

## СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛИХ МАССИВОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

**Искакова Назерке Ергалиевна**  
*iskakova.nazerke.e@gmail.com*

Магистрант 1 курса кафедры «Теплоэнергетика» ЕНУ им. Л.Н.Гумилева,  
 Нур-Султан, Казахстан  
 Научный руководитель – М.Г.Жумагулов

В Казахстане сложившаяся система отопления и горячего водоснабжения многоэтажных жилых домов организована как система централизованного теплоснабжения (СЦТ). С помощью систем такого типа обслуживается более 70% городских жителей, т.е. почти 40% населения страны. Общая протяженность тепловых сетей в двухтрубном исчислении по республике составляет почти двенадцать тысяч километров. Большинство из них были построены до 1990 года. По классификации систем теплоснабжения приведенного на рис.1, СЦТ нашей страны относятся ко второму и третьему поколению без возобновляемых источников энергии.

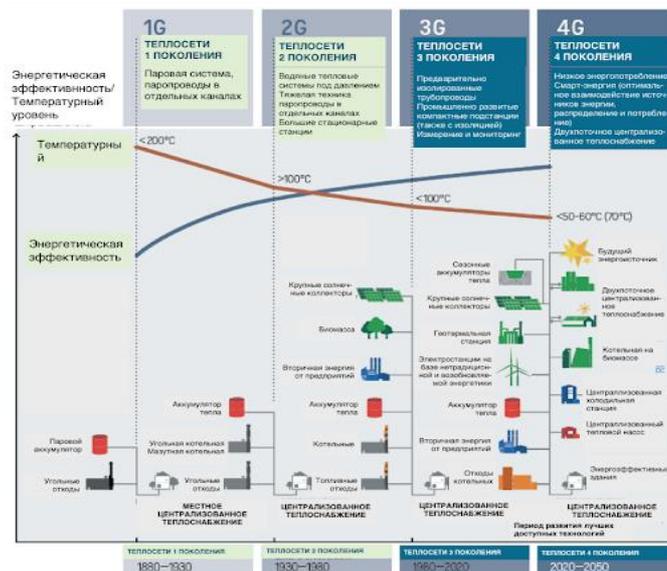


Рисунок 1 – Классификация систем теплоснабжения

В настоящее время на рынке не существует масштабируемой инфраструктуры, заменяющей ископаемое топливо, из-за высоких колебаний идеальных условий эксплуатации, которые необходимы возобновляемым источникам энергии для обеспечения большого спроса. Это особенно верно в северных странах, где прямой солнечный свет или ветер могут отсутствовать в течение часто больших, неизвестных периодов времени.

Существует нехватка моделей и методов анализа районных тепловых сетей четвертого поколения, способных как извлекать, так и депонировать тепловую энергию в ту или иную тепловую сеть. Для бесперебойного отопления за счёт возобновляемых источников энергии целесообразно создание централизованных систем, которые относятся к четвёртому поколению.

Расчет [1] показывает, что в густонаселенных городских условиях может быть достигнуто снижение энергопотребления до 70 процентов за счет рекуперации остаточного тепла и повторного использования его в других частях теплосети. Это меняет роль потребителей, превращая их в квазипотребителей, где они не полностью генерируют или покупают собственную тепловую энергию, а скорее перепродают всю купленную энергию, которая не была использована и которая в противном случае была бы потеряна для окружающей среды, если бы ее оставили в помещении на довольно долгое время. Кроме того, к этому биржевому рынку можно также подключить охлаждающее оборудование, которое часто генерирует большие тепловые потоки. Это создает пространство для обмена тепловой энергией и ее отсутствия (в виде очень холодной воды), так что холодильникам не нужно использовать все свое электричество для неэффективного охлаждения своего интерьера. Вместо этого он может приобрести холодную среду на этом обменном рынке, чтобы использовать ее для частичного охлаждения своего внутреннего пространства.

Несмотря на то, что сама по себе идея отправки пакетов тепловой энергии является большим стимулом для минимизации выработки энергии, можно было бы значительно повысить эффективность передачи между различными потребителями, минимизируя потери и счет за электроэнергию.

