность применения контактных методов контроля. Измерение концентраций путем отбора проб и их последующего химического анализа требует значительного времени, что приводит к значительным систематическим ошибкам. Поэтому альтернативу трансмиссионным радиометрическим методам, принцип работы которых основан на анализе прошедшего через объект исследования проникающего излучения, например, рентгеновского, гамма или нейтронного излучения, найти сложно.

В настоящее время одной из передовых технологий бессепарационной расходомерии является технология Vx [2], разработанная Schlumberger совместно с Framo Engineering. Суть технологии заключается в использовании комбинации трубы Вентури и гамма-плотномера (гамма-концентратомера) с радиоактивным источником ^{133}Ba активностью 10 мКи. Данная технология является основой устройств PhaseWatcher и PhaseTester, выпускаемых компанией Schlumberger. Излучение двух разных энергий, в данном случае 32 и 81 кэВ, проходя через многофазную среду, ослабляется в различной степени в зависимости от состава среды. Анализ степени поглощения на двух энергиях позволяет контролировать состав трехкомпонентных сред. В многофазном расходомере MPFM Roxar от компании Roxar для определения концентрации компонент флюида используется гамма-плотномер с радиоактивным источником ^{137}Cs активностью 2 мКи. Основными недостатками устройств класса Vx являются использование опасных радиоактивных источников гамма-излучения и их высокая стоимость. Другим недостатком устройств на основе радиоактивных источников является низкий уровень потока излучения, порядка 10^3 фотон/сек в 10^{-4} стерадиан, что требует от устройств,

например, PhaseTester или PhaseWatcher, около 1 часа одно измерение с удовлетворительной статистической неопределенностью [3]. Прямое усреднение по длительному промежутку времени существенно увеличивает систематическую ошибку из-за множества нелинейных факторов.

С развитием техники, в первую очередь в медицине, на смену вышеуказанному способу пришел способ двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии [4]. Способ и устройства для его реализации разрабатывались, во-первых, с целью повышения точности и скорости измерений за счет увеличения плотности потока излучения, пропускаемого через объект исследования. Устройства для его реализации основаны на электрических генераторах рентгеновского излучения, в частности, рентгеновских трубках, которые способны обеспечить поток излучения более 10^8 фотон/сек в 10^{-4} стерадиан. Другим неоспоримым преимуществом рентгеновских систем является радиационная безопасность на этапах монтажа, транспортировки, установки и технического обслуживания оборудования.

Двухэнергетические рентгеновские способы и устройства для определения компонентного состава текучей среды с использованием рентгеновских трубок в качестве источника проникающего излучения описаны в патентах [5, 6]. Существенным недостатком известных технических решений, реализующие способ двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии, является регистрация излучения со сложной спектральной структурой и расчет концентраций компонент потока многофазной жидкости по модели справедливой для моноэнергетического излучения, что приводит к увеличению систематических и статистических ошибок.

Одно из наиболее совершенных устройств, реализующих радиационный метод измерения – «X-ray based densitometer for multiphase flow measurement» [7]. По патенту предлагается изобретение целью, которого является создание многофазного расходомера без использования радиоактивных источников, таких как ^{137}Cs , с такой же или улучшенной чувствительностью. Для достижения цели предполагается использование специального источника рентгеновского излучения для генерации рентгеновского пучка с линейчатым спектром вторичной флуоресценции (например, FluorX, описанный в [8, 9]). Существенным недостатком устройства является уменьшение интенсивности характеристических линий за счет переизлучения, в результате чего теряется около 3-х порядков в интенсивности, по сравнению с первичной флуоресценцией [10]. Последнее ведет к снижению интенсивности практически до уровня устройств на основе радиоактивных изотопов. К недостаткам также относится наличие фонового излучения, которое состоит из рассеянного тормозного излучения со сплошным спектром и характеристического $K\beta$ излучения. Интенсивность фонового излучения сравнима с интенсивностью полезного характеристического $K\alpha$ излучения, что приводит к нежелательной нагрузке детектора. Наличие столь интенсивного фонового излучения ведет к увеличению ошибок.

