

Модель конвейерного способа переработки веществ при помощи СВЧ-нагрева

Д.А. Веденькин, А.З. Халиков, Р.Р. Хабибуллин

*Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань*

Аннотация: В данной статье рассматривается способ реализации конвейерного метода переработки веществ при помощи СВЧ-излучения и идеи использования принципа сфокусированной апертуры при организации адаптивного управления процессами переработки. Результаты расчетов подтверждают возможность создания конвейеров с реализацией функции СВЧ-переработки транспортируемых материалов.

Ключевые слова: микроволновые технологии, широкополосный сигнал, переработка веществ, сфокусированная апертура.

Разработка нового способа конвейерной переработки позволит осуществить необходимые циклы нагрева, управления температурой, обеспечения автоматической подачи материалов, предназначенных для переработки в рабочую зону СВЧ-камеры. Это предоставит возможность для проведения новых экспериментов с получением продукта требуемого качества. [1] Для реализации конвейерного метода переработки веществ с использованием широкополосной сфокусированной апертуры [2-7] необходимо выбрать наиболее подходящий тип конвейера и осуществить фокусировку по широкополосному сигналу.

Для реализации данной установки была создана модель (рис.1). В качестве излучателя был рассчитан и смоделирован делитель мощности из прямоугольного волновода с внутренними размерами стенок 45x90 и толщиной стенок 2 мм.

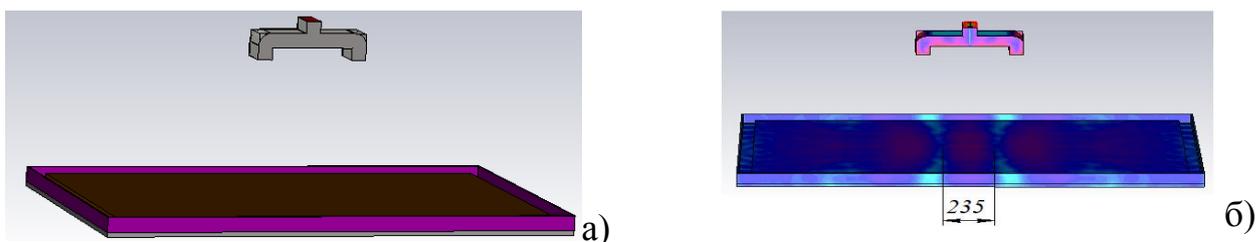


Рис. 1 – Конвейер с размещенным над ним СВЧ-излучателем:
общий вид (а), распределение электромагнитной энергии (б)

Первоначально моделирование проводилось без диэлектрической вставки. Результаты моделирования показали, что в центре нагреваемого вещества происходит наложение фаз и создается пятно нагрева (рис. 1б).

Далее для изменения фазы в одно из плеч делителя мощности вставляется диэлектрическая вставка толщиной $s = 10$ мм и диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 1,1$ (рис. 2).

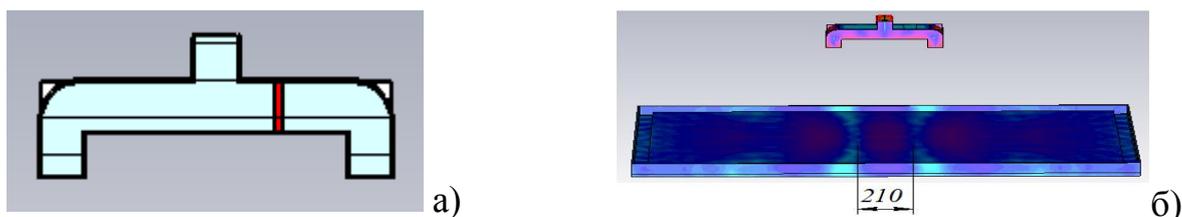


Рис.2 – Волноводный делитель с диэлектрической вставкой (а) и распределение электромагнитного поля (б).

Далее проводилось моделирование с диэлектрическими вставками разной толщины из результатов которого, видно, что из-за диэлектрической вставки изменяется фаза и, как следствие, перемещается пятно нагрева (рис. 2б). Из этого следует, что можно управлять областью нагрева за счет увеличения/уменьшения толщины диэлектрической вставки.