Централизованные тепловые сети, наряду со всеми их компонентами и использованием жидкости или газа в качестве среды транспортировки энергии, по своей сути являются нелинейными системами, связанными с несколькими задержками переменной длины. В связи с тем, что системы централизованного теплоснабжения четвертого поколения - это относительно новая концепция, где основная идея заключается в том, что должен быть способ хранения тепловой энергии для последующего использования, в этой области еще предстоит провести много исследований [2]. Например, не существует какой-либо общеизвестной модели для системы такого типа. Для того чтобы иметь возможность анализировать схемы управления системой централизованного теплоснабжения четвертого поколения, необходимо создать такую модель. Именно на основе этой модели будут созданы различные схемы управления.

Нынешние сети централизованного теплоснабжения работают от центрального теплового пункта, который не только должен следить за тем, чтобы горячая вода, необходимая для обогрева зданий, имела правильную температуру (около 95-120°C), но и чтобы давление в сети поддерживалось таким образом, чтобы вода могла течь с достаточной скоростью даже для потребителя, который находится дальше всего от них. Быстрый массовый поток подразумевает лучший нагрев для всех элементов сетки. Кроме того, чем ближе к электростанции, тем лучше нагрев из-за больших перепадов давления и температур. Еще одна вещь, которая должна быть рассмотрена в современных моделях теплосетей, заключается в том, что число Рейнольдса может изменяться, поскольку энтальпия среды падает по всей сети, что приводит к различной смеси газовых пузырьков и, следовательно, к различным массовым потокам и выпуклым коэффициентам переноса. В этой тепловой системе отопления эти эффекты будут игнорироваться из-за более низких температур воды в трубах и из-за гораздо меньших массовых потоков.

Согласно версии EON системы отопления четвертого поколения пользователи могут подключаться к сети любым удобным им способом [1]. Если они хотят только извлечь тепло из сетки или использовать его для поддержания низкой температуры в холодильнике или и то, и другое, они смогут это сделать. По сути, это означает, что должны существовать различные модели для различных способов извлечения или депонирования тепла потребителем в сеть. Кроме того, есть также несколько различных экономических вариантов, таких как потребитель непосредственно платит за чистую тепловую энергию, которую он использует, аналогично современной практике, или они могут стать потребителями, где они владеют собственным оборудованием и не только используют его для извлечения тепла из сети, но и для выработки собственного тепла из других источников, а затем продают это избыточное тепло, когда оно больше не используется.

Предполагаемая топология сети представляла собой прямую линию, рис.2, где каждый пользователь имел доступ к двум трубам, одна из которых отходила от теплоаккумулирующего и производственного объекта, а другая текла к нему. Это было сделано потому, что большинство существующих в мире систем централизованного теплоснабжения имеют такую топологию и их легко объединить в более крупные системы. Однако следует иметь в виду, что возможны и другие топологии, которые в принципе могли бы быть лучше. Еще одно упрощение топологии состояло в том, что каждое здание должно было находиться на одной и той же высоте над уровнем моря, другими словами, давление не будет меняться из-за различных высот различных пользователей.

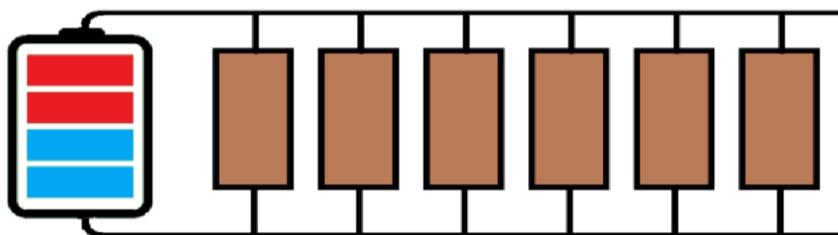


Рисунок 2 - Пример того, как могут выглядеть тепловые сети четвертого поколения.

Сеть состоит из нескольких различных компонентов, которые вместе составляют сеть. Некоторые упрощения уже были сделаны на сетевой стороне, но было еще несколько, целью которых также было упростить сетевую модель, хотя они могут быть не совсем очевидны на уровне отдельных компонентов. Естественно, эти упрощения накладывали некоторые ограничения на операционную процедуру, часто приводя к некоторому неоптимальному поведению или потере некоторых эффектов. Самым важным компонентом были трубы, так как они являются основой сети, соединяющей различных пользователей друг с другом. На уровне построения существует несколько степеней свободы, из которых можно выбирать, что значительно влияет на динамику сети, эффективность и стоимость. Это включает в себя выбор материала трубы, размеров трубы и среды, используемой в качестве теплоносителя. Эта модель предполагала, что температура среды распространяется по всей трубе, как если бы поток был ламинарным, другими словами, профиль температуры поперечного сечения, который входил в сечение трубы, оставался неизменным при выходе. Кроме того, предполагалось, что жидкость в трубах была несжимаемой, так что масса, которая вошла в трубу, должна была немедленно выйти из нее с другой стороны.

