

## Высокоэффективные нагреватели воды

Фролов Александр Владимирович

<http://alexfrolov.narod.ru>

Задача в целом выглядит, как получение максимального нагрева рабочего тела (теплового выхода) при минимальных затратах электроэнергии. Данная тема имеет несколько направлений развития. Впервые, магнетронный вариант решения данной задачи был предложен Владимиром Ивановичем Коробейниковым, опубликовано в журнале «Новая Энергетика» №2, 2005 год. При организации исследований, предлагается привлечь Коробейникова в статусе соавтора.

Рассмотрим кратко принцип работы магнетрона. На фото показан обычный магнетрон в разрезе.

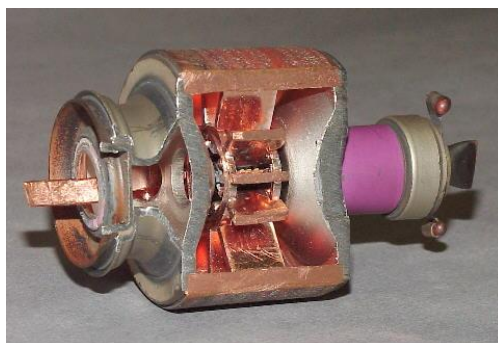


Рис. 1. Магнетрон в разрезе.

На втором рисунке показана схема, поясняющая процессы энергообмена при работе магнетрона.

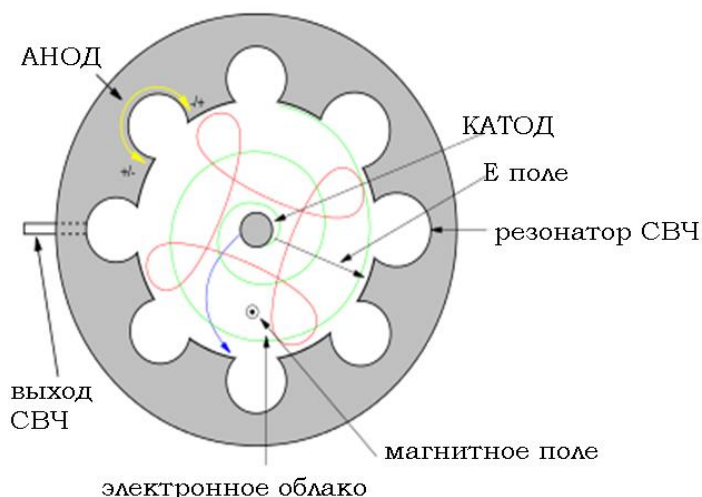


Рис. 2 Схема движения электронов внутри магнетрона

Электроны эмитируются из катода, который расположен в центре, и двигаются в сторону анода на периферию, ускоряемые электрическим полем. В пространстве взаимодействия между катодом и анодом, на электроны воздействует постоянное электрическое поле (в радиальном

направлении), постоянное аксиальное магнитное поле и поле электромагнитной волны. Без магнитного поля, получился бы обычный диод, в котором электроны двигаются линейно к аноду. Магнитное поле изменяет траекторию электронов, это действие силы Лоренца.

Таким образом, в коаксиальном пространстве между анодом и катодом магнетрона постоянно есть некоторое количество движущихся электронов, так называемое «электронное облако». Возникновение электромагнитной волны происходит в этом электронном облаке. В нем возникают неустойчивости, которые приводят к генерации электромагнитных колебаний, эти колебания усиливаются резонаторами.

Обычно, основной задачей конструкторов является усиление и съем этой СВЧ энергии, которая по волноводу направляется в рабочую область СВЧ печи или излучается в нужном направлении радаром. Нас интересует только тепловой выход, поэтому предлагается конструктивно решить задачу оптимального преобразования энергии СВЧ волны в тепловую энергию. В простейшем случае, это можно обеспечить рассеиванием электромагнитной волны на металлическом корпусе магнетрона (в аноде), где необходимо предусмотреть теплообменники с циркулирующим по системе теплоносителем.

Важно отметить, что если бы электроны не взаимодействовали с полем электромагнитной волны, то они двигались бы в скрещённых электрическом и магнитном полях по эпициклоидам, вокруг катода. В реальном магнетроне, траектории электронов намного интереснее и имеет радиальную составляющую (красная линия на Рисунке 2). Другими словами, на такой траектории электроны то приближаются к аноду, то удаляются. В их движении отражен энергообмен между электронами и электромагнитной волной, которая обеспечивает перенос энергии и обуславливает нужный нам тепловой выход.

При достаточно сильном магнитном поле, электрон, движущийся по этой кривой, не может достичь анода, при этом говорят, что произошло **магнитное запирание диода**. На Рис. 3 показан такой режим работы, при котором ток катод – анод стремится к нулю при увеличении величины магнитного поля.

