

*Дударев К.П., Коннов А.В., Сурков С.В.  
АО НПП «Торий»*

## **Оптимизация диссектора циклического СВЧ дефростера**

*Рассматривается вопрос оптимизации размеров и положения диссектора в камере дефростера заданных габаритов для равномерного прогрева мясного и рыбного блоков. Представлены результаты расчётов распределения СВЧ поля в камере дефростера с применением диссектора.*

**Ключевые слова:** СВЧ техника, СВЧ дефростер, диссектор, размораживание.

Пищевая промышленность России ежегодно перерабатывает миллионы тонн замороженного мяса и рыбы. Для этих целей применяются различные системы размораживания исходной продукции. Наиболее эффективными из них являются СВЧ системы размораживания, так называемые СВЧ дефростеры. Дефростером называется устройство, имеющее в своей конструкции СВЧ-камеру и источник СВЧ излучения.

В процессе размораживания микроволны излучаются генератором СВЧ энергии и по волноводам передаются в рабочую зону СВЧ-камеры. Известно, что энергия микроволн преобразуется в тепло вследствие диэлектрических потерь в продукте. Дефростер служит для размораживания различных типов продукции: мяса, рыбы, птицы; и для каждого типа используются различные по мощности и частоте генераторы СВЧ энергии. В качестве генератора дефростера в промышленности широко применяется магнетрон, работающий на частоте 915 МГц.

Для увеличения равномерности нагрева блока в камере используется один из двух способов: либо вращающийся поддон, либо рассеиватель микроволн (диссектор). Сам нагрев длится, как правило, 2-3 минуты. Такие камеры ставятся в крупных ресторанах, кораблях дальнего плавания и на предприятиях мясоперерабатывающей и рыбоперерабатывающей промышленности.

В домашних условиях использование вращающегося поддона более рационально в силу малых габаритов и веса размораживаемых продуктов, однако в случае промышленного использования поворотный механизм подноса под большим весом недолговечен, к тому же подобный механизм будет заметно усложнять конструкцию СВЧ дефростера и как следствие, повышать его стоимость. Использование камеры с диссектором в промышленном дефростере позволяет уменьшить расходы на производство поворотного механизма, сэкономить место в конструкции СВЧ дефростера, увеличить долговечность и практичность механизма изменения поля [1].

Размеры оптимизируемой камеры дефростера 1000x1000x800мм. Габариты камеры выбраны так, чтобы по каждой из координат укладывалось несколько полуволн. В этом случае камера является многомодовым резонатором. В силу нестабильности системы, моды в такой камере будут меняться во времени даже без использования диссектора. Окна ввода энергии в камеру расположены друг относительно друга под углом 90° для уменьшения влияния магнетронов друга на друга. Окна ввода энергии располагаются на верхней стенке для того, чтобы вектор напряженности электрического поля  $E$  в любой точке был направлен параллельно плоскости блока. При такой направленности, поле, проходя через границу

сред, не ослабевает (непрерывность тангенциальной компоненты электрического поля), что увеличивает эффективность нагрева[2].

Диссектор выполнен в виде уголкового отражателя для того, чтобы отражать волны не в сторону генераторов, снижая таким образом нагрузку на генераторы. Также уголковая форма диссектора увеличивает его жесткость.

Коэффициент отражения от диссектора (рассеивания) зависит как от формы диссектора, так и от его положения относительно облучателя. Суть оптимизации заключается в следующем: необходимо выбрать параметры диссектора так, чтобы уменьшить или вовсе устранить пятна локального перегрева мясного или рыбного блока в камере дефростера, сохраняя при этом относительно небольшой коэффициент отражения на входах в волноводы. Так как диэлектрические свойства рыбы и мяса различны, то в каждом случае необходимо было подбирать форму и положение диссектора.

