А.Л. Торопов

КОМБИНИРОВАННЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ГЕЛИОСИСТЕМЫ

Часть 3

Циркуляционные насосы для индивидуальных и децентрализованных систем отопления и горячего водоснабжения

Учебное пособие

Москва
2019

УДК 621.65.03
ББК 30.123
Т61

Торопов А.Л.

Т61 **Комбинированные тепловые гелиосистемы. Ч. 3. Циркуляционные насосы для индивидуальных и децентрализованных систем отопления и горячего водоснабжения**: учебное пособие. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2019. – 54 с.

ISBN 978-5-91327-587-5

DOI 10.17513/np.359

В учебном пособии рассмотрены вопросы классификации, устройства и расчета циркуляционных насосов с постоянной и переменной скоростями вращения ротора, принципы действия и стратегии управления высокоэффективных энергосберегающих циркуляционных насосов с переменными характеристиками. Представлен сравнительный анализ энергоэффективности насосов.

ISBN 978-5-91327-587-5

© Торопов А.Л., 2019
© ИД «Академия Естествознания»
© АНО «Академия Естествознания»

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 4

ВВЕДЕНИЕ 6

Глава 1. ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ НАСОСЫ С АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 16

1.1. Циркуляционные насосы с «сухим ротором» 16

1.2. Конструкция циркуляционных насосов с «мокрым ротором» 22

1.3. Расчет характеристик циркуляционных насосов 25

1.4. Показатели энергетической эффективности ЦН переменного тока с постоянной скоростью вращения 31

Глава 2. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ НАСОСЫ С ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА 37

2.1. Основы работы энергосберегающих циркуляционных насосов 37

2.2. Применение частотного регулирования асинхронного электромотора для циркуляционного насоса с «сухим ротором» 39

2.3. Циркуляционные насосы с «мокрым ротором», синхронным мотором на постоянных магнитах с частотным регулированием оборотов ротора 43

2.4. Стратегии управления работой циркуляционного насоса 46

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 50

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 52

ПРЕДИСЛОВИЕ

В доисторические времена температурный комфорт создавался с помощью костра, потом возникли печи, котлы. Росли размеры помещений, в которых проживали люди, появились дома в несколько этажей. Печи для отопления ставились в каждую комнату, что дорого и неэффективно. Возникла идея, получить тепло в одном месте и передать его в другое. Так возникли системы отопления, состоящие из:

– котла, как источник тепла;

– труб, наполненных водой, как средство переноса тепла от одного места к другому;

– радиаторов, как устройств передачи тепла горячей воды помещению.

Размеры домов продолжали расти в ширину, добавляя комнаты, в высоту, добавляя этажи. Естественная циркуляция воды в трубах, основанная на разности плотности горячей воды и холодной, уже не справлялась с задачей обеспечения теплом дальних комнат и высоких этажей. Как решить вопрос ускорения движения жидкости по трубам систем отопления? Этот вопрос был эффективно решен после создания электромотора. Готтлоб Баукнехт создал первый герметичный электромотор в 20-х годах прошлого века, а спустя несколько лет, Вильгельм Оплендер, основатель компании «Wilo», используя идеи Баукнехта, разработал циркуляционный насос для систем отопления, назвав его «ускорителем циркуляции». Главным недостатком «сухого» насоса Оплендера была недостаточная надежность сальникового уплотнения вала электромотора. В 40-х годах прошлого века Карлом Рютчи был создан первый циркуляционный мотор «мокрого типа», в котором вода омывала весь ротор, охлаждая и смазывая мотор.

Итак, циркуляционный насос отопительной системы, это насос, предназначенный для принудительной циркуляции теплоносителя в замкнутых системах отопления. При работе циркуляционного насоса давление в системе не повышается, назначение насоса – преодоление местных сопротивлений в трубопроводах при движении в них теплоносителя.

Основными техническими характеристиками насосов являются их напор и расход.

Многие годы применялись циркуляционные насосы с асинхронным электромотором и постоянной скоростью вращения ротора. Они и сейчас являются наиболее массовыми насосами, применяемыми в автономных системах отопления и горячего водоснабжения. В последние годы постоянно поднимаются вопросы создания высокоэффективных систем и применения в них циркуляционных насосов с переменными, адаптируемыми к нагрузкам, характеристиками. В учебном пособии рассмотрены вопросы классификации, устройства и расчета циркуляционных насосов с постоянными и переменными скоростями вращения роторов, принципы действия и стратегии управления высокоэффективных энергосберегающих циркуляционных насосов с переменными характеристиками, представлен сравнительный анализ энергоэффективности насосов.

Данное учебное пособие написано в рамках программы обучения специалистов-теплоэнергетиков: «Комбинированные тепловые системы для индивидуальных и децентрализованных систем отопления и горячего водоснабжения» центра подготовки завода «АРДЕРИЯ» [1, 2]. Пособие может быть полезно студентам, инженерам и преподавателям высших учебных заведений строительных специальностей и специалистов, занимающихся вопросами энергии, возобновляемых источников.

ВВЕДЕНИЕ

Для изучения конструкций циркуляционных насосов (ЦН) напомним несколько технических определений.

Технические характеристики ЦН:

– **расход** (подача, производительность) – измеряется в кубических метрах в час, в минуту, в секунду, объемная величина, равна максимальному объему воды, который может прокачать через себя насос за один час, минуту, секунду при отсутствии сопротивления трубопровода и других местных сопротивлений;

– **напор** – измеряется в метрах водного столба, равен максимальному значению гидравлических сопротивлений, которые способен преодолеть насос при нулевом расходе;

– напорно-расходная характеристика – графическое изображение зависимости расхода от напора насоса. Полностью характеризует конструктивные особенности насоса. У ЦН с постоянной скоростью количество напорно-расходных характеристик соответствует количеству скоростей. У насосов с переменной скоростью вращения (энергосберегающих), таких характеристик может быть несколько.

Системы отопления состоят из котла, трубопроводов с теплоносителем, отопительных проборов (радиаторов, конвекторов, системы «теплый пол» и других), расширительного бака для компенсации расширения теплоносителя при изменении его температуры, циркуляционного насоса. На рис. 1 представлены открытая и закрытая системы отопления.

Открытая система отопления. Циркуляция жидкости происходит под воздействием силы тяжести и разности плотности нагретой в котле и остывшей на радиаторах воды. Устаревшая система отопления, требующая больших диаметров трубопроводов,

подлива воды в связи с ее испарением в открытом расширительном баке, трудно управляемая и низкоэффективная. В настоящее время практически не применяется.

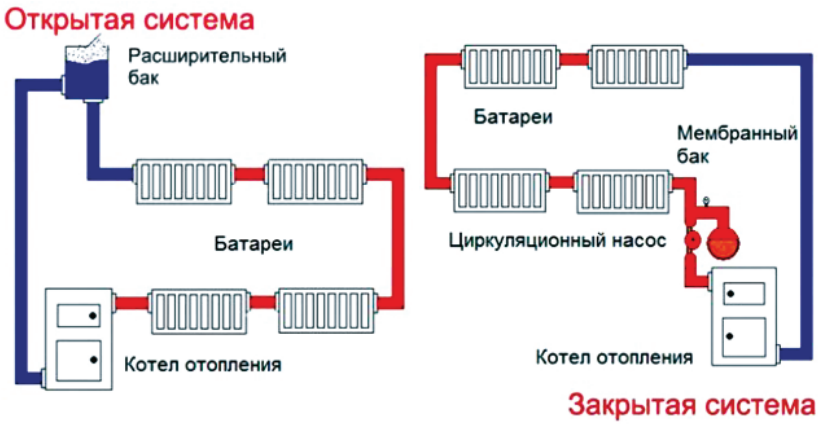


Рис. 1. Открытая и закрытая системы отопления

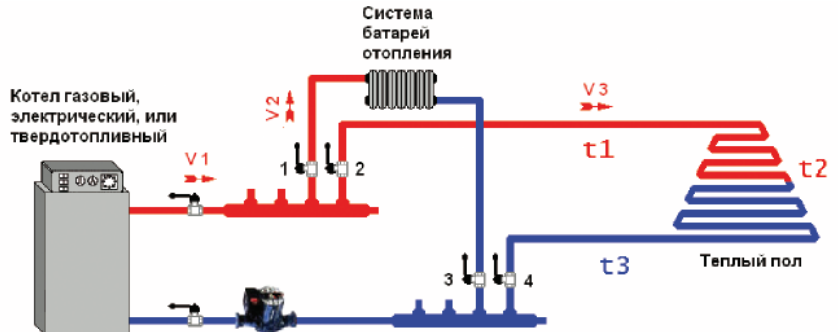


Рис. 2. Система отопления радиаторы + «теплый пол»

Закрытая система отопления. Циркуляция жидкости происходит под действием циркуляционного насоса. Эффективная, управляемая система, позволяющая использовать любой теплоноситель. Не требует постоянного пополнения теплоносителя,

возможна организация управления тепловой энергией каждого элемента отопления, способна работать с отопительными приборами с большими гидравлическими сопротивлениями. Быстро доставляет тепловую энергию от котла к отопительным приборам. Не требует больших диаметров трубопроводов.

Система напольного отопления «теплый пол». Комбинированная система. Циркуляция жидкости происходит под действием циркуляционного насоса. В качестве приборов отопления используется низкотемпературный теплообменник в виде трубы, расположенной в полу, уложенной в виде спиралей или меандра. Применяется, как основная система отопления в зонах с теплым климатом и как дополнительная система комфортного отопления для отдельных помещений в комбинации с основной радиаторной системой в зонах с более холодным климатом. На рис. 2 показана комбинированная система отопления с основной системой батарей отопления (ветка V2, краны 1,3) и дополнительная «теплый пол» (ветка V3, краны 2,4).

