

Разработка бескомпрессорной системы климат-контроля

В. Червоная¹, А. В. Лилло²

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

¹chervonayav@mail.ru, ²alexandr_934@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрен вопрос реализации бескомпрессорной системы климат-контроля специализированного помещения. Разработана гидравлическая схема системы и описаны особенности её работы. Проектируемая система базируется на использовании элементов Пельтье в качестве основного источника охлаждения. В перспективе будут учтены особенности их работы и использованы для повышения эффективности проектируемой системы. Приведено обоснование выбора используемой в системе теплопроводной жидкости. Экспериментальным путём оценены некоторые параметры основных компонентов системы, с учётом которых будут определены перечень и количество используемых модулей в системе. На основе проведённых исследований даны заключения о работоспособности гидравлической части проектируемой системы и путях повышения эффективности её работы.

Ключевые слова: климат-контроль; гидравлическая схема; модуль Пельтье; теплоноситель; теплопроводность

I. ВВЕДЕНИЕ

В качестве темы доклада выбран актуальный вопрос поддержания требуемых условий для хранения продовольственной продукции в каждый сезон года – создание бескомпрессорной системы, контролирующей температуру помещения, в зависимости от температуры окружающей среды и влажности в помещении. Главной особенностью этой системы является сборка из модулей Пельтье, которая будет заменять компрессор. Актуальность данной темы подтверждается необходимостью поддержания заданной температуры в специализированном помещении при наличии ограничения на потребление электроэнергии.

II. ОПИСАНИЕ РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ СИСТЕМЫ

Система климат-контроля основана на трёх видах теплообмена: грунт-теплоноситель, теплоноситель-теплоноситель и теплоноситель-воздух. Идея заключается в использовании модулей Пельтье для охлаждения или нагревания теплоносителя [1], циркулирующего в трубах системы. Особенностью модулей Пельтье является то, что если к выводам приложить напряжение, то одна сторона будет нагреваться, а другая – охлаждаться. В работе используется сборка из модулей Пельтье TEC1-12710.

Поясним расшифровку аббревиатуры наименования модуля:

- первые два символа TE всегда неизменны и несут информацию о том, что это изделие является термоэлементом;
- следующий символ отвечает за размер. Здесь могут присутствовать два варианта: С – стандартный размер; S – малый размер;
- первая цифра (в данном случае 1) указывает количество каскадов модуля;
- три следующие цифры после дефиса говорят о количестве термодисков. Для выбранного модуля это число равно 127;
- последние две цифры показывают значение номинального тока. Для выбранного модуля – это 10 А [2].

По характеристике данного модуля можно сделать вывод, что он работает в диапазоне температур от минус 55 до +83 °С и, следовательно, преимущество перед компрессором, как раз состоит в том, что реализовать компрессорную установку, которая сможет работать создавая требуемые значения во всём диапазоне температур достаточно сложно. Планируется проверить достоверность указанных значений в документации к модулю Пельтье в ходе испытаний.

Для понимания работы системы, рассмотрим её структурную гидравлическую схему, представленную на рис. 1. Система имеет два режима работы.

При отрицательных температурах окружающей среды, для сбережения энергии, система получает энергию от земли, температура которой составляет примерно 10 °С на используемой глубине от 5 до 10 метров. Данная информация взята, опираясь на обобщённые среднегодовые значения температуры в умеренной климатической зоне. Более точные данные температуры будут получены с помощью датчика. Теплоноситель функционирует по внешнему контуру, где задействован только насос Н2. Таким образом, поддерживается положительная температура в помещении без использования модулей Пельтье.