Одной из важнейших задач данной установки является обеспечение равномерного нагрева (фокусирование антенны) [8 - 11] перерабатываемого вещества, поэтому была создана математическая модель для оценки распределения электромагнитного поля на поверхности конвейера (рис. 3).

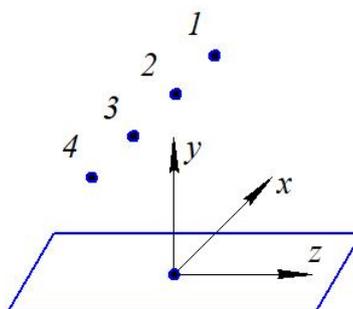


Рис. 3 – Расположение излучателей относительно ленты конвейера

Запишем формулу импульса, излучаемой каждой из антенн:

$$s(t) = \frac{1}{1 + (a^2 * t^2)^m} \quad (1)$$

где a и m – коэффициенты, задающие ширину и прямоугольность импульса соответственно, t – время, выраженное в нс.

Далее запишем функцию сфокусированного электромагнитного поля, создаваемого некогерентной антенной решеткой:

$$E(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^4 \frac{s(t - \frac{R_i}{c} + \frac{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2}}{c})}{\sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2}}, \quad (2)$$

где R_i – расстояние от точки фокусировки до каждой из антенн, x, y, z – координаты точки наблюдения, x_i, y_i, z_i – координаты излучателей.

Построим графики распределения электромагнитного поля в разных плоскостях при длительности импульса $t_{in} = 0,5$ нс (рис. 4 – 6).

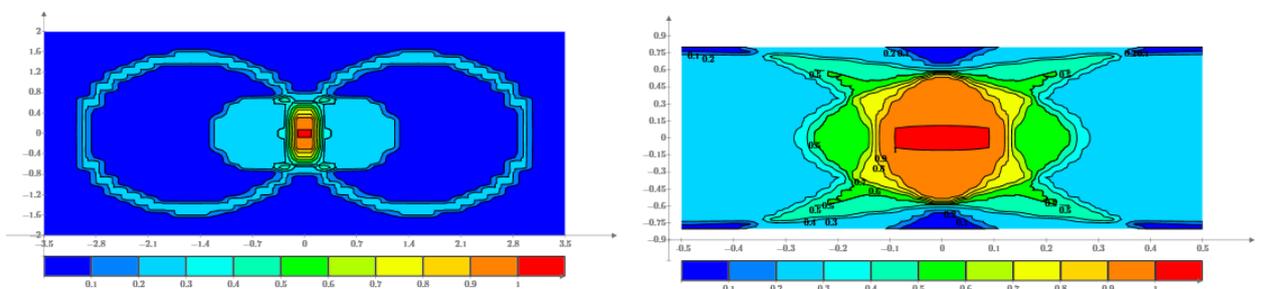


Рис. 4 – График распределения электромагнитного поля в плоскости X-Z

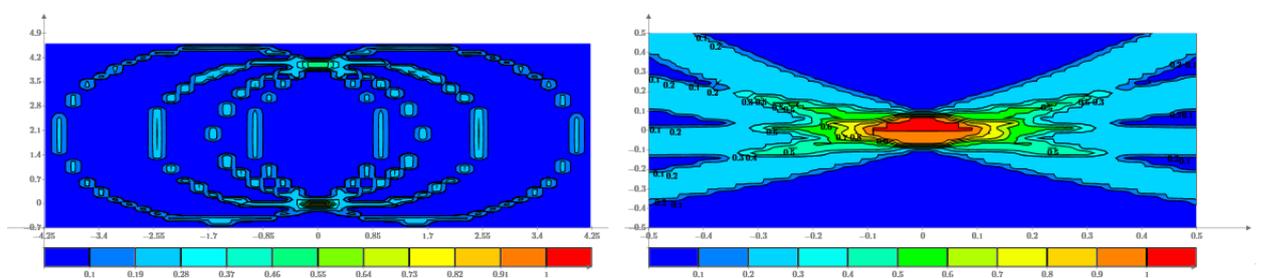


Рис. 5 – График распределения электромагнитного поля в плоскости X-Y

Исходя из полученных графиков можно оценить размеры пятен нагрева

по уровню 0,707: в плоскости X-Z – 0,26x0,25 м, в плоскости X-Y – 0,29x0,064 м, в плоскости Y-Z – 0,17x0,11 м.

