

Моделирование электромагнитного поля в резонаторе применительно к измерениям обводнённости топлив

д.т.н. проф. Кардашев Г.А., д.т.н. проф. Шаталов А.Л., к.т.н. доц. Суслин М.А.

*Университет машиностроения**gkardashev@yandex.ru*

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментального исследования цилиндрического объемного резонатора с тонким слоем влаги на нижней торцевой стенке. Анализ известных методов проведен с использованием моделирования методом конечных элементов в системе ANSYS. Практическим применением результатов исследований может служить определение осажденной влаги в авиационных керосинах.

Ключевые слова: *определение свободной влаги, контроль авиационного топлива, моделирование электромагнитного поля*

Интенсивное развитие современной авиационной техники диктует особые требования к качеству используемых топлив, от которых в частности зависит безаварийная эксплуатация и долговечность работы. Так, при подготовке летательного аппарата к вылету берется образец топлива из точки слива топливного бака. Вода в топливе может находиться в растворенном виде (это гигроскопичная вода), в виде взвешенных мельчайших капелек (эмульсионная вода) и в виде отдельной жидкой фазы – свободная вода, которая попадает в топливо в результате ненадлежащих методов хранения, транспортировки и заправки летательных аппаратов, в результате прямого попадания дождя, снега и т.д. [1].

Гигроскопическая вода попадает в топливо в результате поглощения топливом из атмосферы паров воды, которые затем удерживаются в ней силами межмолекулярного взаимодействия. Гигроскопичность – процесс самопроизвольный. Это является основной причиной обводнения топлив. Количество воды, растворяемой топливом, зависит от группового состава: ароматические углеводороды самые гигроскопичные из всех углеводородов. Их гигроскопичность в 10 раз выше, чем парафинов. Гигроскопичность топлива зависит от фракционного состава: с увеличением молекулярной массы (с увеличением плотности) растворимость падает (бензины лучше растворяют в себе воду, чем керосины); кроме того, она зависит от температуры (её растворимость уменьшается при понижении температуры топлива); от влажности (с повышением концентрации паров воды в воздухе её растворимость повышается).

Вода в топливе накапливается не только при похолодании, но и при потеплении. В этом случае масса топлива в ёмкости, ввиду её тепловой инерционности, некоторое время остается холоднее окружающего воздуха, поэтому на зеркале топлива, как на любой холодной поверхности, происходит конденсация водяных паров из воздуха, и в топливе образуются взвешенные мелкие капли воды или кристаллики льда.

Обводнение топлив – факт, с которым нельзя не считаться. Вода свойственно переохлаждение до – 40 оС, и при прокачке топлива она при ударе о фильтр превращается в кристаллы льда, которые забивают фильтр, нарушая, а может быть, и прекращая подачу топлива. При охлаждении топлива капли эмульсии и отстой могут замерзнуть, закупорить жиклеры автоматических устройств, вызвать примерзание клапанов регулировочных агрегатов, заклинивание крыльчатки или поломку приводов насосов.

В условиях резкого колебания температур растворенная вода переходит в эмульсионную (в виде мельчайших капелек воды, находящихся во взвешенном состоянии). Вода особенно опасна, т.к. в зимних условиях она превращается в кристаллы льда, забивает фильтры, создавая тем самым аварийную ситуацию. Содержание свободной воды 0,002% уже опасно! Её содержание в топливе приводит:

- к нарушению гомогенности топлива (появляется твёрдая фаза – кристаллы льда);

- к забивке фильтров – нарушается подача топлива или прекращается совсем;
- к снижению смазывающей способности топлива, что вызывает сухое трение, приводящее к задирам и преждевременному износу летательного аппарата;
- к усилению химической и электрохимической коррозии;
- к повышению коррозионной активности органических кислот.

