

Рис. 2. Типовой усредненный профиль мощности однофазной нагрузки

Для трехфазной нагрузки результаты показали, что ночные и утренние часы характеризуются повышенными значениями мощности, что, видимо, связано с активной работой электродов для поддержания температуры в помещениях. В зимние месяцы усредненная получасовая мощность достигала максимальных значений, превышая 4 кВт. В весенний период потребление постепенно снижалось до 2,7–3,0 кВт.

Л и т е р а т у р а

1. Gehlenborg, N. Heat maps / N. Gehlenborg, B.Wong // Nature Methods. – 2012. – Vol. 9. – N 3. – P. 213.
2. Cohen, A. C. Truncated and censored samples: theory and applications / A. C. Cohen // CRC press. – 2016. – 313 p.
3. Ивановский, Р. И. Теория вероятностей и математическая статистика. Основы, прикладные аспекты с примерами и задачами в среде Mathcad / Р. И. Ивановский. – БХВ-Петербург, 2008. – 528 с.
4. Груздев, А. Изучаем pandas. Высокопроизводительная обработка и анализ данных в Python / Груздев, А., &Хейдт, М., 2022. – URL: <https://www.litves.ru/beok/a-v-gruzdev/zuchaem-pandas-vysokoprouzvoditelnaya-obvabotka-i-analiz-dann-44336423/>.
5. Концевая, Н. В. Анализ методов заполнения пропусков во временных рядах показателей финансовых рынков / Н. В. Концевая // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2012. – Т. 8, № 8. – С. 18–20.
6. Злоба, Е. Статистические методы восстановления пропущенных данных / Е. Злоба, И. Яцкив // ComputerModelling&NewTechnologies. – 2002. – Т. 6, № 1. – С. 51–61.

УДК 696.46:697.27

СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ АППАРАТОВ В СИСТЕМУ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В. В. Киселевич

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Представлена схема системы индивидуального теплоснабжения с электрическим котлом, в контуры отопления и горячего водоснабжения которой включены теплоаккумулирующие аппараты, заполненные парафином. Предлагаемое схемное решение обеспечивает повышение энергетической эффективности работы системы индивидуального теплоснабжения. Указанный эффект достигается благодаря снижению общего потребления электрической энергии на нужды отопления и горячего водоснабжения за счет использования запасенного в аккумуляторах тепла.

Ключевые слова: система индивидуального теплоснабжения, электрический котел, аккумулятор теплоты, теплоаккумулирующий материал, скрытая теплота плавления.

HEAT STORAGE DEVICES APPLICATION IN A SINGLE-USER HEAT SUPPLY SYSTEM WITH AN ELECTRIC BOILER

V. V. Kiselevich

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The configuration of a single-user heat supply system with an electric boiler is presented, wherein heat storage devices filled with paraffin are included in heating and hot water supply circuits. The proposed configuration solution provides an increase in the energy efficiency of the single-user heat supply system. The specified effect is achieved by reducing the total consumption of electric energy for heating and hot water supply needs due to the use of stored heat in heat storage units.

Keywords: single-user heat supply system, electric boiler, heat storage unit, heat storage material, latent heat of fusion.

Эффективность работы систем индивидуального теплоснабжения, в которых единственным источником тепловой энергии является электрический котел, зачастую оказывается невысокой, поскольку для покрытия тепловых нагрузок на отопление и горячее водоснабжение (ГВС) необходимы довольно большие затраты электроэнергии [1]. Одним из возможных путей решения данной проблемы является дополнение систем индивидуального теплоснабжения теплоаккумулирующими аппаратами [1, 2].

На практике наибольший экономический эффект от применения теплоаккумулирующих устройств достигается, когда у потребителей электрической энергии действуют тарифы, дифференцированные по временным периодам. Аккумуляирование тепловой энергии в этом случае целесообразно проводить в ночное время суток, когда энергоемкие электроприемники отключены, а ее последующее расходование на нужды отопления и ГВС – в утренние и вечерние часы характеризуются значительным электропотреблением [1, 2].