В качестве альтернативы известным способам предлагается переход к волнодисперсионному анализу излучения прошедшего через многофазную среду. Предложенный метод заключается в следующем: генерация излучения при помощи источника на основе рентгеновской трубки, прохождение излучения сложного спектрального состава через многофазную среду, выделение при помощи кристалла анализатора двух узких монохроматических линий излучения (первый и второй порядок дифракции), детектирование этих линий и анализ степени поглощения на этих двух линиях. Для реализации данного способа авторами предложено устройство [11]. Линии рентгеновского излучения с энергиями в районе 20 и 40 кэВ рассматриваются как предпочтительные для проведения анализа.

Предложенный способ обеспечивает ряд преимуществ над известными. Во-первых, в данном способе не предполагается использование радиоактивных изотопов, что увеличивает безопасность устройства. Преимущества по сравнению с устройством,

описанным в работе [7] заключаются в следующем. Исключение этапа переизлучения (возбуждения вторичной флуоресценции), позволяет увеличить интенсивность рентгеновского излучения, что увеличивает точность и скорость анализа. Помимо этого, в предложенном способе обеспечивается гораздо более низкий уровень фонового излучения. На рис. 1 для сравнения приведены спектры излучения от источников рентгеновского излучения: а) Fluor'X [7], б) предложенного источника после отражения от кристалла вольфрама. Спектр для предложенного устройства был промоделирован с использованием пакета программирования GEANT4. Как видно из рисунков, уровень фонового излучения предложенного источника ниже примерно в 10 раз.

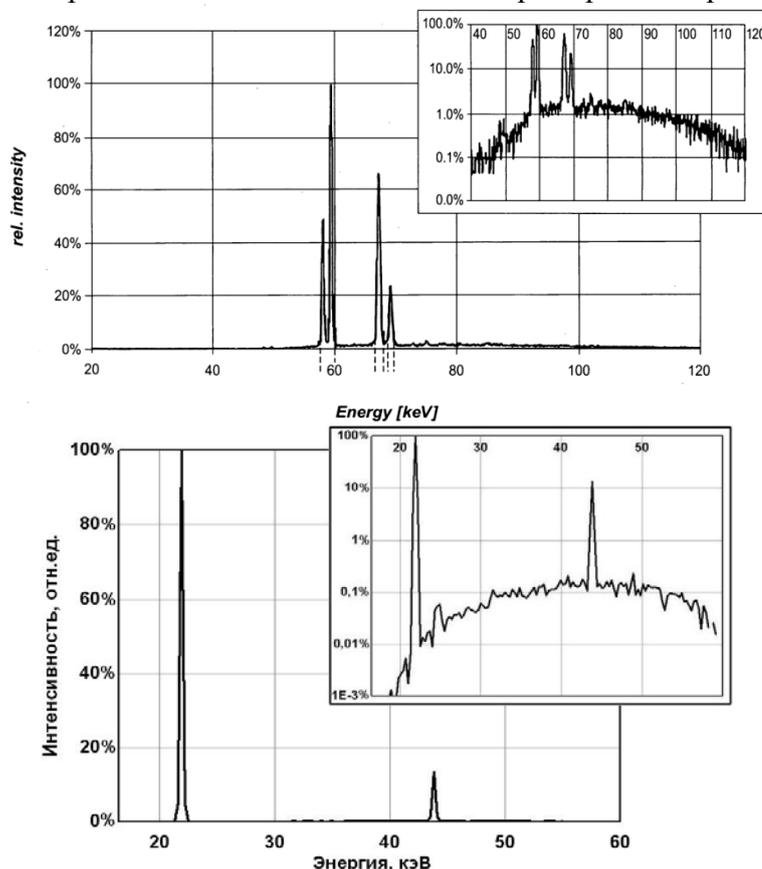


Рис. 1. Спектры излучения от источника рентгеновского излучения: а) Fluor'X, б) предложенного источника

Предложен новый способ для анализа трехкомпонентных сред, обеспечивающий большую чувствительность по сравнению с существующими аналогами. Предварительные оценки показывают чувствительность на уровне 0,25% по содержанию нефти в воде и 1% - по содержанию газа.