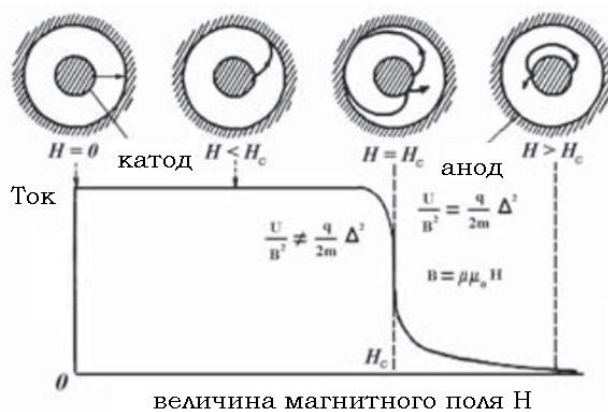


Рис. 3. Бестоковый режим.

Необходимо понимать, что электрическое поле возникшей электромагнитной волны может не только замедлять, но и ускорять электроны. Если средняя скорость вращения электрона вокруг катода совпадает с фазовой скоростью волны, то электрон находится в тормозящей области, отдавая энергию волне. Такие электроны группируются в сгустки (так называемые «спицы»), вращающиеся вместе с полем.

**Системообразующий эффект:** В данной схеме, нагрев анода и всего корпуса магнетрона обусловлен СВЧ излучением. Мощность СВЧ электромагнитных колебаний зависит от эффективности передачи энергии ускоренных полей электронов электромагнитной волне. Ускорение электронов обеспечивает постоянное электрическое поле, то есть, разность потенциалов между анодом и катодом. Электрическое поле не требует расходов на его поддержание, **если нет тока** между анодом и катодом.

Магнитное поле создается постоянными магнитами, следовательно, расхода энергии на создание магнитного поля не требуется.

Нас интересует именно такой режим, в котором электроны либо вообще не попадают на анод, либо их количество минимальное и большая часть электронного облака является стабильным, находясь в колебательном процессе энергообмена. Электроны теряют энергию, отдавая ее электромагнитной волне, и вновь ускоряются электрическим полем.

Варианты технического решения, которые можно предложить на данном этапе изучения поставленной задачи:

1. Найти рабочую точку, в которой величина магнитного поля и ускоряющий потенциал согласованы настолько точно, что большая часть электронов не достигают анода. Поскольку магниты будут постоянные, и величину магнитного поля регулировать невозможно, то остается предложить автоматическое регулирование величины ускоряющего потенциала. В схеме необходимо ввести датчик тока катод – анод, подающий управляющий сигнал на систему регулировки напряжения катод- анод.
2. Вместо плавной «аналоговой» регулировки ускоряющего потенциала катод – анод использовать «цифровой» импульсный режим, включающий ускоряющий потенциал на короткое время, и выключающий его в момент начала тока «катод - анод», максимально быстро, Рис.4.

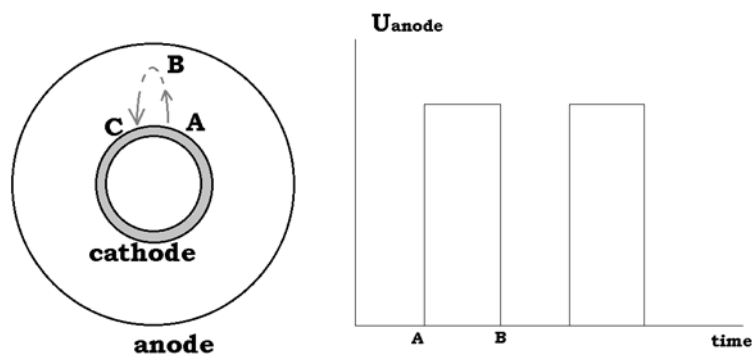


Рис. 4 Импульсный режим

Целесообразно увеличить ускоряющий потенциал, так как энергия электронов зависит от квадрата разности потенциалов катод - анод. При более детальном изучении проблемы, могут быть предложены и другие методы оптимизации решения поставленной технической задачи.

Расходы на разогрев катода обычного магнетрона необходимы, но они намного менее получаемой тепловой мощности. Например, напряжение накала обычного магнетрона СВЧ печи составляет 3 Вольта и ток накала 10 Ампер. Итого, мощность на накал требуется около 30 Ватт, и при этом магнетрон способен обеспечивать несколько киловатт тепловой мощности.

В особом «закритичном режиме» магнитного запираения, возможно получить эффект саморазогрева катода при возврате электронов на катод и эффект вторичной эмиссии. При этом, расходы на накал катода уменьшаются. Реализация этой идеи возможна в случае использования импульсного режима включения ускоряющего потенциала, так как возврат электронов на катод возможен только при отсутствии на катоде отрицательного потенциала.

Для целей патентования, аналогом предлагаемой экспериментальной конструкции является классический ускоритель частиц Лоуренса, U.S. Patent 1,948,384 Ernest O. Lawrence “Method and apparatus for the acceleration of ions”.

На Рис.5 показана упрощенная схема такого ускорителя.

