

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

**АЛМАТЫ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
АЛМАТИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ALMATY TECHNOLOGICAL UNIVERSITY**

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТОҢАЗЫТУ АКАДЕМИЯСЫ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА
INTERNATIONAL ACADEMY OF REFRIGERATION**



**VII ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ҚАЗАҚСТАН-ТОҢАЗЫТУ 2017»**

**VII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«КАЗАХСТАН-ХОЛОД 2017»**

**VII INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE
«KAZAKHSTAN-REFRIGERATION 2017»**

**Конференция баяндамаларының жинағы
15-16 наурыз, 2017 ж.**

**Сборник докладов конференции
15-16 марта 2017 г.**

**Proceedings of the Conference
March 15-16, 2017**

Алматы, 2017

УДК 621.56/59(063)

ББК 31.392

К14

Сборник докладов подготовлен под редакцией
доктора технических наук, академика **Кулажанова Т.К.**

Редакционная коллегия:

Цой А.П., Бараненко А.В., Кантарбаев Р.А.,
Шлейкин А.Г., Андреева В.И. (ответ.секретарь)

К14 Казахстан-Холод 2017: Сб. докл. межд.науч.-техн. конф. (15-16 марта
2017 г.) – Алматы: АТУ, 2017. – 285 с.

ISBN 978-601-263-389-4

В докладах представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в Казахстане, Германии, России, Японии и Украине по следующим направлениям: холодильная техника и компрессоростроение, теплохладоснабжение, системы кондиционирования воздуха и жизнеобеспечения, экология в холодильной промышленности, холодильная и пищевая технология. Сборник рассчитан на специалистов и ученых, работающих в областях холодильной, пищевой, химической, нефтеперерабатывающей промышленности, а также на специалистов по системам кондиционирования воздуха и жизнеобеспечения жилых, коммерческих зданий и спортивных комплексов.

УДК 621.56/59(063)

ББК 31.392

ISBN 978-601-263-389-4

© АТУ, 2017

УДК 62-71

ВЫБОР СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ МАГНИТРОНОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ МИКРОВОЛНОВОЙ УСТАНОВКИ

*Бошкова И.Л., д.т.н., Потапов М.Д., к.т.н., Ачилов Ю, магистр
Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина
E-mail: ira_boshkova@mail.ru, dornot@te.net.ua, ira_boshkova@mail.ru*

В последнее десятилетие микроволновой (диэлектрический) нагрев с использованием энергии переменного электромагнитного поля микроволнового диапазона начинает широко использоваться в различных отраслях промышленности [1,2,3]. Усиление интереса к конструированию промышленных микроволновых устройств не в последнюю очередь связано со значительным удешевлением комплектующих элементов для микроволновых устройств, в настоящее время ее стоимость может быть сравнима с техникой, реализующей обычные методы нагрева [4]. Однако при этом не решены некоторые важные технические вопросы, что тормозит внедрение микроволновых технологий. К одному из таких вопросов относится проблема обеспечения теплового режима генератора микроволновой энергии, в частности, магнетрона. Этому вопросу уделяется большое внимание, т.к. при несоблюдении требований по тепловым режимам генератор быстро выходит из строя, что вызывает большие проблемы, связанные с его покупкой и заменой. Выпускаемые магнетроны, являясь одним из определяющим и дорогостоящим узлом микроволнового устройства, из-за несоответствия условий работы с требованиями по тепловым режимам часто выходят из строя, что мешает продвижению на рынок новой техники.

Целью работы является выбор и обоснование системы охлаждения, способной обеспечить тепловой режим анодного блока магнетрона при его длительной работе, что предусмотрено при эксплуатации микроволновой техники промышленного назначения.

Объектом исследования являются процессы теплопередачи в системе охлаждения анодного блока магнетрона.

Предмет исследования – тепловые режимы системы охлаждения магнетрона.