Циркуляционные и рециркуляционные насосы

Циркуляционный насос предназначен для принудительной циркуляции теплоносителя в системе отопления.

Преимущества при установке циркуляционного насоса в систему отопления:

– быстрый прогрев системы;

– повышение КПД системы отопления в целом;

– повышение управляемости системы отопления.

Рециркуляционный насос повышает комфорт в потреблении горячей воды в доме. Особенно это чувствуется в домах с площадью более 150 метров, где котел установлен в отдельном помещении (бойлерной) и имеется несколько точек разбора горячей воды. Горячая вода подготавливается в бойлере. Если не пользоваться водой некоторое время, она не движется в трубопроводах

и остывает. При этом, если открыть кран горячей воды, то в течение некоторого времени из крана будет течь холодная вода. Для того, чтобы из крана текла сразу горячая вода, нужно организовать постоянную циркуляцию горячей воды по трубопроводу ГВС. Это делается с помощью замкнутого контура, движение воды в котором осуществляется рецеркуляционным насосом – специальным циркуляционным насосом малой производительности, малошумным с низким энергопотреблением.

Санитарный аспект целесообразности применения циркуляционных и рециркуляционных насосов. В трубах холодного водоснабжения температура всегда ниже 20 °С. В трубах горячего водоснабжения, если в них не установлена система рециркуляции, и если некоторое время не пользоваться горячей водой, то температура воды в трубопроводах и приборах ГВС может быть в диапазоне 60–20 °С, а это комфортная температура для размножения бактерий, в частности легионеллы. Большинство бактерий погибает при температурах более 60 °С, поэтому, в больших домах лучше поставить рециркуляционную систему подачи ГВС с температурой 60 °С, или разделять контуры циркуляции и подготовки горячей воды, используя технические устройства быстрого нагрева. Вопросы подбора состава и параметров элементов систем горячего водоснабжения являются отдельной темой, которые можно назвать «гигиеническим проектированием». Основы этого научного инженерного направления представлены в работе [3].

Классификация циркуляционных насосов

Циркуляционные насосы применяются в различных инженерных системах. По функциональному назначению ЦН предназначаются для систем:

– отопления и горячего водоснабжения;

– кондиционирования;

– фильтрации и подготовки питьевой воды;

– дозирования;

– помывки.

В большинстве случаев, отличие ЦН разных систем заключается в подборе примененных материалов и особенностями перекачиваемых жидкостей.

В настоящем учебном пособии рассматриваются ЦН для систем отопления и горячего водоснабжения.

Циркуляционные насосы работают постоянно. Часть электрической энергии превращается в тепло, обмотка статора электродвигателя нагревается и для предотвращения разрушения ее надо охлаждать. По способу охлаждения электромотора ЦН делятся на:

– центробежные насосы с водяным охлаждением электродвигателя;

– центробежные насосы с воздушным охлаждением электродвигателя.

В отопительных системах температура теплоносителя не превышает 80 °С. Обратная магистраль замкнутой системы отопления имеет температуру значительно ниже. Ее значение практически никогда не превышает 60 °С. Лакокрасочное покрытие провода обмотки статора электродвигателя выдерживает 150 °С, следовательно, можно использовать температуру контура отопления для охлаждения обмотки электродвигателя ЦН. Поскольку, в большинстве случаев, в качестве теплоносителя в системах отопления используется вода, то такая система называется «водяного охлаждения».

Если к ротору электромотора ЦН прикреплен вентилятор и охлаждение электромотора происходит под действием воздушного вентилятора, то такие насосы называются «воздушного охлаждения».

ЦН с воздушным охлаждением более шумные, чем насосы с водяным охлаждением.

По конструктивному исполнению ЦН делятся:

– линейные;

– блочные,

– консольные.

У линейных ЦН всасывающий и напорные патрубки находятся на одной оси и имеют одинаковый условный проход.

Насосы устанавливаются непосредственно на трубопровод системы отопления. Внешний вид линейных ЦН с воздушным и водяным охлаждением представлен на рис. 3.

Рис. 3. Линейные циркуляционные насосы
с воздушным и водяным охлаждением

В консольных насосах моторы и насосы имеют самостоятельные узлы крепления и соединены между собой муфтами различного типа. Они имеют осевой вход и радиальный выход жидкости.

В блочных насосах крыльчатка установлена непосредственно на валу ротора мотора, насос и мотор выполнены в одном блоке, который имеет узлы крепления к основанию.

Конструкции консольных и блочных циркуляционных насосов представлены на рис. 4.

Рис. 4. Консольные и блочные циркуляционные насосы

По наличию контакта жидкости (теплоносителя) с ротором циркуляционные насосы делятся:

– с «сухим ротором»;

– с «мокрым ротором».

Ротор мотора с «сухим ротором» не контактирует с теплоносителем (водой) циркулирующей в системе отопления. Он отделен

от рабочей жидкости торцевым уплотнение вала ротора. Охлаждение мотора происходит с помощью воздушного вентилятора, установленного на оси ротора.

У мотора с «мокрым ротором» и рабочее колесо насоса и ротор находятся в рабочей жидкости и отделены от статора тонкостенным кожухом не имеющим магнитных свойств. Вращающиеся элементы мотора не требуют смазки и охлаждения, поскольку это осуществляется рабочей жидкостью системы отопления.

По скорости вращения ротора ЦН делятся:

– односкоростные с постоянной скоростью вращения ротора;

– многоскоростные с постоянной скоростью вращения ротора;

– с переменной скоростью вращения ротора.

По виду электрического тока электромотора ЦН подразделяются:

– переменного тока;

– постоянного тока.

ЦН с электродвигателями переменного тока имеют наибольшее распространение. Это обусловлено историческими предпосылками и, прежде всего, тем, что в мировой индустрии применяются электрические сети именно переменного тока. В России принято централизованное электроснабжение переменным током с напряжением 220 В 50 Гц. В качестве электромоторов ЦН используются асинхронные электрические моторы переменного тока с фиксированной частотой вращения 3000, 1500, 1000 оборотов в минуту.

Последнее время все больше внимания уделяется вопросам энергосбореженія и эффективности. В таких системах электродвигатели позволяют организовать вращение ротора с переменной скоростью, то есть у них есть возможность подстроиться под конкретные условия внешней среды, меняя расходно-напорные характеристики. Для этого применяются как электродвигатели переменного тока с частотным преобразователем, так и постоянного тока.

ЦН с электромоторами постоянного тока находят все большее применение в системах с использованием бесперебойного питания, гелиосистемах, энергосберегающих технологиях, где изначально присутствует постоянный ток.

Классификация ЦН по уровню энергоэффективности [4, 5], представленная в табл. 1, базируется на значении индекса энергетической эффективности (*EEI*).

Для ЦН с постоянной скоростью вращения ротора мотора это классы не выше «D». Для ЦН с переменной скоростью вращения ротора, классы «A», «B», «C». Методика определения (*EEI*) представлена в [4, 5].

Таблица 1

Классы энергетической эффективности циркуляционных насосов

Класс энергетической эффективности	**Индекс энергетической эффективности (*EEI*)**
A	$EEI < 0{,}4$
B	$0{,}4 \le EEI < 0{,}6$
C	$0{,}6 \le EEI < 0{,}8$
D	$0{,}8 \le EEI < 1{,}0$
E	$1{,}0 \le EEI < 1{,}2$
F	$1{,}2 \le EEI < 1{,}4$
G	$1{,}4 \le EEI$

Для популяризации, наглядности и продвижения идей энергосбережения для населения во многих государствах установлено обязательное требование указания уровней энергосбережения на этикетках продаваемого оборудования. Внешний вид этикеток классов энергоэффективности циркуляционных насосов

представлен на рис. 5. Разница в расходе электроэнергии между двумя соседними классами составляет 20 % от принятого за основу, класса «D», как наиболее массового в настоящий момент. К энергосберегающим классам относятся «A» и «B».

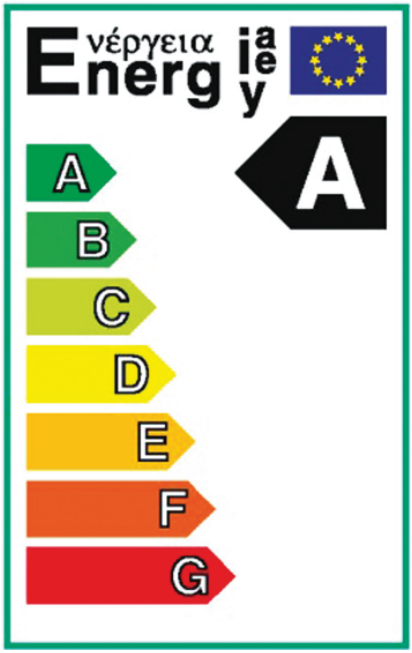


Рис. 5. Этикетка классов энергетической эффективности циркуляционных насосов [4]

Конструкции циркуляционных насосов, методы подбора их технических характеристик будут рассмотрены в последующих главах учебного пособия.

Глава 1. ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ НАСОСЫ С АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

1.1. Циркуляционные насосы с «сухим ротором»

Циркуляционные насосы с «сухим ротором», в основном, используются в контурах отопления и ГВС многоквартирных домов. Основное преимущество насосов данного типа – возможность ремонта электромотора без демонтажа насоса и слива теплоносителя из циркуляционного контура. Мотор и насос – два разных агрегата, соединенные между собой с помощью механической или магнитной муфты.