Существует множество различных типов конструкций теплообменников, отличающихся направленностью (встречный или параллельный поток) и площадью взаимодействия. На рис.3 приведен пример используемого здесь типа теплообменника, называемого противоточным теплообменником. Эти теплообменники полезны с теоретической точки зрения, поскольку температурные соотношения между двумя входными и двумя выходными потоками могут быть получены без каких-либо предположений о том, как они построены. Следуя выводам, найденным в [3], можно исключить две температуры, протекающие через теплообменник. Они будут почти исключительно выходными температурами с обеих сторон тепло-

обменника. Таким образом, учитывая, что входные потоки известны, один из выходных потоков задается соотношением

$$T_1^{EX} - T_1^{ВЫХ} = \mu(T_1^{EX} - T_1^{ВЫХ}) \quad (1)$$

В системе централизованного теплоснабжения третьего поколения радиаторы используют разность давлений между горячими и холодными трубами, чтобы заставить среду проходить через радиатор, нагревая помещение. Это требует чтобы температура была очень высокой на горячей стороне, если только какой-то местный механизм давления не сжимает поток, проходящий через радиатор, увеличивая его температуру (что означало бы, что это уже не теплообменник, а тепловой насос). Температура на выходе, с другой стороны, становится очень высокой, что не только не подходит для использования в охлаждающих машинах, но и подвержено теплотерям в окружающую среду. Идея состояла в том, чтобы вместо этого, скажем, во время работы отопления, только отводить тепло от горячей стороны эктогрида и не касаться холодной стороны.

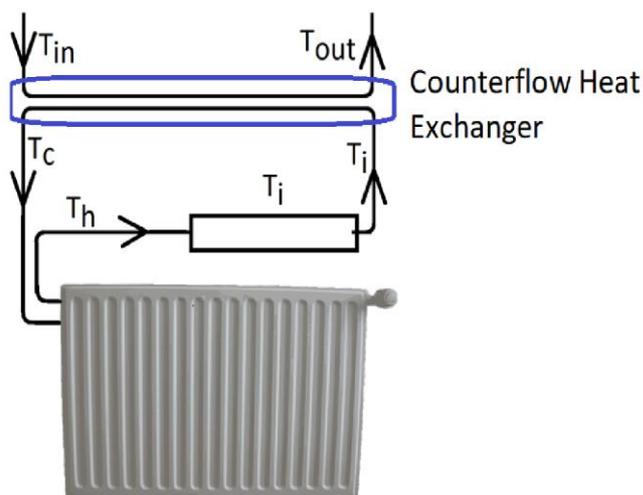


Рисунок 3 - Схема противоточного теплообменника, обменивающегося энергией с внешней трубой. Нагретая среда затем охлаждается, взаимодействуя с помещением через радиатор, который также делает ее теплообменником.

Один из способов смоделировать это состоял в том, чтобы теплообменник извлекал тепло с горячей стороны и использовал его для обогрева помещения, Рис.3, где верхняя труба является более горячей. Изменяя массовый расход этого внутреннего теплообменника, можно было также контролировать степень нагрева помещения, а именно установить равновесный обмен тепловой энергией. Однако невозможно нагреть помещение до температуры, превышающей температуру в трубах. Таким образом, только использование этого механизма не масштабируется бесконечно, особенно когда утверждалось, что сетка должна быть способна работать при тех же низких температурах, что и окружающая среда. Температура горячей стороны вполне может упасть точно до температуры окружающей среды, что сделает всех последующих пользователей, подключенных к горячей стороне, неспособными далее извлекать тепло. Тот же аргумент можно привести и в пользу механизма охлаждения, извлекая холодную воду из труб охладителя.