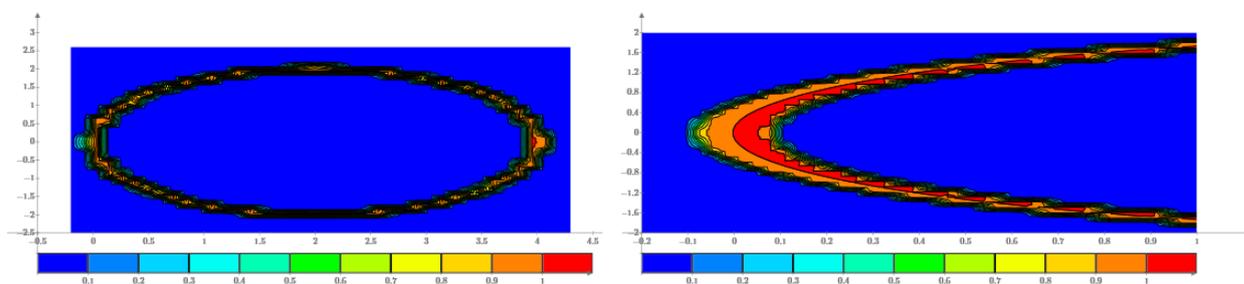


Рис. 6 – График распределения электромагнитного поля в плоскости Y-Z

Далее аналогичные расчеты производились для импульсов длительностью 1 нс и 1,5 нс. Анализ полученных результатов и графиков показал, что размеры области фокусировки увеличиваются: в плоскости X-Z – до 0,91x0,54 м, в плоскости X-Y – до 0,81x0,2 м, в плоскости Y-Z – до 0,49x0,19 м.

Выводы по статье

В результате проделанной работы из первой части можно сделать вывод, что диэлектрическая вставка влияет на смещение электромагнитного поля в плоскости X-Z: при увеличении толщины вставки на 10 мм поле смещается примерно на 7 мм. На глубину проникновения вставка практически не влияет.

Из второй части работы сделали выводы, что при отдалении точки наблюдения от точки фокусировки импульсы постепенно начинают разделяться: чем дальше расстояние, тем выше разброс импульсов. Также оценили размеры пятен фокусировки при различных длительностях импульсов: при $t_{и}$ от 0,5 нс до 1,5 нс пятна нагрева варьировались от 0,26x0,25 м до 0,91x0,54 м в плоскости X-Z, от 0,29x0,064 м до 0,81x0,2 м в плоскости X-Y, от 0,17x0,11 м до 0,49x0,19 м в плоскости Y-Z.

Необходимо отметить, что развитие радиотехники неразрывно связано с

образованием и заимствованием терминологии из англоязычных источников. С увеличением опыта международного обмена и расширением академической мобильности проблемы, связанные с корректным использованием заимствованных терминов становятся все более актуальными [12-15].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части Государственного Задания 8.6872.2017/8.9.

Литература

1. Д.А. Веденькин, А.З. Халиков. Реализация конвейерного метода переработки веществ с использованием широкополосной сфокусированной апертуры // Инженерный вестник Дона. 2017. №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4256
2. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Параметры разреженных сфокусированных антенных решеток, Наука и бизнес: пути развития. 2013. № 10 (28). С. 56-59.
3. Vedenkin D.A., Potapova O.V., Sedelnikov Y.E. Antennas, focused in the near radiated field zone. Features and technical application, 2013 9th International Conference on Antenna Theory and Techniques, ICATT 2013 2013. pp. 560-565.
4. Седельников Ю.Е., Веденькин Д.А. Антенные решетки, сфокусированные по широкополосному сигналу, Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. Т. 18. № 3-1. С. 23-30.
5. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е., Потапова О.В. Свойства сфокусированных антенн для задач акустической эхолокационной диагностики, Нелинейный мир. 2014. Т. 12. № 10. С. 64-68.
6. Д.А. Веденькин, Д.Е. Шаронов Анализ характеристик управляемой частотно-селективной поверхности в СВЧ диапазоне // Инженерный вестник Дона. 2017. №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4233

7. Д.А. Веденькин, И.И. Фаизов Исследование процессов переработки плотного битумизированного нефтешлама с использованием СВЧ-энергии // Инженерный вестник Дона. 2017. №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3636

8. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов, Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2008. Т. 11. № 4. С. 40-46.