Конструктивная схема ЦН с сухим ротором представлена на рис. 6.

Корпус насоса может быть выполнен из чугуна, стали, латуни, бронзы, пластмассы и других конструкционных материалов. Выбор материала обусловлен типом теплоносителя системы отопления и стоимостью. В автономных системах отопления и горячего водоснабжения в большинстве случаев, в качестве материала корпуса, применяется чугун.

Рабочее колесо насоса – главный элемент, определяющий технические характеристики, выполняется из тех же конструкционных материалов, что и корпус. Однако, наибольшее распространение в последнее время получили рабочие колеса из пластмассы с добавлением различных композитов. Крыльчатка крепится на валу насоса с помощью крепежных гаек и фиксаторов.

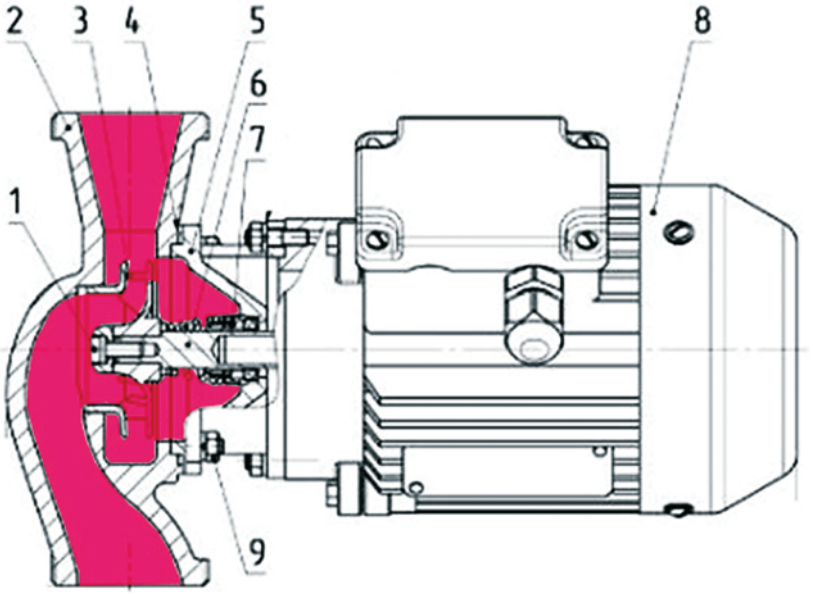


Рис. 6. циркуляционный насос с «сухим ротором»
и механической соединительной муфтой:
1 – крепежный винт; 2 – корпус насоса; 3 – рабочее колесо (крыльчатка);
4 – уплотнительное кольцо; 5 – фланец; 6 – муфта;
7 – торцевое уплотнение; 8 – электромотор;
9 – гайка крепления электромотора к фланцу насоса

В зависимости от габаритов насоса могут быть несколько вариантов присоединения вала насоса его корпуса к электромотору. Если мотор небольшой мощности, то он божет быть выполнен в одном корпусе с насосом и вал насоса и вал электромотора может быть выполнен единым. Обнако этот вариант исключает одно из главных преимуществ насосов данного типа- возможность ремонта мотора без слива теплоносителя из циркуляционного контура и применяется только для циркуляционных насосов малой мощности. Само крепление ЦН в этом варианте выполняется прямо на трубах системы отопления.

Если электромотор большего размера, то соединение валов насоса и электромотора выполняется через муфту, компенсирующую несовпадение осей вращения. При этом, если мотор и насос крепятся к основанию в одном месте, то такие ЦН называются «блочными», а если насос и электромотор имеют разные места крепления на основании, то «консольными». Фотографии указанных насосов представлены на рис. 3 и 4 раздела Введение.

Рис. 7. Циркуляционный насос с «сухим ротором» малой мощности с магнитной муфтой

Есть еще одно отличие в конструкции ЦН с «сухим» ротором. В блочных и консольных насосах теплоноситель поступает в осевом направлении относительно оси вращения рабочего колеса, а выходит в радиальном. В ЦН линейного типа оси входных и выходных патрубков совпадают. На рис. 7 показан циркуляционный насос с «сухим ротором» малой мощности с магнитной муфтой блочного типа.

Охлаждение электромотора в ЦН «сухого ротора» производится воздушным вентирятором, расположенным на валу электромотора. На корпусе электромотора выполнены ребра для лучшего теплообмена и охлаждения при обдувании воздухом.

Важным элементом ЦН данного типа является торцевое уплотнение. Именно этот элемент герметизирует конструкцию и не допускает проход теплоносилеля системы отопления между корпусом насоса и вращающимся валом . этот элемент является «слабым звеном» конструкции ЦН и требует периодического обслуживания и замены. Раньше, в качестве такого герметизирующего элемента, применялась «сальниковая набивка», а сам элемент назывался «сальником». Сейчас применяются скользящие торцевые уплотнения (СТУ), конструкция которых показана на рис. 8.

Рис. 8. Скользящее торцевое уплотнение:
1 – неподвижное кольцо; 2 – вращающееся кольцо;
3 – резиновый сильфон; 4 – пружина

Кольца торцевого уплотнения состоят из полированных износостойких колец, изготовленных из графита или силикона. Одно кольцо неподвижное, другое вращается вместе с валом. Между кольцами тонкая пленка теплоносителя, служащая смазкой и средством охлаждения. Срок службы СТУ зависит от температуры,

химического состава теплоносителя, наличия в нем абразивных микрочастиц, условий работы насоса.

Для циркуляционных насосов с «сухим ротором» и малой мощности применяется также вариант соединения вала ротора и вала насоса с помощью муфты на постоянных магнитах. Этот вариант насосов используется в ряде настенных котлов южнокорейских фирм (см. рис. 7). Преимуществом такой конструкции является то, что можно отделить мотор от насоса и отремонтировать его не сливая теплоноситель из системы. Недостатком – то, что магнитные свойства муфты уменьшаются со временем и в насосе возникает эффект проскальзывания крыльчатки насоса относительно вала ротора, что приводит к падению напорно-расходных характеристик и необходимости замены всей насосной части. Данные ЦН не оснащены воздушным вентилятором охлаждения и менее шумны, чем насосы с «сухим ротором» и воздушным вентилятором. В конструкциях такого типа, охлаждение мотора происходит за счет развитой алюминиевой «рубашки» охлаждения статора и использованием в котлах с закрытой камерой сгорания, то есть мотор постоянно обдувается потоком воздуха, организованного, расположенным рядом, вентилятора газовой горелки котла. Это частный случай конструкции циркуляционного насоса с «сухим ротором», который может существовать только в конкретной конструкции котла, где поток охлаждающего воздуха организован внешним устройством. Но такой насос существует и уровень шума таких насосов значительно ниже насосов с «сухим ротором» и воздушным вентилятором, расположенным на валу насоса. Уровень шума таких насосов на расстоянии один метр составляет 47–49 дБ.

ЦН с «сухим ротором» нашли широкое распространение в коммунальном хозяйстве и промышленном секторе и практически не применяются в индивидуальных системах отопления. Это обусловлено следующими факторами.

В промышленном и коммунальном секторах применяются насосы большой мощности с габаритными электромоторами. Линейные конструкции ЦН с крепление их на трубопроводах систем отопления не применяются. Необходимо периодическое обслуживание данных систем техническими специалистами. Воздушная система охлаждения таких насосов достаточно шумная, но в системах коммунального хозяйства они расположены в отдельных помещениях или подвалах и этот недостаток не мешает жителям домов. Большим преимуществом ЦН данного типа является то, что у них более высокий КПД, достигающий 50–60 %, что приводит к значительному снижению стоимости эксплуатации систем отопления и ГВС. У насосов малой мощности (до 1,5 кВт) и небольшим диаметром рабочего колеса КПД значительно меньше, но все равно он выше, чем у аналогичных насосов с «мокрым ротором».

Преимуществом насосов данного типа является также то, что в этих конструкциях можно ремонтировать электромоторы не демонтируя элементы системы отопления, просто отсоединив электромотор от насоса. Можно быстро заменить старый электромотор на новый.

Электромоторы ЦН данного типа могут быть как асинхронными однофазными или трехфазными, работающими при фиксированных скоростях вращения рабочего колеса, так и высокоэффективными энергосберегающими электромоторами с переменной скоростью вращения с использованием частотных инверторов. Расположение оси вращения ЦН «сухого» типа может быть произвольным.

Итак, преимуществами циркуляционных насосов с «сухим ротором» является:

– высокий КПД по сравнению с насосами с «мокрым ротором»;

– работа при мощностях электромотора более 2.5 киловатт;

– возможность проведения регламентных и ремонтных работ по электромотору без демонтажа циркуляционного контура и слива теплоносителя;

– возможность работы с более загрязненным теплоносителем;

– менее жесткие требования к теплоносителю по содержанию воздуха.

Недостатки:

– более высокий шум работы по сравнению с насосами с «мокрым ротором»;

– необходимость сервисного обслуживания квалифицированными работниками.

1.2. Конструкция циркуляционных насосов с «мокрым ротором»

На рис. 9 показана схема циркуляционного насоса с «мокрым ротором».

Корпус ЦН в большинстве случаев выполняется из чугуна, но последнее время, с целью снижения стоимости насоса, применяются корпуса из пластика. Рабочее колесо выполняется из пластика с добавлением композитных материалов, реже из латуни и чугуна.