Топливная аппаратура тракторных дизелей также очень чувствительна к чистоте топлива, в котором могут содержаться различные виды загрязнений: твёрдые, жидкие, газообразные, микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности. Загрязнённость топлива приводит к преждевременной забивке топливных фильтров и преждевременному износу. При отрицательной температуре микрокапли воды приводят к обмерзанию фильтров, что может привести к полному прекращению подачи топлива. Кроме того, вода способствует процессу коррозии.

Результаты исследований по влиянию содержания воды в топливе на работоспособность плунжерных пар показывают, что содержание воды в топливе до 3 % не приводит к заметному ухудшению работоспособности плунжерных пар, наступающему вследствие ухудшения противоизносных и противозадириных свойств топлива. Оно наблюдается при содержании воды в топливе свыше 3 % и может привести к ускоренному износу пар и их заклиниванию. Вместе с тем, при содержании воды в топливе свыше 0,5 % уже наблюдается их коррозионное разрушение [2].

Известные косвенные методы – механические, радиометрические, оптические, теплофизические [3, 4] обладают или низкой чувствительностью, или требуют сложной дорогостоящей реализации, или субъективны. Так, авиационный керосин перед непосредственной заправкой в баки и перед вылетом контролируется на предмет «следов» осажденной влаги методом визуального контроля.

Как известно, интегральные характеристики СВЧ резонансных систем с распределёнными параметрами: резонансная частота, добротность – весьма чувствительны к изменению электрофизических характеристик сред, частично заполняющих объёмный резонатор. В статье представлены результаты моделирования электромагнитного поля (ЭМ) резонатора с возмущающим объёмом в виде керосина со свободной влагой в виде осадка.

Моделирование проведено методом конечных элементов в системе ANSYS при следующей геометрии резонатора и его заполнения (рисунок 1): диаметр резонатора – 75 мм, высота – 103.7 мм; высота керосина с водой – 34.6 мм, высота слоя воды под керосином – 1 мм – показало следующие результаты (рисунок 2).

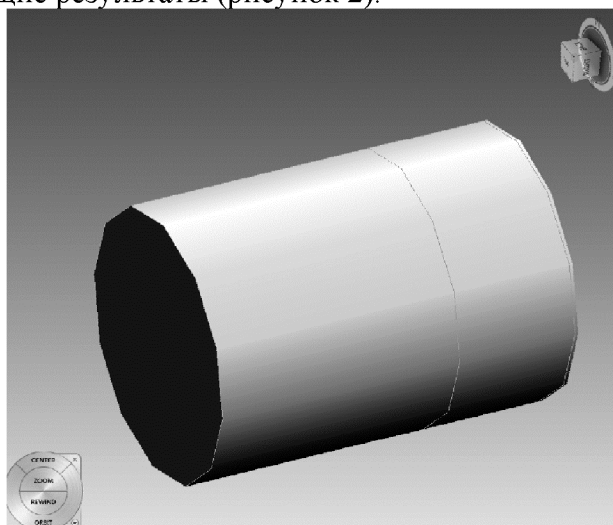


Рисунок 1 – Геометрия резонатора и заполнения: диаметр – 75 мм, высота – 103.7 мм; высота керосина с водой – 34.6 мм, высота слоя воды под керосином – 1 мм