Существует потребность в способности транспортировать тепловую энергию в направлении, противоположном градиенту температуры, что и делает тепловой насос. По существу, запустив двигатель Карно в обратном направлении, вкладывая работу вместо того, чтобы собирать ее, можно заставить тепло течь в противоположном направлении. Свойство теоретической основы того, сколько тепла извлекается в двигателе Карно, и в частности в тепловом насосе, не зависит от точной конструкции, что делает его очень простым в использовании для расчетов. Центральным в тепловом насосе является коэффициент полезного действия, определяемый как полезная работа  $W_t$ , деленная на потребляемую мощность  $P$ ,

$$\text{КПД} = \frac{W}{P} \quad (2)$$

Основное преимущество наличия сети теплоснабжения также можно рассматривать как серьезный недостаток. У каждого есть расходы на отопление или охлаждение, которые по своей сути зависят от всех остальных, что может быть использовано злоумышленником для повышения стоимости. Например, злоумышленник может извлечь из сети как можно больше энергии в периоды высокого спроса, что делает извлечение энергии другими пользователями очень неэффективным. Кроме того, может быть также трудно определить, какой узел в сети является атакующим, поскольку с энергетической точки зрения каждый увеличивает свое использование. Одним из способов подавления этого эффекта может быть синтез контроллеров, которые лучше используют тепловую сеть при подаче управляющего сигнала. Важной особенностью больших сетей является то, что они должны быть способны подавлять помехи любым способом, каким они могут войти в систему. Простым примером нарушения может быть то, что ваш сосед открывает окно в середине зимы, в то время как его отопительные насосы пытаются поддерживать температуру в помещении намного выше температуры окружающей среды. Это означает, что температура сети падает, и ваш собственный контроллер быстро должен изменить свой сигнал, чтобы устранить эту ошибку, что означает, что ему нужно будет увеличить свое энергопотребление, так как в сети меньше энергии, которую можно использовать для отопления вашей комнаты. P-контроллер с большим коэффициентом усиления-это высокореактивный контроллер, способный быстро реагировать на перепад температуры в вашем собственном помещении.

Путем объединения математических моделей труб, тепловых насосов и теплообменников в большую сеть, где эти компоненты взаимодействовали друг с другом, была получена результирующая сеть. Эта сеть была очень нелинейной системой, с несколькими временными задержками, существующими во всех узлах системы. Эти эффекты очень затрудняли предсказуемое управление сетью, особенно при ограниченных измерениях. Цель найти распределенный контроллер, который вел бы себя лучше, чем P- и контроллеры, была достигнута после некоторых упрощений. На самом деле-эти контроллеры оказались в состоянии частично помочь с некоторыми другими вопросами, касающимися безопасности и конфиденциальности, частично из-за их распределенной природы. Упрощение модели было сделано для того, чтобы приблизиться к оптимальным регуляторам в динамическом случае, когда сеть должна была перейти в свои оптимальные состояния.

Оптимальный контроллер был способен лучше отбрасывать помехи по сравнению с P-контроллером, позволяя батарее заботиться о нем вместо этого. Следствием этого оптимального контроллера стало то, что он также сумел решить проблемы безопасности и конфиденциальности, так что сеть не могла быть использована для увеличения счета за электроэнергию и не могла быть использована для шпионажа. Найти хороший контроллер для этой установки было бы полезно для устранения многих ошибок возмущения и минимизации влияния узлов друг на друга при изменении опорных точек их комнатной температуры. Будущие работы могли бы проанализировать систему, используя гораздо лучшее приближение для указанной задержки, либо путем уточнения труб, разделив их на несколько частей, либо найдя некоторые другие приближения к математическим формулам. Другое направление исследований могло бы попытаться исследовать, какие возможности открываются, когда массовые потоки в сети рассматриваются как входные сигналы.

#### **Список использованных источников**

1. E.ON (2018). E.ON is building the world's first ectogrid at Medicon Village. <http://ectogrid.com/use-cases/medicon-village/>. Online, accessed 2021-02-28.
2. Lund, H., S. Werner, R. Wiltshire, S. Svendsen, J. E. Thorsen, F. Hvelplund, and B. V. Mathiesen (2014). "4th generation district heating (4gdh): integrating smart thermal grids into fu-

ture sustainable energy systems”. Energy 68, pp. 1–11. ISSN: 0360-5442. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014>.

3. Spakovszky, Z. S. (2018). Heat Exchangers. <http://web.mit.edu/16.unified/www/FALL/thermodynamics/notes/node131.html>. Online, accessed 2021-02-28.