Охлаждение электромотора происходит за счет циркуляции теплоносителя внутри электромотора. Ротор отделен от статора обмотки асинхронного электромотора переменного тока тонкостенным кожухом не имеющим магнитных свойств. Герметизация кожуха ротора и корпуса насоса выполняется с помощью резинового уплотнительного кольца. В центре вала электромотора находится канал, обеспечивающий циркуляцию теплоносителя внутри кожуха. Циркуляция происходит из-за разницы давления в контуре кожуха. Циркулируя, жидкость не только охлаждает, но и смазывает керамические или графитовые подшипники вала. ЦН с «мокрым ротором» нашли широкое применение в индивидуальных системах

отопления. Они компактны, имеют малый вес и, в большинстве случаев, имеют конструкцию линейного типа, то есть крепятся непосредственно на трубопроводе системы отопления (см. рис. 3).

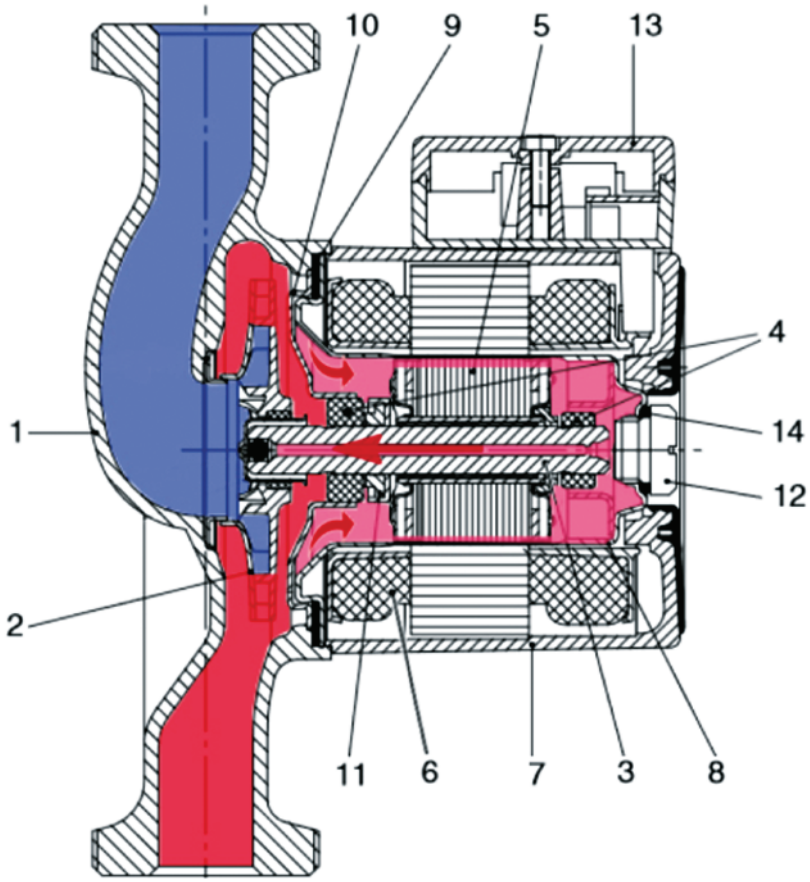


Рис. 9. Конструкция ЦН с «мокрым ротором»:
1 – корпус насоса; 2 – рабочее колесо (крыльчатка);
3 – вал электромотора; 4 – подшипники; 5 – ротор; 6 – обмотка статора;
7 – корпус электромотора; 8 – тонкостенный кожух; 9 – уплотнение кожуха; 10 – разделительная пластина; 11 – торцевое уплотнение;
12 – заглушка; 13 – конденсаторная коробка; 14 – уплотнение заглушки

Однако, в отличие от насосов с «сухим ротором», эти насосы должны быть установлены так, чтобы ось электромотора была расположена строго горизонтально. Сами насосы можно располагать как горизонтально, так и вертикально. Монтаж ЦН с вертикально расположенным валом приводит к неустойчивой работе системы, вызванной недостаточным охлаждением, что приводит к выходу насоса из строя. Также рекомендуется располагать коробку с конденсатором и кабельными соединениями в верхней части насоса из за более удобного доступа к ним. Схемы монтажа представлены на рис. 10.

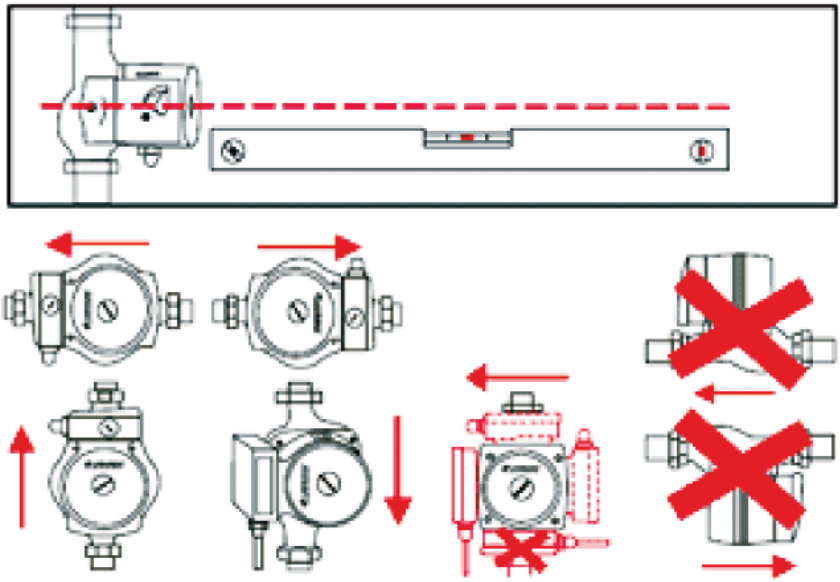


Рис. 10. Схемы монтажа циркуляционного насоса с «мокрым ротором»

До диаметра 32 мм соединительные патрубки ЦН выполняются в виде резьбовых соединений, выше – в виде фланцевых.

Главными преимуществами ЦН данного типа является отсутствие в их регулярного технического обслуживания и малый уровень шума. У насосов данного типа малой мощности уровень шума на третьей скорости составляет 38–40 дБ, а на первой скорости около 35 дБ. Эти преимущества очень важны при эксплуатации систем отопления и ГВС частных домов и квартирах с автономным отоплением, поскольку котлы располагаются хоть и в нежилых помещениях, но в непосредственной близости от них, в кухнях и коридорах.

ЦН с «мокрым ротором» с асинхронным электродвигателем однофазного или трехфазного переменного тока бывают односкоростными и трехскоростными.

Главный недостаток этих насосов – низкий КПД по сравнению с ЦН с «сухим ротором». При работе на третьей скорости у насосов малой мощности максимальный КПД составляет 13–18%.

1.3. Расчет характеристик циркуляционных насосов

Для правильного подбора циркуляционного насоса прежде всего определимся сколько тепловой энергии необходимо для отапливаемого помещения. Согласно [6] для домов с количеством этажей до трех и температурой окружающей среды до минус 30 °С необходимо 101 Вт тепловой энергии на каждый квадратный метр отапливаемой площади. Эта величина может быть существенно уменьшена, если при строительстве дома использовались современные теплоизоляционные материалы. Для такого дома достаточно тепловой энергии и 50 Вт/м^2, но поскольку, заранее объект строительства и его уровень теплоизоляции не известен, то можно принять для расчета именно 100 Вт тепловой мощности на квадратный метр отапливаемой площади и данную величину рассматривать, как максимальную. Соответственно,

если у вас площадь отапливаемой площади составляет 100 метров, то для обогрева данного помещения потребуется 10 кВт тепловой энергии. Производительность циркуляционного насоса, обеспечивающую доставку необходимой тепловой энергии для обогрева помещения можно определить по формуле:

$$Q = \frac{3{,}6W}{C\Delta T}, \qquad (1)$$

где Q – расход насоса, л/ч;

W – величина необходимой тепловой энергии для обогрева помещения, Вт;

C – коэффициент теплоемкости теплоносителя (для воды 4,2) кДж/кг;

ΔT – перепад температур в системе отопления циркуляционного контура.

В радиаторных отопительных приборах ΔT принимается равным 20 °С, в низкотемпературных приборах типа « теплый пол» – ΔT = 5 °С.

В нашем примере расчета для отапливаемой площади 100 квадратных метров необходимая производительность циркуляционного насоса равна:

$$Q = \frac{3{,}6 \cdot 10\,000}{4{,}2 \cdot 20} = 429 \text{ л/ч}$$

или 0,429 м^3/ч.

Если в качестве теплоносителя используется только вода, то формулу расчета необходимой производительности циркуляционного насоса можно упростить:

$$Q = \frac{W}{1{,}16 \cdot \Delta T}. \qquad (2)$$

Данную производительность циркуляционный насос должен обеспечивать в циркуляционном контуре системы отопления. Для этого он должен преодолевать гидравлические сопротивления трубопроводов и другой распределительной арматуры, установленной в системе отопления. Приближенный расчет сопротивления гидравлической системы при индивидуальном строительстве и воды в качестве теплоносителя можно выполнить по формулам (3).

Диаметр труб системы отопления рассчитывается из условия максимальной скорости движения теплоносителя не более 1 м/с.

$$d_{\min} = \sqrt{Q \cdot (\pi \cdot 3600)}, \text{ м}, \qquad (3)$$

где Q – необходимая производительность циркуляционного насоса, м^3/ч.

В нашем рассматриваемом случае, помещения 100 квадратных метров, минимальный проходной диаметр основной магистрали трубопровода, подсоединенного к насосу, не должен быть меньше 12 миллиметров проходного сечения.