На рис. 1 приведена расчётная модель камеры дефростера для мясного блока, а на рис. 2 - выбранная конструкция диссектора. Для создания расчетной модели взяты стандартные размеры мясного блока 250x600x400мм. Тангенс угла диэлектрических потерь замороженного до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  постного мяса составляет 0.2, а диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  равна 4,6.

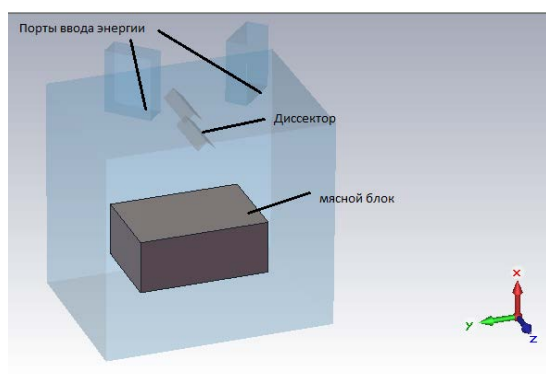


Рис.1 Трехмерная модель камеры дефростера

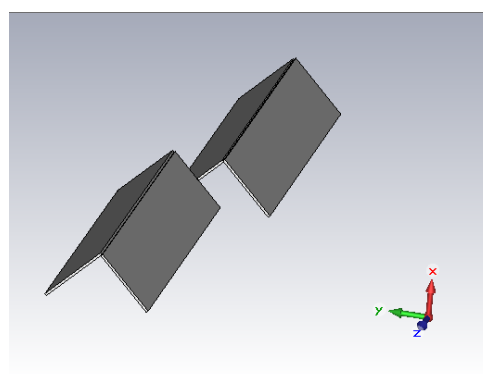


Рис. 2 Трехмерная модель диссектора

В ходе оптимизации были проведены расчеты данной системы, в результате которых определялись элементы матрицы рассеяния  $S_{11}$  (коэффициенты отражения на портах), КСВн, распределение потока энергии внутри камеры дефростера, распределение локального тепловыделения в мясном блоке. Расчеты проводились с двумя положениями диссектора: поперек и вдоль задней стенки, чтобы увидеть изменение поля при вращении диссектора. Излучение волноводов предполагалось синфазным.

В процессе расчёта необходимо было контролировать КСВн на входе волноводов, так как допустимый уровень КСВн для нормальной работы магнетрона не должен превышать значений 2-3.

В результате оптимизации геометрии диссектора (длины, ширины лопастей и высоты положения диссектора относительно верхней стенки камеры), были получены следующие размеры лопастей: длина 310 мм, ширина 40мм, толщина 1 мм. Расстояние от верхней стенки камеры дефростера 80 мм.

На рис. 3-6 представлены результаты расчета.

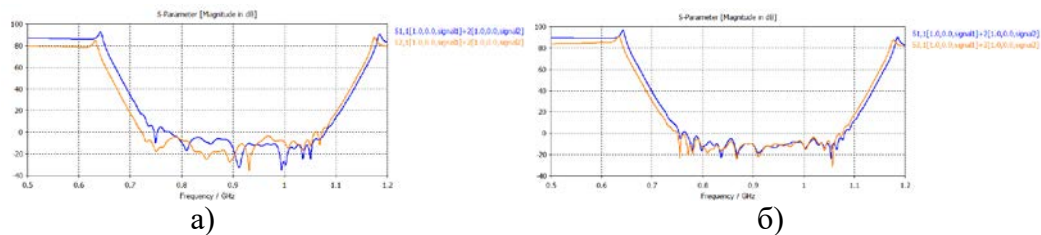


Рис. 3. Частотная зависимость  $S_{11}$ . а) - диссектор параллелен задней стенке, б) - диссектор перпендикулярен задней стенке.

Из рис. 3 следует, что на частоте 915 МГц  $K_{СВн} = 1,08$ , когда диссектор параллелен задней стенке камеры дефростера и  $K_{СВн} = 1,1$ , когда диссектор перпендикулярен задней стенке камеры дефростера.