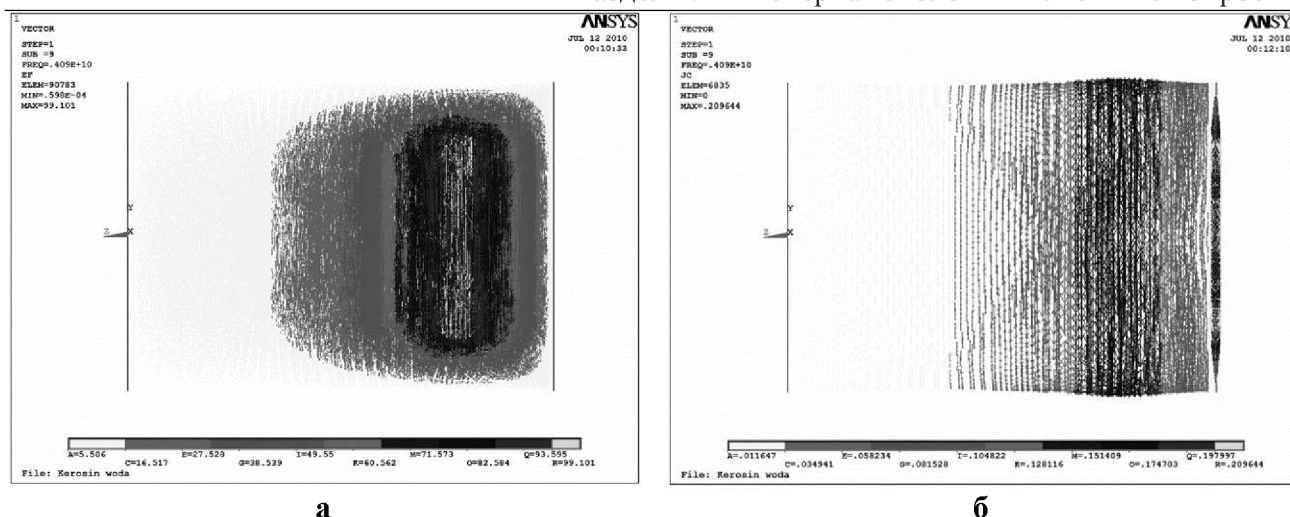


Рисунок 2 – Электрическое поле моды H_{011} (а) и Поверхностные токи резонатора с модой H_{011} (б) в возмущенном резонаторе

Электрические силовые линии пустого резонатора с колебанием H_{011} – это замкнутые концентрические окружности, поле максимально посередине длины резонатора. На стенках протекает поверхностный ток: на торцевых стенках – кольцевой ток, плотность которого равна нулю в центре и у боковых стенок. По боковым стенкам резонатора также течёт кольцевой ток, плотность которого максимальна в среднем сечении. Возмущение в виде слоев керосина и воды приводит к тому, что возмущенный объем начинает концентрировать поле (поле максимально на границе воздух-керосин – рисунок 2а), при этом концентрация увеличивается при увеличении диэлектрической проницаемости керосина (относительная диэлектрическая проницаемость керосина изменяется в пределах 2,1-2,3). Поверхностный ток торцевой стенки со слоем воды на порядок больше поверхностного тока другой торцевой стенки (рисунок 2б). Перераспределение поверхностных токов в возмущенном резонаторе по сравнению с пустым объемными резонаторами изменяет парциальную добротность, вызванную потерями в стенках. Таким образом, наблюдается неконтролируемое изменение электрического поля и добротности пустого резонатора.

Для устранения названных недостатков предлагается сливать керосин и исследовать тонкий слой влаги на нижней торцевой стенке.

Был исследован объемный резонатор с осадком в виде влаги на дне. Возбуждающая петля в резонаторе выступает от плоскости боковой стенки примерно на 1,5-2,0 мм, рис. 4. Это обеспечивает фильтрацию всех колебаний, кроме H_{011} в диапазоне от 2,56 до 4,0 ГГц (диапазон изменения частоты генератора Г4-80). Это проверено экспериментально. Резонансная частота колебания H_{011} пустого резонатора равна 2707,3 МГц, а добротность – 10218 (внутренняя поверхность резонатора посеребрена, это видно на рисунке 4). Резонансная частота колебания H_{013} – $f = 4804$ МГц, добротность – 2871.



Рисунок 4 – Внешний вид исследуемого резонатора с колебаниями H_{011} и H_{013}

В резонатор дозированно добавлялась вода (на нижнюю торцевую стенку) от 1 мл до 10 мл, измерялась частота и нагруженная добротность по уровню “0,5” показаний микроамперметра. Объем влаги был пересчитан исходя из геометрических размеров резонатора в эффективную высоту влаги.