Одним из важных этапов проектирования, определяющим направление всей разработки системы обеспечения тепловых режимов (СОТР), является выбор схемного решения, которым устанавливается вид расположения по гидро- (аэро-) трактам функциональных элементов системы и объекта охлаждения [5]. Рассмотрев и проанализировав существующие схемы и особенности теплоотвода для различных случаев, в качестве базовой была выбрана система жидкостного охлаждения. Этот выбор был основан на следующих положениях:

1. Плотность теплового потока составляет $1.68 \cdot 10^5$ Вт/м² на поверхности анодного блока. Для отвода тепловой нагрузки такого уровня наиболее предпочтительна система жидкостного

охлаждения. Магнетроны с рассматриваемым уровнем мощности также охлаждаются с помощью воздушной системы, однако не могут длительное время работать в непрерывном режиме из-за возможности перегрева.

2. В системе жидкостного охлаждения (СЖО), в отличие от системы воздушного охлаждения (СВО), температура теплоносителя на входе в рубашку охлаждения постоянна.

3. Благодаря замкнутому контуру исключена возможность попадания частиц в рубашку охлаждения и забивание каналов, что является еще одним преимуществом по сравнению с СВО.

4. В отличие от испарительной системы охлаждения (ИСО), которые отличаются высокой эффективностью теплоотвода, в СЖО исключается образование накипи в каналах охлаждения.

5. Для СЖО ориентация в пространстве не имеет решающего значения, в отличие от ИСО. Это также облегчает условия транспортировки.

Схема СЖО для рассматриваемого МВ-устройства приведена на рис. 1.

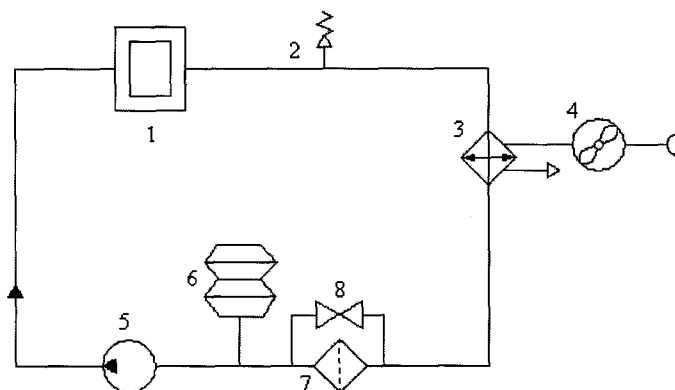


Рисунок 1 – Система жидкостного охлаждения микроволнового устройства. 1 – магнетрон; 2 – предохранительный клапан; 3 – воздухо-жидкостной теплообменник; 4 – вентилятор; 5 – насос; 6 – расширительный бачок; 7 – фильтр механический; 8 – байпасный вентиль.

Для организации теплоотвода от поверхности с помощью СЖО требуется заменить ребра, установленные ранее на магнетроне и предназначенные для СВО, на рубашку охлаждения, которая предусматривает поступление жидкого теплоносителя. Необходимость такой замены вызвана тем, что выпускаемые промышленно магнетроны рассчитаны на непродолжительную работу и поэтому комплектуются с СВО.

Для оценки величины температурных напряжений проведен расчет температурного поля в рубашке охлаждения, в ходе которого устанавливалось распределение температур теплоносителя, стенки рубашки охлаждения и поверхности анодного блока магнетрона по длине канала в рабочем режиме. Плотность отводимого теплового потока составляла $q=1,68 \cdot 10^5$ Вт/м², теплоносители: вода и тосол.

Исходные данные для расчета:

$N_m=2200$, Вт – мощность одного магнетрона;

$\eta=0.75$ - К.П.Д. магнетрона;

$Q=N_m(1-\eta)=550$, Вт – отводимое количество теплоты;

$d_a=0.046$, м -- наружный диаметр анодного блока;

$d_z=0.052$, м – внутренний диаметр зазора;

$D_z=0.055$, м – наружный диаметр зазора;

$d_r=0.058$, м – внешний диаметр рубашки охлаждения;

$\delta_z=0.0015$, м – толщина зазора;

$h_z=0.02$, м – ширина зазора;

$t_a=120$, м – максимально допустимая средняя температура поверхности анодного блока.

Анодный блок и рубашка охлаждения изготовлены из меди, $\lambda_c=400$ Вт/(мК).