Список использованных источников

1. Falcone G. Chapter 5 Current Status and Limitations of Multiphase Flow Metering // *Developments in Petroleum Science*, 2009– V. 54 – С. 191–228
2. Scheers A. M. and Slijkerman W. F. J. Multiphase Flow Measurement Using Multiple Energy Gamma Ray Absorption (MEGRA) // *Composition Measurement*, SPE 36593 (Oct. 6, 1996).
3. Патент РФ № 2009149431/03, 31.12.2009. Коркин Р.В. Способ измерения многофазного потока с применением одного высокоактивного и одного или более низкоактивных радиоактивных источников // Патент России № 2477790. 2013. Бюл. № 8.

4. Dual energy X ray absorptiometry for bone mineral density and body composition assessment—Vienna :International Atomic Energy Agency—2010—132p.
5. Патент РФ № 2010146142/28, 21.01.2009. Ло Пинань, Хэ Джианглин. Способ и система для определения содержания компонентов в многофазном флюиде // Патент России № 2466383. 2012. Бюл. № 31.
6. Патент РФ № 2007123032/28, 19.06.2007. Гроувз Джоэл, Валле Этьенн, Рейт Питер. Устройство и способ определения доли фазы флюида с использованием рентгеновских лучей // Патент России № 2432570. 2008. Бюл. № 30
7. Патент US № 2/902,473, 12.10.2010. Тьюгум С.-А. X-ray based densitometer for multiphase flow measurement // Патент США № 20120087467. 2012
8. Патент US № 07/194,631, 16.05.1988. Хардинг Дж. Radiation source for generating essentially monochromatic x-rays // Патент США № 4903287. 1990
9. Патент US № 07/704,241, 22.05.1991. Хардинг Дж. Monochromatic x-ray tube radiation with a screen of high atomic number for higher fluorescent radiation output // Патент США № 5157704. 1992
10. Грязнов А. Ю. Разработка аппаратурных и методических способов повышения аналитических характеристик энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализатора: Дис. ... канд. техн. наук. – С.-П., 2004. – 132 с.
11. Заявка на патент РФ № 2014122059, 31.05.2014. Гоголев А.С., Резаев Р. О., Черепенников Ю.М.

МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КОРРЕКЦИИ ФОРМЫ КОНЕЧНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ДИСТРАКЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ

Блынский Ф.Ю.

Томский политехнический университет

Введение

Компрессионно-дистракционный остеогенезис (КДО) является одной из наиболее эффективных процедур для устранения врожденных и приобретенных патологий скелетно-мышечной системы человека. Первые опыты по клиническому применению КДО проводились в начале XX века, когда итальянский хирург Алессандро Кодивилла провел операцию по удлинению конечности человека [1]. Тем не менее, разработанный в 1950-х годах аппарат Илизарова, стал бесспорным лидером среди подобных систем для травматологии и ортопедии. Г.А. Илизаров считал, что ритм дистракции должен соответствовать эволюционно сформировавшемуся естественному росту костной ткани [2]. Этот ритм, составляющий не менее 60 дистракционных шагов, обеспечивается за счет автоматизированной системы удлинения конечности с регулируемым значением прикладываемых дистракционных усилий.

Помимо заболеваний, требующих дистракцию/компрессию костной ткани, существует ряд патологий, связанных с необходимостью коррекции формы конечности. Выделяют варусную и вальгусную деформации костной ткани (рис. 1 [3]). Данные патологии могут развиваться у разных возрастных групп. Для детей основными причинами заболевания могут стать рахит, нарушение обмена веществ; для подростков дефицит кальция и витамина D, чрезмерная нагрузка на конечность; для взрослых различные травмы и патологические процессы в суставных соединениях.

Наиболее распространенным методом коррекции деформации конечности является дистракционный остеогенезис (ДО). Кроме того, в исследовании [4] описываются преимущества использования непрерывного ДО для ускорения образования костного регенерата. Сложные деформации костной ткани устраняются за счет хирургического вмешательства. Основными недостатками описанных выше методов являются высокая