9. Седельников Ю.Е., Веденькин Д.А. Антенные решетки, сфокусированные по широкополосному сигналу, Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. Т. 18. № 3-1. С. 23-30.

10. Веденькин Д.А., Насыбуллин А.Р., Седельников Ю.Е. Случайные разреженные когерентные антенные решётки, сфокусированные в зоне ближнего излучённого поля, Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 4 (32). С. 22-29.

11. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Свойства сфокусированных волновых полей в промежуточной зоне излучения, Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 1 (29). С. 18-31.

12. Яхина Р.Р. Функционально-семантическое усвоение терминов английского происхождения: процесс деэтимологизации // Вестник Оренбургского государственного университета. 2017. № 3 (203). С. 49-53.

13. Яхина Р.Р., Залалтдинова Р.Р. Англоязычная терминология: процесс заимствования и ассимиляции // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2017. №12-4 (78). С. 190-193.

14. Яхина Р.Р. Образование англицизмов в современном русском языке // Современные исследования социальных проблем. 2011. Т.8. №4.1. С.537-542.

15. Novikova S.V., Sosnovsky S.A., Yakhina R.R., Valitova N.L., Kremleva E.Sh. The specific aspects of designing computer-based tutors for future engineers in numerical methods studying // Integration of education. 2017. V. 21. № 2 (87). Pp. 322-343.

References

1. D.A. Veden'kin, A.Z. Khalikov Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4256

2. Veden'kin D.A., Sedel'nikov Ju.E. Nauka i biznes: puti razvitija. 2013. № 10 (28). pp. 56-59.

3. Vedenkin D.A., Potapova O.V., Sedelnikov Y.E. 2013 9th International Conference on Antenna Theory and Techniques, ICATT 2013. pp. 560-565.

4. Sedel'nikov Ju.E., Veden'kin D.A. Fizika volnovyh processov i radiotekhnicheskie sistemy. 2015. V. 18. № 3-1. pp. 23-30.

5. Veden'kin D.A., Sedel'nikov Ju.E., Potapova O.V. Nelinejnyj mir. 2014. V. 12. № 10. pp. 64-68.

6. D.A. Veden'kin, D.E. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4233

7. Veden'kin D.A., Faizov I.I. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3636

8. Veden'kin D.A., Sedel'nikov Ju.E. Fizika volnovyh processov i radiotekhnicheskie sistemy. 2008. V. 11. № 4. pp. 40-46.

9. Sedel'nikov Ju.E., Veden'kin D.A. Fizika volnovyh processov i radiotekhnicheskie sistemy. 2015. V. 18. № 3-1. pp. 23-30.



10. Veden'kin D.A., Nasybullin A.R., Sedel'nikov Ju.E. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Serija: Radiotekhnicheskie i infokommunikacionnye sistemy. 2016. № 4 (32). pp. 22-29.

11. Veden'kin D.A., Sedel'nikov Ju.E. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. Serija: Radiotekhnicheskie i infokommunikacionnye sistemy. 2016. № 1 (29). pp. 18-31.

12. YAhina R.R. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2017. № 3 (203). pp. 49-53.

13. YAhina R.R., Zalaltdinova R.R. pFilologicheskie nauki. Voprosy teorii i praktiki. 2017. №12-4 (78). pp. 190-193.

14. YAhina R.R. Sovremennye issledovaniya social'nyh problem. 2011. V.8. №4.1. pp.537-542.

15. Novikova S.V., Sosnovsky S.A., Yakhina R.R., Valitova N.L., Kremleva E.Sh. Integration of education. 2017. V. 21. № 2 (87). Pp. 322-343.