Если принять гидравлическое сопротивление прямых участков труб, равным $R = 200$ Па/м, что соответствует стальным новым трубам, то упрощенную формулу расчета необходимого напора циркуляционного насоса можно представить в виде:

$$H = 200 \cdot L \cdot k = 400 \cdot L, \text{ Па}, \qquad (4)$$

где L – длина циркуляционного контура отопления, м;
$k = 2$ – коэффициент сложности системы,

так, при длине циркуляционного контура в 40 м, гидравлическое сопротивление по формуле (4) составит 16000 Па, или 1,6 метра водного столба.

Таким образом, в нашем случае примера, циркуляционный насос должен обеспечивать производительность 0,43 м^3/ч при напоре 1,6 метра и иметь проходной диаметр труб циркуляционного контура не менее 12 мм.

Эти значения циркуляционного контура рассматриваемой системы являются основными параметрами для подбора циркуляционного насоса. На рис. 11 представлена типовая напорно-расходная характеристика насоса и кривая гидравлического напора циркуляционного контура отопительной системы. Точка пересечения этих кривых называется «рабочей точкой» системы.

Рис. 11. Напорно-расходная характеристика циркуляционного насоса, характеристика гидравлического сопротивления контура и «рабочая точка»

Каждый циркуляционный насос имеет напорно-расходную характеристику. Если циркуляционный насос с электромотором асинхронного типа имеет несколько скоростей вращения ротора, то подбирать параметры надо по высшей скорости вращения. Напорно-расходные характеристики указаны в техническом паспорте на циркуляционный насос. Правильный выбор насоса заключается в следующем:

– надо определить точку на напорно-расходной кривой в которой произведение величины напора и расхода является максимальным. Это точка максимального значения коэффициента полезного действия насоса. Если вокруг этой точки очертить круг с радиусом 10 % от максимального значения расхода циркуляционного насоса, то мы получим зону эффективного использования «А» (см. рис. 12). Для правильного подбора циркуляционного насоса для рассматриваемой системы отопления, надо на графике напорно- расходной характеристики конкретного насоса с выделенной зоной эффективного использования нанести точку требуемого расхода и напора контура системы отопления, полученные выше для конкретного рассматриваемого случая циркуляционной системы.

Если «рабочая точка» системы попадает в зону, очерченную кругом, то насос подходит. Чем ближе к центру круга расположена «рабочая точка» системы, тем больше подходит насос для эффективного использования в конкретной системе. Фактически, подбор насоса заключается в последовательном переборе напорно-расходных характеристик нескольких насосов. На рис. 13 показан пример выбора циркуляционного насоса из двух разных насосов.

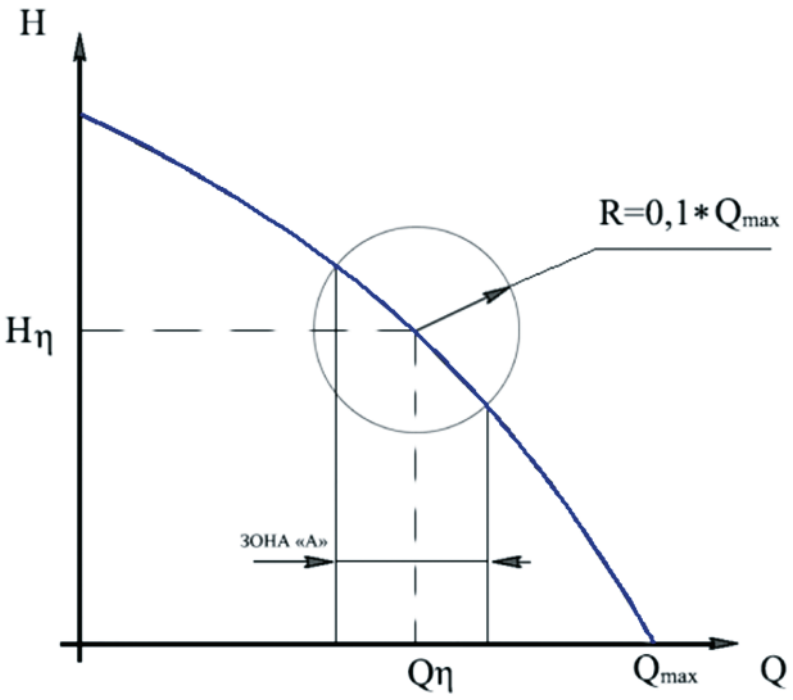


Рис. 12. Зона эффективной работы циркуляционного насоса

На рисунке указаны напорно-расходные характеристики I и II двух разных насосов. Окружностями указаны зоны эффективного использования каждого насоса. Также на рисунке нанесена рабочая точка гидравлической системы отопления. На рисунке видно, что в варианте насоса I, «рабочая точка» выпадает из зоны эффективного применения, и находится практически у ее края, в варианте II, «рабочая точка» практически в центре круга эффективности. Именно II вариант циркуляционного насоса больше подходит к рассматриваемой системе отопления. В общем случае, выбирается тот насос, у которого наименьшее расстояние между

рассчитанной рабочей точкой и точкой максимального КПД на напорно- расходной характеристике насосов.

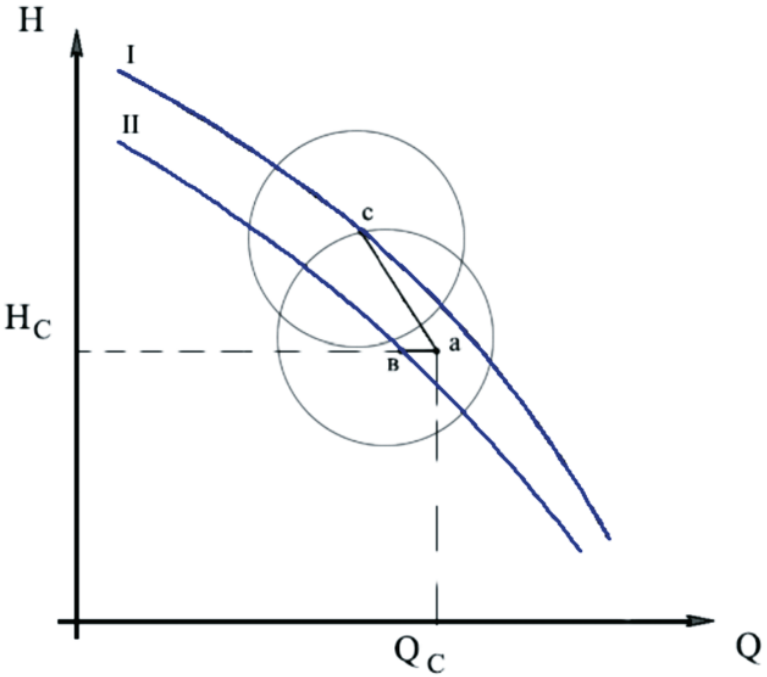


Рис. 13. Подбор циркуляционного насоса

1.4. Показатели энергетической эффективности ЦН переменного тока с постоянной скоростью вращения

Для оценки энергетической эффективности циркуляционных насосов рассмотрим несколько понятий.

Коэффициент полезного действия – важнейший показатель, представляет собой отношение полезной мощности к потребляемой, выраженное в процентах, и обозначается греческой буквой η (эта).

Входная (потребляемая) электрическая мощность насосов – это мощность, которую электрический двигатель насоса забирает от электрической сети питания. Замерить ее достаточно легко с помощью ваттметра.

Гидравлическая или полезная мощность насоса. Это та мощность, которая получается в результате работы насоса в виде расхода и напора жидкости. Расчет гидравлической мощности производится по формуле:

$$P_{hyd} = 2{,}73 \cdot Q_{100\%} \cdot H_{100\%}, \text{ Вт}, \qquad (5)$$

где $Q_{100\%}$ – расход, при максимальном произведении расхода на напор, м^3/ч;

$H_{100\%}$ – напор, при максимальном произведении расхода на напор, м.

На рис. 14 показаны классические графики напорно-расходной характеристики и полного коэффициента полезного действия.

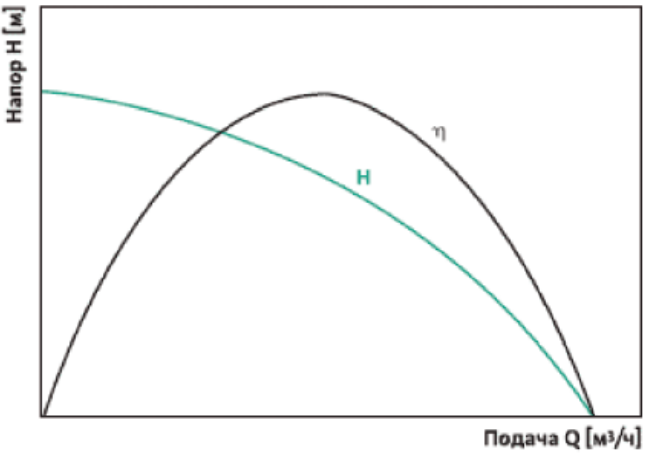


Рис. 14. Графики напорно-расходной характеристики и коэффициента полезного действия циркуляционного насоса

Коэффициент полезного действия характеризует систему в конкретный момент ее работы. Но ЦН может работать в разных режимах и не всегда на максимуме своей эффективности. Встает вопрос, как оценить энергозатраты ЦН для всего времени эксплуатации в течение года. Для оценки насосов с точки зрения потребления энергии при эксплуатации ЦН введен параметр – **индекс энергоэффективности циркуляционного насоса** (*EEI* – Energy Efficiency Index): Отношение средневзвешенной, потребляемой циркуляционным насосом мощности в различных режимах работы к базовой мощности, рассчитываемой для режима с максимальным коэффициентом полезного действия (КПД).

$$EEI = \frac{P_{L,avg}}{P_{ref}}, \qquad (6)$$

где $P_{L,avg}$ – средняя взвешенная мощность, Вт;

P_{ref} – опорное значение мощности, Вт.