Наличие тонкого слоя влаги на нижней торцевой стенке резонатора структуру поля мод H_{011} , H_{013} и E_{010} практически совершенно не искажает. Наличие тонкого слоя почти не изменяет резонансную частоту колебаний (частота остается в пределах полосы задержания ненагруженной системы), а добротность изменяется значительно.

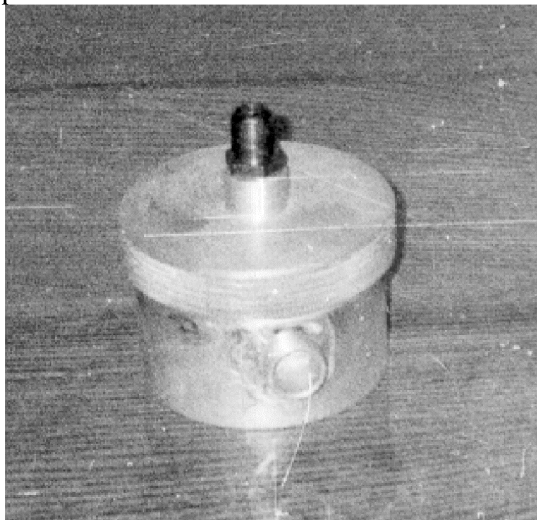


Рисунок 5 – Внешний вид исследуемого резонатора с колебанием E_{010}

Для исследования колебания E_{010} резонатора с тонким слоем влаги на нижней торцевой стенке использовался объемный резонатор, который изображен на рисунке 5. Его размеры: длина – 50 мм, диаметр – 9 мм. Резонансная частота колебания E_{011} пустого резонатора равна 2550 МГц, а добротность – 1850.

На рисунке 6 показаны экспериментальные значения нагруженной добротности резонатора с колебаниями H_{011} , H_{013} и E_{010} от объемной концентрации влаги в осадке $\%V$. Объемная концентрации влаги в осадке $V\%$ рассчитывалась как отношение эффективной высоты влаги $l_{эф}$ к высоте резонатора l_{OP} :

$$V\% = \frac{l_{эф}}{l_{OP}}.$$

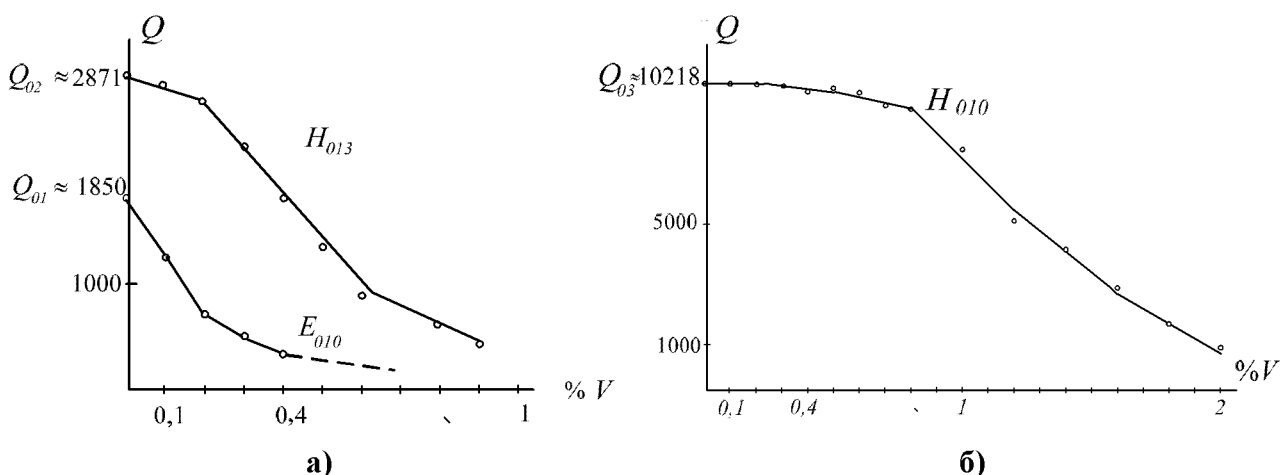


Рисунок 6 – Зависимость нагруженной добротности резонаторов от объемного влагосодержания в осадке: а – для колебаний E_{011} и H_{013} ; б – H_{011}