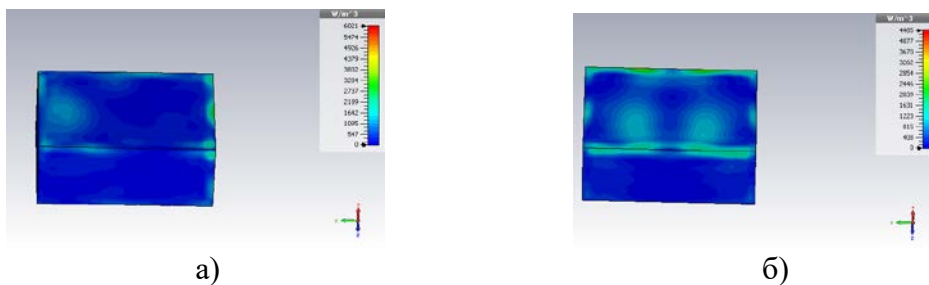


Рис. 4. Тепловыделение в мясном блоке, а) - диссектор параллелен задней стенке, б) - диссектор перпендикулярен задней стенке.

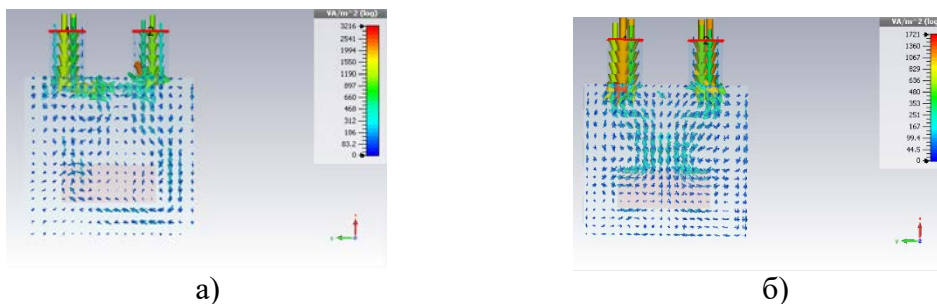


Рис. 5. Распределение потока СВЧ мощности в камере дефростера, вид спереди, а) - диссектор параллелен задней стенке, б) - диссектор перпендикулярен задней стенке.

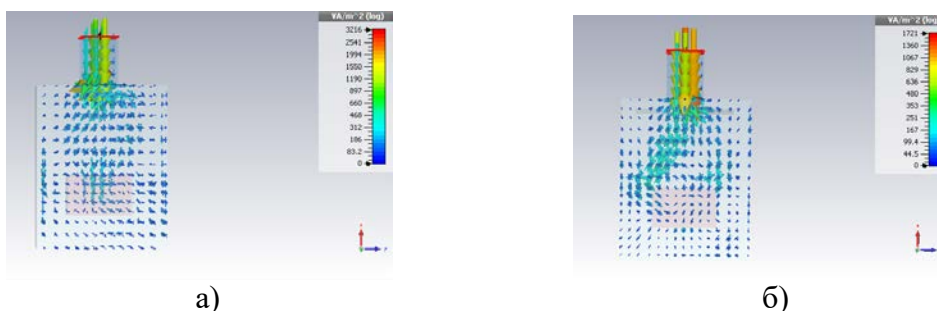


Рис. 6. Распределение потока СВЧ мощности в камере дефростера, вид сбоку, а) - диссектор параллелен задней стенке, б) - диссектор перпендикулярен задней стенке.

Из полученных данных видно, что пятна локального нагрева меняют свое местоположение в зависимости от положения диссектора, что означает, что поле хорошо перемешивается. Перегрев остается лишь на ребрах мясного блока. Это вызвано тем, что на ребрах

слой мяса очень тонкий и прогрев осуществляется быстрее. В действительности, мясные блоки, упакованные в стандартные коробки, не имеют острых кромок.