Российский стандарт расчета *EEI* [4] гармонизирован с требованиями программы добровольной маркировки Европейской ассоциации производителей насосов (Europump). В результате маркировки автономных бессальниковых циркуляционных насосов данные, приводимые на этикетке энергетической эффективности изготовителей, как отечественных, так и зарубежных, будут иметь соответствующую сравнимую основу к взаимной выгоде, как пользователей, так и изготовителей насосов. В реальных условиях работы конкретных систем вопрос сравнения энергетической эффективности различных ЦН остается всегда открытым и является предметом исследований. Но для того, чтобы можно было сравнить насосы разных производителей, принята конкретная нагрузка, относительно которой и сравнивается эффективность годовых затрат.

Опорное значение мощности – соотношение гидравлической мощности и мощности, потребляемой циркуляционным насосом, с учетом зависимости эффективности циркуляционного насоса от его размеров.

Опорное значение мощности вычисляется по следующим формулам:

$$P_{ref} = 2{,}21 \cdot P_{hyd} + 55; \tag{7}$$

$$20 \text{ Вт} \le P_{hyd} \le 2500 \text{ Вт};$$

$$P_{ref} = 2{,}21 \cdot P_{hyd} + 55 \cdot \left(1 - e^{-0{,}39 \cdot P_{hyd}}\right);$$

$$1 \text{ Вт} \le P_{hyd} \le 20 \text{ Вт}.$$

Средневзвешанная мощность определяется по формуле:

$$P_{L,avg} = 0{,}06P_{L100\%} + 0{,}15P_{L75\%} + 0{,}35P_{L50\%} + 0{,}44P_{L25\%}, \tag{8}$$

которая принята на основании профиля нагрузки, взятого в качестве опорного профиля годовой интенсивности, составляющего 6–100 % нагрузки по расходу, 15–75; 35–50 и 44 % при расходе 25 % от расхода с максимальным КПД.

Подробно описание индекса энергетической эффективности циркуляционных насосов приведено в [4]. Здесь же необходимо отметить, что фактически *EEI* – это показатель эффективности насосного агрегата с учетом электродвигателя. Такой подход легко объясним, т. к. для данной конструктивной схемы циркуляционный насос с электродвигателем представляет собой единое изделие и отдельно не поставляется.

Для обозначения энергетической эффективности автономных бессальниковых циркуляционных насосов в зависимости от их индекса энергетической эффективности установлены классы (по возрастанию) от *A* до *G* . Таблица 1 классов

энергетической эффективности представлена во введении, а маркировка классов на рис. 5.

В данном учебном пособии представлены основные данные по эффективности циркуляционных насосов с «мокрым ротором» и «сухим ротором» с асинхронными электромоторами с постоянной скоростью вращения ротора.

– полный КПД циркуляционных насосов с «мокрым ротором», нашедших широчайшее применение в индивидуальных системах отопления и горячего водоснабжения невысок и составляет на третьей скорости вращения (при наличии нескольких) – 13–18 %;

– значение максимального КПД на второй и первой скорости еще меньше и составляет 9–14 % и 5–8,5 % соответственно;

– в электромоторах данного типа ЦН применяется как медная обмотка статора электродвигателя, так и алюминиевая. При использовании алюминиевой обмотки значения КПД снижаются еще на 1,5–2 %;

– большое значение на эффективность работы имеет уровень и стабильность напряжения переменного тока. Так, при снижении напряжения с 220 до 200 В, падение КПД происходит еще на 0,7 %, а при напряжении 180 В – еще на 0,7 % по отношению к первоначальному.

Уровень шума при работе циркуляционного насоса с «мокрым ротором» на удалении 1 метр на третьей скорости вращения составляет 40 дБ. На низших скоростях уровень шума снижается на 2–3 дБ на каждое переключение.

Главным преимуществом данных циркуляционных насосов является отсутствие необходимости проведения сервисного обслуживания. Правильно подобранный насос данного типа может работать несколько лет непрерывно.

Циркуляционные насосы малой мощности с «сухим ротором» в индивидуальных системах отопления встречаются значительно реже. Но в коллективных децентрализованных системах они находят широкое применение. Это односкоростные линейные или блочные центробежные насосы.

Уровень шума маломощных насосов данного типа в сравнении с насосами аналогичной мощностью «мокрого» типа выше и составляет около 50–55 дБ. Однако КПД выше и составляет около 23–25 %, то есть, на 25–30 % выше насосов с «мокрым ротором». Это при использовании рабочих колес около 70 мм в диаметре. При применении рабочих колес большего диаметра, КПД таких насосов еще выше. Влияние напряжения на КПД насосов меняет характеристики на 2–3 %. В ЦН с «сухим ротором» иногда применяются системы охлаждения с внешним вентилятором. В этом случае уровень шума самого циркуляционного насоса без вентилятора, составляет около 40 дБ.

Классы эффективности насосов с «мокрым ротором» и с асинхронным электромотором постоянной скорости вращения (максимальной), в большинстве случаев, соответствуют уровню «D», и «E», но, если использовать алюминиевую обмотку статора, а не медную, то уровень энергоэффективности таких насосов может опуститься даже до уровня «F».

Глава 2. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ НАСОСЫ С ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА

2.1. Основы работы энергосберегающих циркуляционных насосов

С точки зрения насосной части, энергосберегающие циркуляционные насосы имеют конструкцию, аналогичную изложенной в разделе 1.2 главы 1. Все отличия кроются в электродвигателе насоса и алгоритме работы.

Циркуляционный насос- элемент системы отопления. Его основное назначение доставить тепловую энергию от генератора тепловой энергии (котла) до прибора отопления помещения (радиатор, «теплый пол» и т.д.). При работе насос потребляет электрическую энергию, величина которой зависит от общего КПД насоса и продолжительности и интенсивности работы.

Система отопления дома, сложный инженерный объект, цель работы которого – создание комфортных стабильных условий для пребывания человека в помещении. Внутренние параметры температурного режима в помещении должны быть постоянны в течение всего периода пребывания в нем, и зимой и летом. Если рассматривать вопрос отопления помещений, то в Российской Федерации продолжительность отопительного сезона равна от 5 до 7 месяцев и температура воздуха вне помещений может быть до минус 35 °С и ниже. С другой стороны, бывают и очень теплые зимы с температурой около нуля, а в весенне – осенний период температура составляет плюс 10–15 °С. При таких условиях энергия, необходимая для поддержания комфортных температурных

условий в помещении, может меняться в несколько раз. Кроме того, различаются требования к различным отапливаемым помещениям. Спальня, столовая, детская комната, кабинет, прихожая, производственное помещение, склад, могут иметь разный уровень требуемых температур. Отопительные приборы, размещенные в помещениях, рассчитаны на возможность передачи тепла в помещение от теплоносителя для максимально холодных условий внешней температуры. При более теплой погоде нет необходимости в мощных отопительных приборах. Надо уменьшить количество передаваемой энергии от котла к отопительным приборам. Все комнаты имеют разные размеры, теплоизоляцию и остывают по разному. Комнаты одинаковой площади и назначения могут иметь различное количество окон, расположены внутри дома или быть угловыми, иметь разное удаление от котла, а, следовательно, разную длину трубопроводов. Системы отопления в целом, и их эффективность, будут рассмотрены в четвертой части учебного пособия. Циркуляционный насос это элемент системы и в реальности у него есть только две характеристики: напор (сила тока обмотки статора), расход (скорость вращения ротора). С точки зрения энергоэффективности, насосная часть у традиционных насосов с «мокрым ротором» и «сухим ротором» и асинхронным электромотором с постоянной скоростью вращения и современными энергосберегающими насосами, одинаковая. Следовательно, реальная энергоэффективность определяется:

– сравнением максимального полного КПД циркуляционного насоса с асинхронным электромотором с постоянной скоростью вращения ротора с синхронным электромотором на постоянных магнитах, или асинхронным мотором с частотным преобразователем при одинаковом исполнении насосной (гидравлической части);

– возможностью автоматического регулирования скорости вращения ротора при изменении внешних для циркуляционного насоса условий, которыми является гидравлическое сопротивление и температура теплоносителя;

– алгоритмом адаптации напорно-расходных характеристик энергосберегающих насосов к характеру изменения внешних для циркуляционного насоса условий;

– алгоритмом продолжительности работы системы циркуляции теплоносителя.

2.2. Применение частотного регулирования асинхронного электромотора для циркуляционного насоса с «сухим ротором»

Преимущества и недостатки циркуляционным насосом с «сухим ротором» рассмотрены в разделе 1.5. Энергоэффективность этого типа насосов может быть повышена автоматический регулировкой частоты вращения ротора с помощью использования частотного регулятора. Применение данных насосов целесообразно для больших индивидуальных домов или коллективных домов с децентрализованной системой отопления и горячего водоснабжения.