Теплоноситель – вода (при температуре окружающей среды от 5 до 50 °С) и тосол (при температуре окружающей среды от –20 до 5 °С). Тепловой расчет проводится при максимально возможной температуре окружающей среды, равной $t_{o,c}=50$ °С.

На основании тепловых расчетов установлено, что максимально допустимая температура воды составила 104.1°C – при этом будут выполняться требования, согласно которым температура поверхности анодного блока не должна превышать 120°C . Максимально допустимая температура для тосола составила 113°C . Достижение максимально возможной температуры должно фиксироваться и выводиться на панель управления. Поддержание высокой (порядка 87°C) температуры теплоносителя на входе в рубашку охлаждения способствует наиболее эффективному теплосъему в теплообменнике. Термические напряжения, развиваемые в материале анода, будут несущественны для его прочностных характеристик.

Для обеспечения безаварийной работы СЖО снабжена датчиками давления, температуры и расхода. Гидравлическая схема СЖО, принятая в расчете, представлена на рис. 2. Цифрами показаны участки, на которых рассчитывались потери напора.

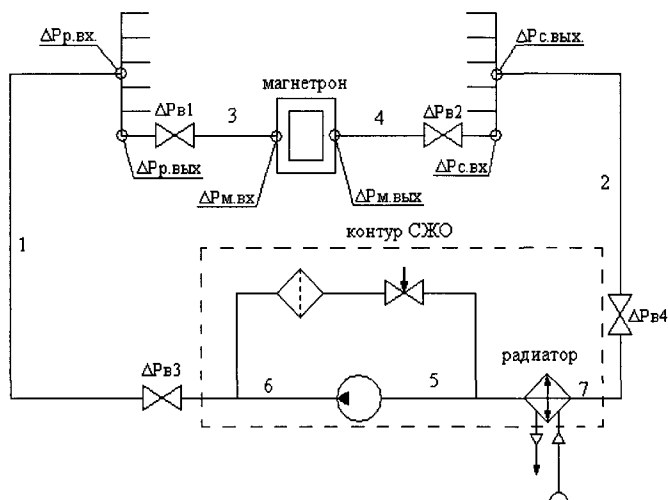


Рисунок 2 – Гидравлическая схема системы жидкостного охлаждения анодного блока магнетрона

Расчеты показывают, что суммарные потери давления невелики и составляют $0,842$ м (вода). Конструктивно СЖО выполнена с учетом возможности легкой замены деталей и подключения к микроволновому устройству. Избыточное давление в контуре составляет $0,52$ атм., что исключает возникновение поверхностного кипения и возможность образования накипи.

Оптимальным вариантом СОТР для микроволнового устройства, предназначенного для термообработки диэлектрического материала при непрерывной и длительной работе, является система жидкостного охлаждения с замкнутым контуром циркуляции.

Поддержание высокой (порядка 87°C) температуры теплоносителя на входе в рубашку охлаждения способствует наиболее эффективному теплосъему в теплообменнике.

Максимально допустимая температура воды составила 104.1°C , для тосола – 113°C , при этом будут выполняться требования, согласно которым температура поверхности анодного блока не должна превышать 120°C .

Потери давления в контуре СЖО составляют 0.8 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тучный, В.П. Микроволновые технологии в современной структуре технического прогресса [Текст] / В.П. Тучный // Сб. Микроволновые технологии в народном хозяйстве, Одесса-ОКФА. – 1996. – С. 6-12.
2. Advances in Agricultural Science and Technology. Volume 1. Advances in Bioprocessing Engineering. [Text] / Editors Xiusheng Harrison Yang, Juming Tang. World Scientific. . – 2002. – 172 p.
3. Калинин, Л.Г., Новые технологии обработки продовольственных товаров как факторы улучшения их качества [Текст] / Л.Г. Калинин, В.П. Тучный, Е.А. Левченко // Научные и практические аспекты совершенствования качества продуктов питания. Одесса, 24-26 ноября. – 1999. – С. 51-54.
4. Giese, J. Advances in microwave food processing [Text] / J. Giese // Food Tech. – 1992. – Vol. 46. – No. 9. – P. 118-123.
5. Дульнев, Г. Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре [Текст] / Г. Н. Дульнев. М.: Высш. шк., 1984. – 240 с.