Для оптимизации диссектора при размораживании рыбного блока был выбран стандартный блок максимальных размеров: 200×850×600мм, причём в ходе исследований выяснилось, что располагать рыбный блок в камере дефростера необходимо перпендикулярно задней стенке. Форма диссектора при этом сохранилась. Тангенс угла диэлектрических потерь замороженной до -20 °С рыбы составляет 0,15, а диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  равна 4,4. Расчётная модель для рыбного блока представлена на рис. 7.

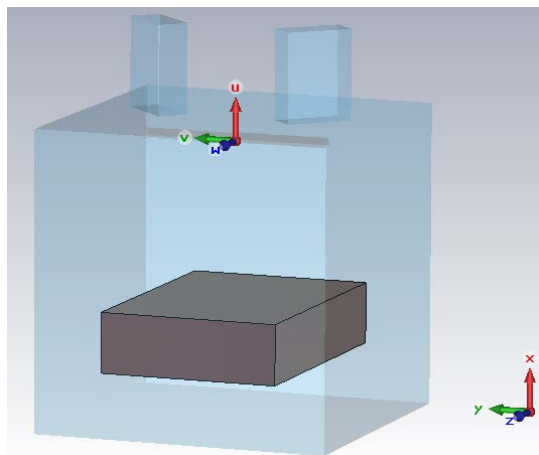


Рис. 7. Расчётная модель камеры СВЧ дефростера для рыбного блока.

После ряда расчетов по изменению длины и ширины лопастей диссектора и высоты положения диссектора относительно верхней стенки камеры, лопасти диссектора получили следующие размеры: длина 310 мм, ширина 40мм, толщина 1 мм. Расстояние от верхней стенки камеры дефростера 80 мм. Таким образом диссектор заданных размеров подходит как для мясного блока так и для рыбного.

На рис. 8-10 показаны результаты расчёта рыбного блока при указанных выше температурах.

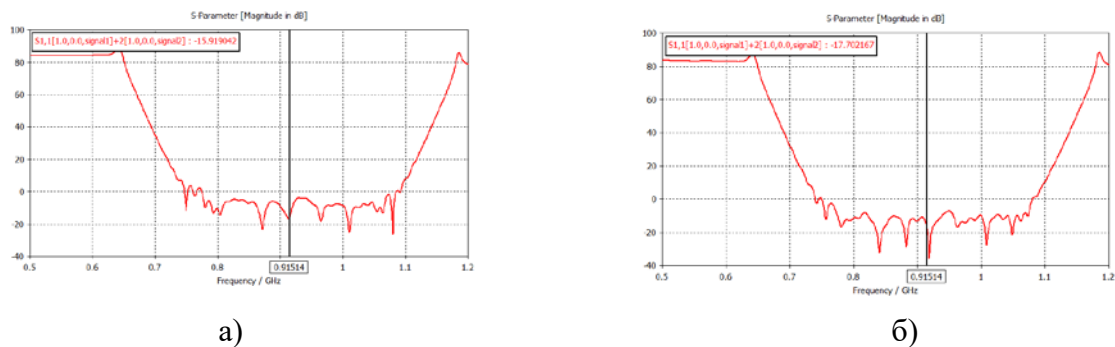


Рис. 8. S-параметры. а - диссектор параллелен задней стенке, б - диссектор перпендикулярен задней стенке.

Из рис. 8 следует, что на частоте 915 МГц КСВн = 1,06, когда диссектор параллелен задней стенке камеры дефростера и КСВн = 1,04, когда диссектор перпендикулярен задней стенке камеры дефростера.