Суть частотного регулирования циркуляционных насосов с «сухим ротором» и асинхронным двигателем состоит в том, что если для комфортности и стабилизации температуры в помещениях на отопительных приборах поставить терморегулируемые автоматические вентили, то при определенной выставленной температуре они перекрывают поток тепловой энергии теплоносителя, меняя гидравлическое сопротивление отопительной системы. Если в системе установлен циркуляционный насос с постоянной скоростью вращения ротора, то изменение (рост) гидравлического сопротивления

приводит к увеличению скорости потока теплоносителя в оставшихся приборах отопления. Увеличение скорости движения приводит к увеличению шума отопительных приборов с одной стороны, и увеличения скорости нагревания остальных помещений. Насос работает с повышенной нагрузкой, которая, в данном случае, совершенно не нужна. Нужно переключить скорость вращения ротора на низшую. Но в насосах с фиксированными скоростями это можно сделать только вручную. Кроме того, величина снижения производительности насоса при ступенчатом переключении может быть слишком большой и недостаточной для стабильной работы других отопительных приборов. Через некоторое время, термостатический клапан опять откроется и потребуется, либо опять вручную переключить скорость работы насоса на повышенную, либо помещения будут охлаждаться.

Если мы говорим о комфорте и автоматическом поддержании заданной температуры в помещениях, то необходима автоматическая регуляция потока теплоносителя. В варианте циркуляционного насоса с «сухим ротором» и асинхронным мотором это можно сделать с помощью частотного преобразователя. Для его работы в напорную магистраль циркуляционного насоса монтируется датчик давления. При повышении или понижении давления в магистрали происходит соответствующее изменение частоты питающего насос переменного тока. Изменения происходят по программе, установленной в частотном преобразователе. На рис. 15 показана нагрузочная характеристика при работе насоса с фиксированной скоростью вращения ротора и с частотным преобразователем для циркуляционного насоса с «сухим ротором» и асинхронным электромотором.

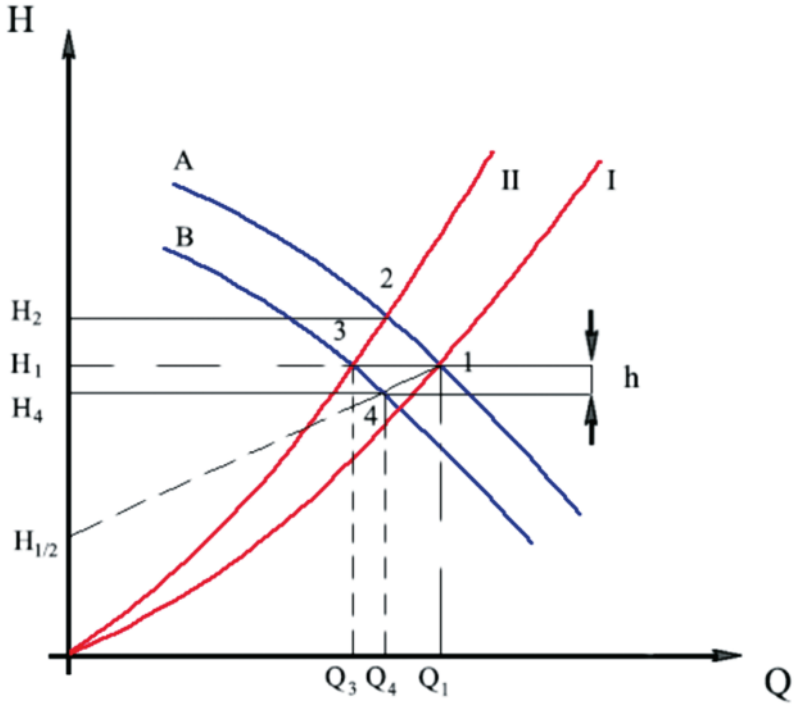


Рис. 15. Перестройка циркуляционного насоса с частотным регулированием на изменения гидравлического сопротивления контура

При изменении гидравлического сопротивления циркуляционного контура из-за закрытия (регулировки) термостатической арматуры, первоначальная кривая сопротивления контура (I) превращается в кривую (II) с большим наклоном. Циркуляционный насос с постоянной скоростью вращения ротора имеет фиксированную напорно-расходную характеристику (A). Изменение сопротивления контура приведет к тому, что рабочая точка перейдет из положения 1 в положение 2, что вызовет увеличение напора в контуре на величину $\Delta = H1 - H2$ и снижение в расходе насоса на величину $Q1 - Q2$, при этом не ясно, достаточно ли полученной

производительности насоса для поддержания заданных условий измененного контура отопления. При использовании частотного преобразователя с заданной функцией поддержания постоянного давления в циркуляционном контуре, происходит автоматическое изменение частоты вращения ротора и новая напорно-расходная характеристика (В). В которой, рабочая точка переходит из положения 1 в положение 3. Давление в системе не меняется, величина расхода уменьшается на $Q1-Q3$, которая больше $Q1-Q2$. При условии, что программа поддерживает постоянный уровень давления в системе измененного циркуляционного контура. При открытии терморегулирующих вентилей, частотный преобразователь восстановит первоначальную величину скорости вращения ротора циркуляционного насоса. Существуют также и программы, позволяющие пропорционально изменять давление и расход циркуляционных насосов с частотным преобразователем на основании принятого алгоритма. Один из вариантов такого изменения показан на рис. 15. При изменении гидравлического сопротивления в режиме II, изменяется и напор и расход (точка 4), а траектория пропорциональности определена алгоритмом снижения напора по линии половинного напора с точками 1 и ($Q = 0{,}1/2H$).

Преимущества применения частотных преобразователей для циркуляционных насосов с «сухим ротором» и асинхронным электромотором:

– высокий КПД по сравнению с циркуляционными насосами с «мокрым ротором»;

– увеличение срока службы насоса за счет работы без перегрузки, плавного пуска, низких пусковых токов (в том числе, снижение механических и электрических составляющих нагрузок насоса);

– экономия электрической энергии при использовании режимов работы с меньшей скоростью вращения ротора;

– дополняет возможность оптимизации всей автономной системы отопления и горячего водоснабжения за счет эффективной работы энергетической установки (котла).

Недостатки циркуляционных насосов данного типа:

– стоимость частотного преобразователя соизмерима со стоимостью циркуляционного насоса;

– необходимость установки терморегуляторов на каждый отопительный прибор, что приводит к дополнительным затратам. Без терморегуляторов никакой эффективности применения частотных преобразователей нет;

– встает вопрос системы охлаждения мотора. Эффективность воздушного охлаждения при уменьшении частоты вращения ротора падает. Требуется установка автономного охлаждающего устройства;

– необходимость периодического обслуживания циркуляционных насосов данного типа;

– более высокий уровень шума, чем у насосов с «мокрым ротором»;

– диапазон регулирования скорости вращения не очень большой. Величина экономии электрической энергии сильно зависит от конкретных климатических условий и схем циркуляционного контура.

2.3. Циркуляционные насосы с «мокрым ротором», синхронным мотором на постоянных магнитах с частотным регулированием оборотов ротора

Преимущества и недостатки ЦН с «мокрым ротором» и асинхронным электромотором с постоянной скоростью описаны ранее. Можно также применить частотное регулирование, позволяющее подстроится к изменяемой нагрузке. Но в ЦН данного типа высокая энергоэффективность достигается применением синхронного электромотора на постоянных магнитах.

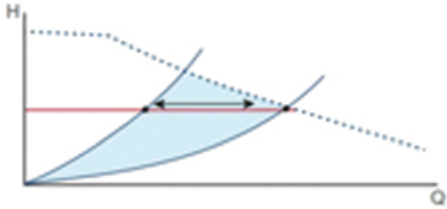
Дополнительным преимуществом данной конструкции является еще более высокий КПД таких насосов. При использовании ЦН малой мощности, КПД таких насосов в два раза выше насосов с «мокрым ротором» и асинхронным мотором и составляет около 40%. Кроме того, существует множество адаптационных программ, позволяющих эффективно подстроиться к меняющимся параметрам циркуляционного контура.

На рис. 16 представлен циркуляционный насос с «мокрым ротором» и синхронным электромотором на постоянных магнитах.

Рис. 16. Энергосберегающий циркуляционный насос Альфа 1

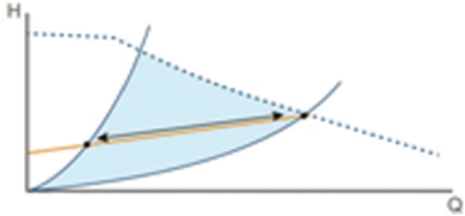
Адаптационные программы устанавливаются последовательным переключением кнопки выбора алгоритма. В насосе Алфа 1, это три режима с постоянными скоростями вращения ротора. Применяются в однотрубных системах отопления (ГВС), режим постоянного давления – эффективен для «теплых полов», режим

пропорционального изменения параметров напора и расхода – для радиаторных систем отопления. На рис. 17 показаны напорно-расходные характеристики, характерные для трех основных алгоритмов управления.



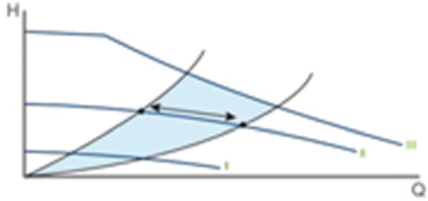
Кривая регулирования с постоянным значением давления

a



Кривая пропорционального регулирования давления

b



Три кривые режима управления с постоянной характеристикой

c

Рис. 17. Основные алгоритмы управления циркуляционных насосов Альфа 1

2.4. Стратегии управления работой циркуляционного насоса

Существует много различных способов регулирования (адаптации) работы циркуляционных насосов к изменяющимся условиям внешней среды. Считаем необходимым отметить, что ряд из них носит «маркетинговый» характер и никак не влияет на повышение энергетической эффективности работы циркуляционного насоса.