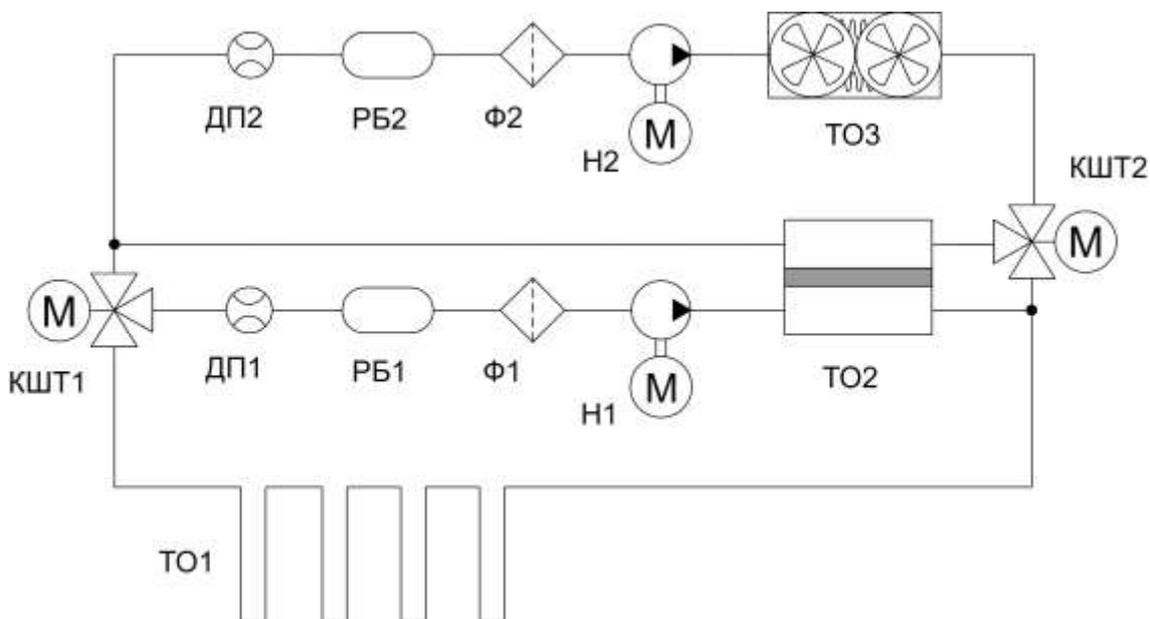


Рис. 1. Структурная гидравлическая схема

На схеме используются следующие обозначения: ТО1-ТО3 – теплообменники, КШТ1-КШТ2 – краны шаровые трёхходовые, ДП1-ДП2 – датчики потока, РБ1-РБ2 – расширительные баки, Ф1-Ф2 – фильтры, Н1-Н2 – насосы.

В тёплые сезоны КШТ1 и КШТ2 переходят во второе положение, образуя два изолированных контура. Один из них предназначен для отвода тепла с горячей стороны Пельтье, второй – для охлаждения помещения, путём прохождения теплоносителя через теплообменники ТО2 и ТО3.

А. Функционал компонентов системы

В системе есть три теплообменника, два из которых постоянно задействованы в работе: ТО1 – передаёт энергию грунта теплоносителю, либо отводит энергию в грунт, в зависимости от режима работы – и радиаторная сборка ТО3, состоящая из вентиляторов и радиатора – с помощью неё происходит непосредственное охлаждение или нагревание помещения путём принудительной воздушной конвекции.

Датчики потока ДП1, ДП2 необходимы для контроля расхода теплоносителя, своевременного нахождения и устранения протечек теплоносителя, или неисправностей других элементов системы. С датчиками потока были проведены исследования, целью которых являлось определение реальных характеристик насосов.

Проточные сетчатые фильтры грубой очистки Ф1, Ф2 предназначены для предотвращения циркуляции в системе и попадания в неё твёрдых механических частиц. Использование фильтров позволяет избежать ряда нарушений функционирования системы, тем самым увеличивает срок службы компонентов системы и предотвращает их поломки.

Расширительные баки – РБ1 и РБ2 – в обоих контурах предназначены для компенсации перепадов давления, возникающих вследствие термического сжатия и расширения теплоносителя. Компенсация изменения давления в трубах системы позволит увеличить срок

службы установки, ограничит риск поломки компонентов и уменьшит вероятность протечки теплоносителя.

Ранее в работе упоминалось, что в системе будет два варианта работы системы в зависимости от значения температуры. За возможность организации работы с разным количеством контуров отвечают трёхходовые шаровые краны КШТ1, КШТ2, напряжение питания которых составляет 24 В.

Для обеспечения циркуляции теплоносителя применены насосы Н1-Н2. Приводом насосов является бесщёточный электродвигатель постоянного тока, на который также подаётся 24 В.

В. Теплоноситель

Одним из вопросов, возникших при проектировании системы климат-контроля, являлся вопрос о том, какую жидкость следует выбрать в качестве теплоносителя. Теплоноситель должен удовлетворять следующим условиям.

- Безопасность. Один из рисков при функционировании системы – протечка теплоносителя и последующий ремонт труб. Во избежание опасности при работе с теплопроводящей жидкостью, она должна быть безвредна, что в особенности важно по причине использования системы в помещении с пищевой продукцией.
- Высокая теплоёмкость, которая позволит добиться высоких показателей энергоэффективности.
- Длительный срок эксплуатации.
- Низкая коррозионная активность.
- Низкая температура кристаллизации. В зимний сезон года, при минусовой температуре, теплоноситель должен сохранять жидкое агрегатное состояние.

В результате был выбран теплоноситель на основе пропиленгликоля. Пропиленгликоль часто используется во многих различных отраслях промышленности благодаря своим химическим и физическим свойствам. Пропиленгликоль имеет способность растворяться в воде и смешиваться с органическими растворителями. Также пропиленгликоль абсолютно не токсичен и имеет низкую температуру кристаллизации, что удовлетворяет заявленным условиям [3].