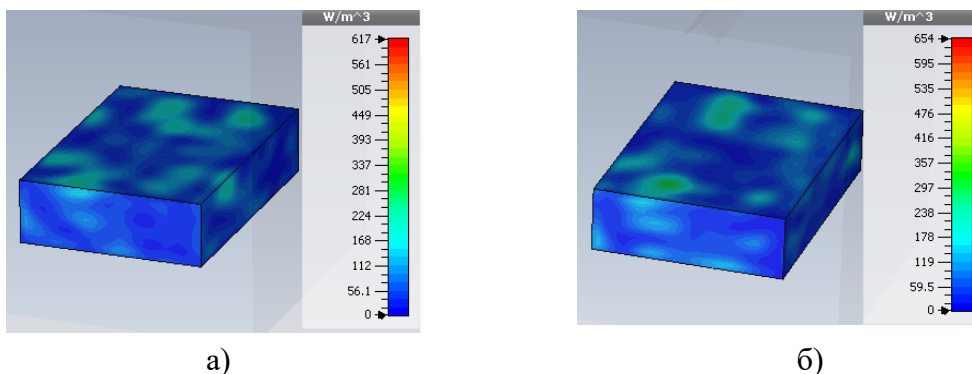


Рис. 9. Нагрев рыбного блока. а - диссектор параллелен задней стенке, б - диссектор перпендикулярен задней стенке.

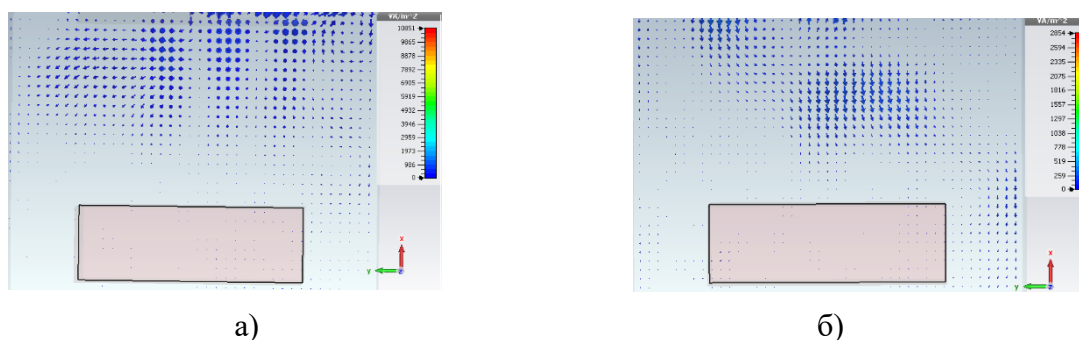


Рис. 10. Распределение энергии в камере, поперечный разрез. а – диссектор параллелен задней стенке, б - диссектор перпендикулярен задней стенке.

Из полученных данных видно, что пятна сильного перегрева отсутствуют, оставшиеся локальные участки небольшого нагрева меняют свое местоположение при различной температуре размораживаемого рыбного блока в зависимости от положения диссектора, что означает, что поле достаточно хорошо перемешивается.

В ходе работы удалось оптимизировать камеру и диссектор циклического СВЧ дефростера для размораживания мясных и рыбных блоков. Оптимизация показала, что для размораживания заданных блоков лучше всего подходит диссектор, имеющий следующие параметры: длина 310 мм, ширина 40мм, толщина 1 мм, расстояние от верхней стенки камеры дефростера 80 мм. Таким образом можно сделать вывод, что СВЧ камера и конструкция дефростера универсальны, то есть подходят как для размораживания мясных, так и для размораживания рыбных блоков, несмотря на существенные различия в диэлектрических свойствах и габаритах. Во всех приведенных расчётах КСВ не превышал допустимый уровень (2-3), что гарантирует стабильную работу магнетронов.

#### Библиографический список

1. Окресс Э. «СВЧ-энергетика. Том 3. Применение энергии сверхвысоких частот в медицине, науке и технике», из-во «Книга по требованию», 2012 г.;
2. Лебедев И.В. «Техника и приборы СВЧ. Том 2», из-во «Высшая школа», 1970г.;