Прежде всего, если мы рассматриваем не эффективность работы всей отопительной системы, а именно циркуляционного насоса, то существует только несколько параметров, которые может анализировать блок управления циркуляционного насоса, это:

– скорость вращения ротора насоса. Эта характеристика напрямую связана с расходом (подачей, производительностью). Чем выше скорость вращения ротора, тем больше расход;

– сила тока в обмотке статора синхронного мотора. Эта нагрузка связана с напором циркуляционного насоса.

Это параметры, которые способна анализировать система управления циркуляционного насоса. Их можно назвать главными факторами.

Кром того, в управлении может быть задействовано значение температуры теплоносителя и время. Эти параметры можно назвать внешними, вторичными.

Задача циркуляционного насоса – создать перепад давления с определенной производительностью, а распределение тепловой мощности и сама величина тепловой мощности, задачи распределительных устройств и энергетической установки системы отопления. Не надо путать вопросы эффективности работы насоса и всей отопительной системы. Это разные задачи и у них разные решения.

Рассмотрим некоторые, основные режимы автоматической регулировки работы циркуляционного насоса данного типа.

А. Работа насоса с поддержанием постоянного давления в циркуляционном контуре

Схема работы насоса для данного случая представлена на рис. 17, а). При изменении гидравлического сопротивления системы отопления, вызванного отключением или подключением отдельных отопительных приборов или изменением их сопротивлений, скорость вращения ротора насоса уменьшается или увеличивается при стабильном гидравлическом напоре насоса. Сохранение постоянного напора в изменяемом циркуляционном контуре важно для некоторых приборов отопления, например, «теплый пол». При определенных давлениях, данные устройства перестают функционировать, или значительно теряют эффективность своей работы, постоянного давления требуют и разветвленные контуры. При изменении давления, некоторые из них могут просто отключаться и обогрев данной ветки сложного контура не происходит. Возможны варианты разной степени исполнение этого режима. К примеру, может быть заданы несколько величин напоров (устанавливаемых заранее), которые необходимо поддерживать. Или задан интервал изменения давления, который требуется соблюдать. Возможен также вариант поиска наибольшего КПД, внутри возможного диапазона изменения напора.

В) Пропорциональное изменение величины напора и расхода насоса. Схема представлена на рис. 17, b). При изменении гидравлического сопротивления циркуляционного контура происходит пропорциональное изменение и напора и расхода по заданной линии, определенной заранее. Вариантов пропорциональности может быть несколько. В том числе, линейной, нелинейной, зонной. Данный алгоритм адаптации эффективен при использовании отопительных приборов радиаторного типа.

C) Автоматическое изменение частоты вращения (расхода) в зависимости от времени суток. (Схема переключения представлена на рис. 17, c). Если Потребитель тепловой энергии считает, что комфортным для него является некоторое снижение температуры внутри помещений в ночной период, то он может установить пониженное значение скорости вращения ротора циркуляционного насоса в ночной период времени. В этом случае, наряду с выполнением персональных понятий о комфортности получается и небольшая экономия электрической энергии.

Также, данный режим используется в системах рециркуляции ГВС.

D) Задание режимов работы насоса в зависимости от временного графика. К примеру, жильцы уехали в отпуск, или часть рабочей недели в доме никто не проживает. Или в случаях, рассматривается циркуляционный контур какой-то конкретной системы, имеющий временной цикл нагрузки.

E) Режимы «ручного» управления. В ряде случаев, Потребителю необходимо задать постоянную скорость вращения циркуляционного насоса. Таких скоростей может быть несколько.

F) «Автопилот» функция автоматического уменьшения частоты вращения ротора при уменьшении температуры теплоносителя в напорной магистрали отопительного контура.

G) Прямое цифровое управление (DDC) – режим управления циркуляционным насосом из центральной системы управления температурного режима дома.

H) Также, особенно в алгоритмах управления контуром рециркуляции ГВС, применяются системы с запоминанием истории потребления горячей воды. В индивидуальном доме, при небольшом количестве постоянных жителей, нет необходимости постоянно поддерживать готовность потребления горячей воды. Жители дома имеют определенный график потребления ГВС. Программы управления запоминают график потребления горячей

воды для конкретных жителей, как правило, это недельный цикл записи информации, и в дальнейшем заранее включают рециркуляцию к установленному времени. Эти алгоритмы позволяют снизить потребление энергоресурсов в несколько раз. Если все жильцы дома на работе или на учебе, нет необходимости круглосуточно обеспечивать готовность к потреблению горячей воды, достаточно за несколько минут до момента повторяемой ежедневно ситуации, включить такую опцию. Также нет необходимости поддерживать температуру в рециркуляционном контуре ГВС на постоянном максимуме, достаточно обеспечить диапазон 35–40 °С.

Оптимизационные алгоритмы управления системами отопления и ГВС будут рассмотрены в четвертой части учебного пособия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повышение эффективности теплогенерирующих установок за счет использования энергосберегающих узлов и оптимальных алгоритмов, учитывающих изменчивость внешних погодных условий, является актуальной задачей, стоящей перед наукой промышленными предприятиями. Циркуляционные насосы – важные элементы системы отопления и горячего водоснабжения, обеспечивающие передачу тепловой энергии от источника (котла) до приборов отопления с помощью теплоносителя.

В учебном пособии рассмотрены все основные типы циркуляционных насосов, их классификация, указаны преимущества и недостатки конструкций и технических решений. Подробно разобраны классические насосы с «мокрым» и «сухим» роторами с асинхронным электромотором с постоянной скоростью вращения, определены из энергетические параметры, в том числе общий коэффициент полезного действия, индексы и классы энергетической эффективности. Представлены зависимости указанных параметров от скоростей вращения ротора, напряжения питания, материала обмотки статора электромотора. Определены диапазоны изменения указанных характеристик. Максимальный КПД циркуляционных насосов с «мокрым ротором» и мотором асинхронного типа с постоянной скоростью врашения, составляет на максимальной частоте вращения не более 20 %. На низших скоростях вращения ротора этот показатель падает до 8 %. При использования алюминия в обмотке статора мотора насоса, максимальный КПД падает на 1–2 % по сравнению с обмоткой из меди. Уровень шума при работе

насосов данного типа на максимальной скорости вращения составляет около 40 дБ. На низших скоростях вращения ротора этот показатель падает до 34 дБ.

Циркуляционные насосы малой мощности с «сухим ротором» и асинхронным мотором с постоянной скоростью вращения имеют максимальный КПД около 25 %, что выше аналогов с «мокрым ротором», уровень шума при работе с вентиляторным воздушным охлаждением составляет около 50 дБ.

Отдельно рассмотрены вопросы устройства энергоэффективных энергосберегающих циркуляционных насосов с переменными параметрами, в том числе с асинхронным электромотором с переменной скоростью вращения ротора с частотным регулированием и синхронным электромотором на постоянных магнитах.

Максимальный КПД маломощных насосов с «мокрым ротором» и синхронным мотором на постоянных магнитах составляет около 40 %, что в два раза выше аналогов с асинхронным электромотором. В учебном пособии также описаны основные и вспомогательные стратегии управления процессом адаптации режимов работы циркуляционного насоса к изменяемым параметрам циркуляционного контура и оптимизации энергозатрат различных алгоритмов работы циркуляционных насосов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Торопов А.Л. Комбинированные тепловые гелиосистемы. Ч. 1. Тепловые солнечные коллекторы для индивидуальных и децентрализованных систем отопления и горячего водоснабжения: учебное пособие. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2019. – 88 с. ISBN 979-5-91327-570-7. DOI 10.17513/np.346.

2. Торопов А.Л. Комбинированные тепловые гелиосистемы. Ч. 2. Тепловые аккумуляторы, бойлеры косвенного нагрева для индивидуальных и децентрализованных систем отопления и горячего водоснабжения: учебное пособие. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2019. – 44 с. ISBN 978-5-91327-576-9 DOI 10.17513/np.348.

3. Торопов А.Л. О проблемах возникновения легионеллы и других бактерий в индивидуальных и децентрализованных системах отопления и горячего водоснабжения комбинированных гелиосистем // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 3 (часть 2) – С. 256-260; URL: http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=37475 (дата обращения: 26.04.2019). DOI 10.17513/snt.37475.

4. ГОСТ Р 56477-2015. Энергетическая эффективность. Насосы автономные бессальниковые циркуляционные. Информирование потребителей об энергетической эффективности циркуляционных насосов. – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2015. – 11 с.

5. ГОСТ Р 55155-2012 Автономные бессальниковые циркуляционные насосы и бессальниковые циркуляционные насосы, встроенные в другие устройства. Показатели энергетической эффективности и методы определения. – М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2013. – 7 с.

6. СНиП 2.04.05-91 Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М.: ГУП ЦПП, 1997. – 75 с.

Учебное издание

Торопов Алексей Леонидович

КОМБИНИРОВАННЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ГЕЛИОСИСТЕМЫ

Часть 3

Циркуляционные насосы для индивидуальных и децентрализованных систем отопления и горячего водоснабжения

Учебное пособие

9 785913 275875

Технический редактор Кулакова Г.А.
Подписано в печать 19.06.2019
Бумага офсетная.
Гарнитура NewtonC
Формат 60×84 1/16
Печать трафаретная. Печ. л. 3,38.
Тираж 500 экз. Заказ № 015-19.

Отпечатано в типографии ИД «Академия Естествознания»,
440026, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3