В системе планируется применить водный раствор пропиленгликоля, концентрация которого составит 40%. В составе раствора, помимо воды присутствуют ингибиторы, которые уменьшают риск коррозии и окисления деталей и узлов системы. Температура замерзания данного раствора составляет минус 25 °С. В зависимости от условий эксплуатации, срок службы раствора составляет в среднем 5 лет.

III. ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе проектирования системы были проведены следующие исследования:

- Зависимость скорости потока воздуха, создаваемого вентилятором от потребляемой им электрической мощности.
- Зависимость скорости потока воздуха, создаваемого вентилятором с радиатором от потребляемой электрической мощности.
- Зависимость расхода жидкости, перекачиваемой насосом от создаваемого перепада давления.

Данные исследования являются необходимыми для получения точных характеристик компонентов системы, а также для своевременной замены не удовлетворяющих условиям проектирования устройств.

Условия, при которых проводились исследования, приведены в табл. 1. Расстояние, прописанное в таблице, это расстояние от анемометра – прибора, измеряющего скорость потока – до вентилятора/решетки радиатора для первых двух исследований. Стоит отметить, что для первого исследования был взят одиночный вентилятор, а во втором исследовании участвовали два параллельно подключенных вентилятора.

ТАБЛИЦА 1 Условия проведения исследований

| Параметр | Номер исследования | | |
|---------------------------|--------------------|----|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Температура помещения, °С | 24,5 | 24 | 25,2 |
| Влажность, % | 24,8 | 25 | 30 |
| Расстояние, см | 5 | 5 | - |

На рис. 2 представлен график, полученный при исследовании зависимости скорости потока воздуха от мощности, подаваемой на вентилятор.

На основании полученных данных можно наблюдать нелинейную зависимость графиков и их монотонное возрастание по затухающей экспоненте, что соответствует вентиляторной характеристике. При увеличении мощности энергоэффективность вентилятора падает, что подтверждает график.

Путём механической доработки конструкции вентилятора, а именно, уменьшения зазора между крыльчаткой вентилятора и корпусом удалось добиться некоторого улучшения энергоэффективности вентилятора, что в долгосрочной перспективе позволит добиться существенного сокращения затрат на электроэнергию.

Во втором исследовании была задействована радиаторная сборка. Графики зависимости (рис. 3) также соответствуют вентиляторной характеристике. Энергоэффективность вентилятора с радиатором при одной и той же мощности существенно меньше, чем в предыдущем исследовании, что обусловлено сопротивлением, создаваемым решеткой радиатора. Также стоит отметить, что при добавлении уплотнения энергоэффективность также несколько возрастает.