До концентрации порядка 0,4% информативным параметром может служить изменение

добротности колебания E_{011} в диапазоне порядка 0,4 – 2% – изменение добротности колебаний H_{011} и H_{013} . Это объясняется тем, что электрические силовые линии колебаний H_{011} и H_{013} замкнуты и имеют только одну радиальную составляющую E_ϕ , которая у торцевой стенки равна нулю, а электрическое поле E_z колебания E_{010} равномерно по длине резонатора, поэтому колебание E_{010} будет обладать большей чувствительностью к наличию влаги в осадке.

Таким образом, исследование только осадка жидкого углеводорода устраняет влияние изменения растворенной влаги в жидких углеводородах, объемная доля которой зависит от температуры, атмосферного давления, типа углеводорода. Наличие тонкого слоя влаги на нижней торцевой стенке резонатора структуру поля мод H_{011} , H_{013} и E_{010} практически не искажает. Наличие такого тонкого слоя практически не изменяет резонансную частоту колебаний (частота остается в пределах полосы задержания ненагруженной системы), а добротность (за счет изменения эффективной проводимости нижней стенки) изменяется значительно. С увеличением добротности пустого резонатора пропорционально увеличивается чувствительность к содержанию свободной влаги.

Приведенные исследования позволяют сделать вывод о принципиальной возможности применения объемных резонаторов для определения свободной влаги в полевых условиях.

Литература

1. Беликов А.М. Авиационные топлива и смазочные материалы / А. М. Беликов, Э. В. Корabelников, В. А. Судца, – Ставрополь: СВВАИУ им. Маршала авиации, 2009 – 246 с.
2. Григорьев М.А., Борисова Г.В. Очистка топлива в двигателях внутреннего сгорания. М.: Машиностроение, 1991. - 208 с.
3. Неразрушающий контроль и диагностика. Справочник под редакцией В.В.Клюева. –М.: Машиностроение. 1995. с. 487.
4. Берлинер М.А. Измерение влажности –М.: Энергия 1973, - 201 с.

Использование послеспиртовой барды в качестве сырья для получения высокобелковых кормовых препаратов

Мельникова Е.В., к.т.н. Герман Л.С., Захаров З.В., Жарко М.Ю.

Университет машиностроения

8(499)267-19-39

Аннотация. В статье рассмотрены способы переработки компонентов послеспиртовой барды для получения ферментационных сред (углеводной и ростовой части). Приведены результаты экспериментов по культивированию на этих средах дрожжей рода *Phaffia*, продуцента высшего каротиноида астаксантина.

Ключевые слова: послеспиртовая барда, дробина, биомасса дрожжей, гидролиз, культивирование.

Проблема утилизации послеспиртовой барды в наши дни стоит очень остро, так как спирт используется во многих сферах нашей жизнедеятельности. Например, в медицине и пищевой промышленности. Производство спирта, несомненно, должно расширяться, ведь спирт – это не только химическое соединение, но и основа для получения высокооктанового бензина (при помощи низкотемпературного крекинга), то есть биотоплива. Значит, потребности в спирте будут возрастать. При получении 1 литра спирта получают 10 литров барды, которую недопустимо выливать в окружающую среду. Себестоимость получения спирта низкая, а для того чтобы перерабатывать отходы, понадобятся большие материальные затраты, в связи с этим нужно получать из барды «дорогой» продукт (высококачественный). Сушить барду экономически невыгодно, так как приходится удалять 95% влаги, что влечет за собой большие затраты на переработку и, соответственно, увеличивает себестоимость спирта. Получаемый в результате кормовой препарат содержит 30-35% белка, стоимость такого