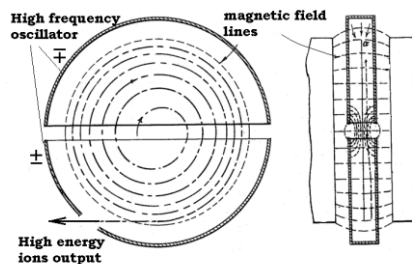


Рис.5. Ускоритель Лоуренса (циклотрон).

Магнитное поле в данной схеме постоянное. Недостатком данной схемы является необходимость использовать переменное электрическое поле. Это

создает значительные затраты мощности. В резонансном режиме работы, такой ускоритель частиц потребляет минимум энергии. Выход ускоренных частиц может быть использован для получения тепловой энергии, например, при соударении с мишенью (металлом).

Наиболее перспективными представляются эксперименты с безнакальным магнетроном, который разработали и производят специалисты фирмы «ПЛУТОН» Москва. Конструкция данного прибора показана на Рис.6.

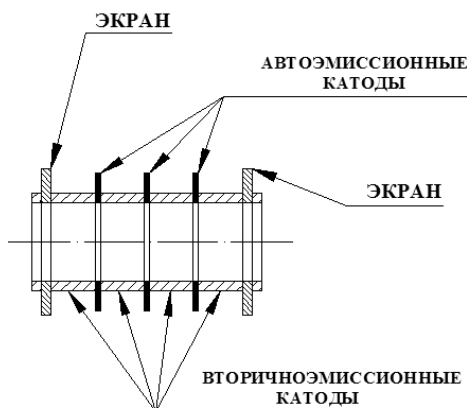


Рис.6 Конструкция безнакального магнетрона

Катод сделан из материалов разного типа. Первичная эмиссия электронов производится автоэмиссионными катодами, затем мощная вторичная эмиссия обеспечивается катодами вторичной эмиссии. Они изготовлены из пористого порошкового материала Pd5Ba, содержащего барий и палладий.

На Рис.7 показан магнетрон, позволяющий получить 16KW в импульсе, вес 350 gram. Размер 30 x 50 mm



Рис.7 Безнакальный магнетрон фирмы PLUTON

Предыдущие эксперименты в 2006 году показали возможность увеличения теплового выхода, при приближении серийного магнетрона к критическому бестоковому режиму работы. Эксперименты проводил Фролов А.В. в ООО «Фарадей». Были изучены магнетроны типа 2M218, 2M219 и OM75P(31). Эксперименты заключались в нагреве 8 литров воды, при погружении в емкость с водой изолированного магнетрона. Измеряется разность температур (начальная и конечная) и время нагрева. Затем, рассчитывается тепловая мощность.

## Эксперимент 1

- 1.1. Измерения режимов работы магнетрона 2М218 с обычными магнитами (стандартная комплектация).

Начальная температура  $T_1=25.1\text{C}$ , конечная температура  $T_2=28.3\text{C}$ ,  $dT=3.2$  градуса. Длительность нагрева 600 sec. Количество тепла определяется по формуле, учитывающей теплоемкость воды, ее массу и разность температур  $Q=4200 \times 8 \times dT$  (Дж). Затем, мощность в Ваттах определяется с учетом времени нагрева.

Результаты измерений:  $P_{\text{входа}} = 234\text{W}$   $P_{\text{тепловая}} = 178\text{W}$

Эффективность в данном режиме

$$K=178/234=0.76$$

- 1.2. Магнетрон 2М218, поставлены два магнита, удвоенное магнитное поле.  $P_{\text{входа}} = 841\text{W}$   $P_{\text{тепловая}} = 689\text{W}$

$$K=689/841=0.82$$

## Эксперимент 2

Магнетрон ОМ75Р(31) с обычными магнитами.

$P_{\text{входа}}=712\text{W}$   $P_{\text{тепловая}}=556\text{W}$   $K=556/712=0.78$

Удвоенные магниты

$P_{\text{входа}}=260\text{W}$   $P_{\text{тепловая}}=250\text{W}$   $K=250/260=0.96$

**Выводы:** Удвоение величины магнитного поля значительно улучшает соотношение генерируемой тепловой мощности к потребляемой мощности.

## Предложения по организации экспериментов

1. Исследовать возможности получения максимально высокого соотношения тепловой мощности к затрачиваемой электрической мощности, конструируя магнетроны на базе стандартных генераторных электронно-вакуумных ламп коаксиальной конструкции катода и анода. Например, в 2003 – 2006 годах мной были проведены эксперименты на основе электронно-вакуумных ламп типа ГУ-74Б.
2. В сотрудничестве с конструкторами российских предприятий, разрабатывающих СВЧ приборы, спроектировать, изготовить и испытать безнакальный магнетрон коаксиальной конструкции, рассчитанный на работу в бестоковом режиме. Водяной теплообменник должен обеспечить отвод тепловой мощности.

При получении положительных экспериментальных данных, можно перейти к патентованию предлагаемой технологии, а также к конструированию модельного ряда приборов бытовой мощности от 1 кВт до 10 кВт. При наличии Заказчиков, можно разработать приборы промышленного применения мощностью 100 кВт и более.