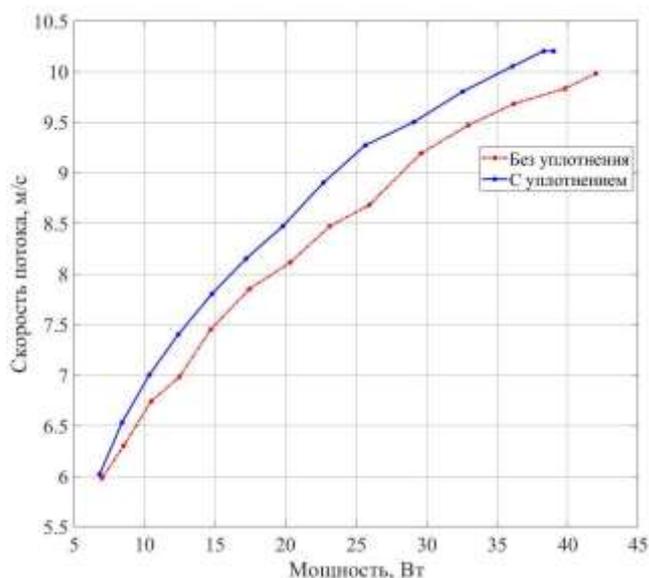


Рис. 2. График зависимости скорости потока воздуха от мощности

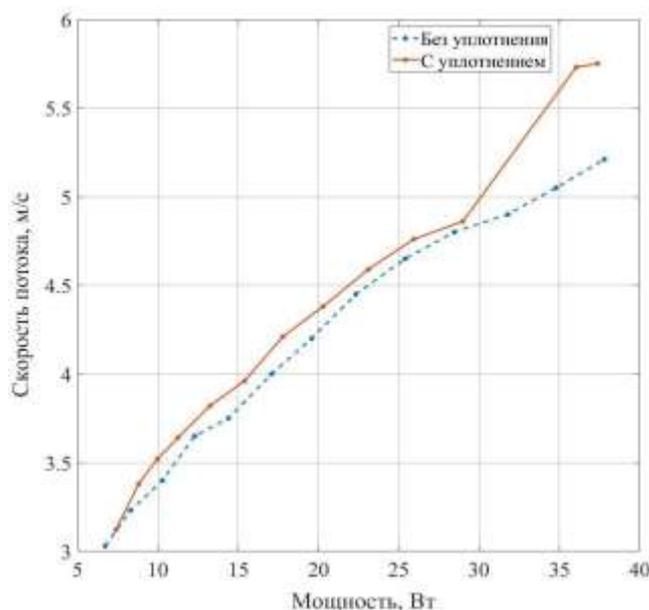


Рис. 3. График зависимости скорости потока воздуха от мощности с радиатором

Зависимость с уплотнением имеет явное отклонение при мощности более 35 Вт. Это может объясняться потерями при ненадлежащем соединении проводов или отклонением угла анемометра. Также, неточности измерения могли быть связаны с неравномерным потреблением тока вентиляторами, поскольку каждый из них имеет собственную систему управления.

При исследовании зависимости расхода жидкости от давления использовался прибор мановакуумметр. Полученный график (рис. 4) в первом приближении совпадает с теоретическим [4] и указывает на то, что гидравлическое сопротивление системы существенно влияет на расход и по возможности должно быть сведено к минимуму.

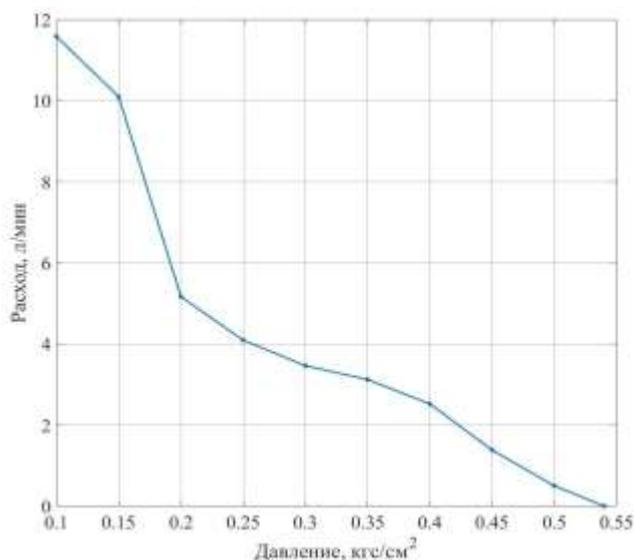


Рис. 4. График зависимости расхода жидкости от создаваемого насосом давления

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы была составлена структурная гидравлическая схема, выбран теплоноситель для циркуляции в системе, а также проведён ряд исследований, в ходе которых были получены некоторые параметры основных компонентов системы. Стоит

отметить, что в экспериментах теплоносителем являлась вода, и в дальнейшем необходимо сделать соответствующие поправки для раствора пропиленгликоля. При исследовании имели место погрешности, которые приводили к отклонению полученных результатов от классических теоретических зависимостей, тем не менее, полученные данные достаточно близки к теоретическим, что использовать их для дальнейшего проектирования системы.

Следующим этапом планируется провести ряд дополнительных экспериментов, в которых будет оценена эффективность теплопроводности и теплоизоляции элементов системы, гидравлическое сопротивление контуров. Алгоритм управления модулями Пельтье будет определен после испытаний, основанных на оценке зависимости коэффициента производительности [5] от подаваемого напряжения. Электрическая схема установки будет спроектирована в программе Altium Designer и частично смоделирована в программе Proteus, предназначенной для отладки программного кода в режиме виртуальной эмуляции работы микроконтроллера. После окончания всех исследований будет разработано программное обеспечение, с помощью которого, будет осуществляться согласованная работа всех электрических частей системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] A report on "Peltier (thermoelectric) cooling module". [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/292976771> (Дата обращения 25.02.2022)
- [2] Оборудование. Технологии. Разработки. Элемент Пельтье TEC1-12706. Характеристики, применение, условия эксплуатации. [Электронный ресурс]. URL: <http://mypractic.ru/element-pelte-tec1-12706-xarakteristiki-primenenie-usloviya-ekspluatacii.html> (Дата обращения 18.01.2022)
- [3] Department of health and human services. Toxicological profile for propylene glycol /– Atlanta, Georgia, 1997. 176 с.
- [4] Houghtalen, Robert J. Fundamentals of hydraulic engineering systems / Robert J. Houghtalen, A. Osman Akan, Ned H. C. Hwang. – 4th ed. p. cm. 1996. 495 с.
- [5] Olivier Mellin. Driving a Peltier Element (TEC): Efficiency and Aging / Olivier Mellin, Florent Muret / Dallas, Texas Instruments Incorporated: 2020. 6 с.