Целью настоящей работы является разработка схемы, позволяющей оптимизировать работу системы индивидуального теплоснабжения с электрическим котлом.

Описание системы индивидуального теплоснабжения. Предлагаемая схема системы индивидуального теплоснабжения изображена на рис. 1. Отличительной особенностью данной схемы является наличие в ней двух теплоаккумулирующих аппаратов: аккумулятора теплоты для системы отопления (ТАО), подключенного параллельно электрическому котлу (ЭК), и гидравлически не связанного с котлом теплообменного аппарата для системы горячего водоснабжения (ТАГ), сочетающего функции теплового аккумулятора и емкостного водонагревателя.

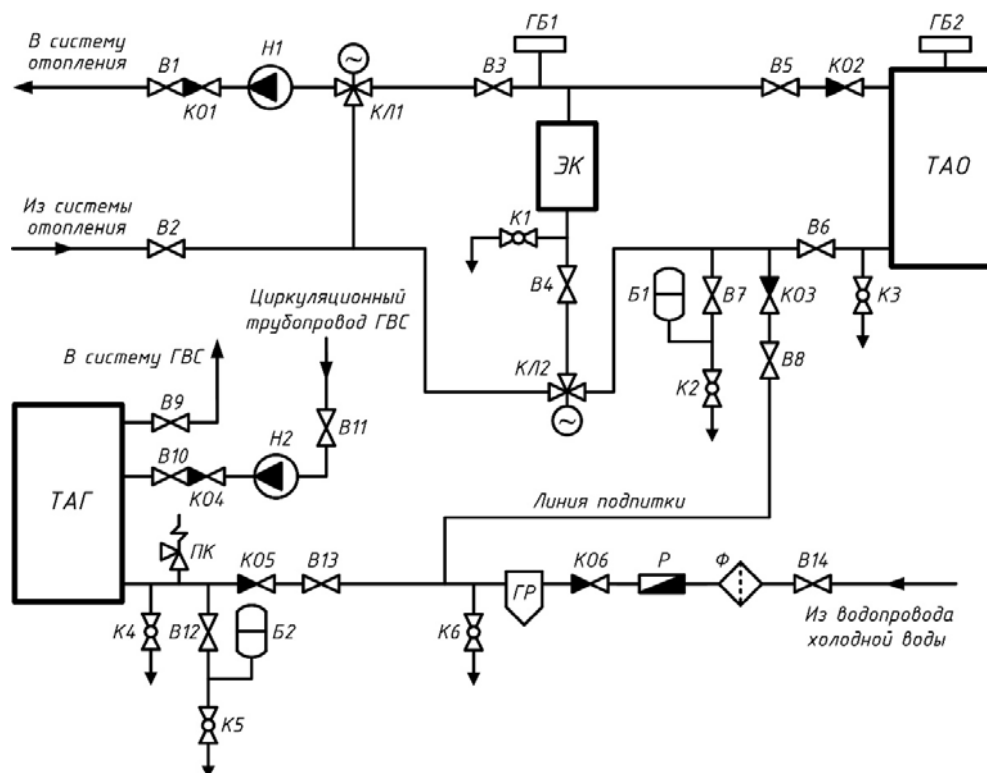


Рис. 1. Принципиальная схема системы индивидуального теплоснабжения с электрическим котлом

На рис. 1 приняты следующие обозначения: Б1 – Б2 – расширительные баки для компенсации термоиндуцированного повышения давления воды в контурах отопления и ГВС; В1 – В14 – запорные вентили; ГБ1 – ГБ2 – группы безопасности, в состав каждой из которых входят предохранительный клапан, воздухоотводчик и манометр; ГР – грязевик; К1 – К6 – шаровые краны для слива воды; КЛ1–КЛ2 – трехходовые регулирующие клапаны с электрическим приводом; КО1 – КО6 – обратные клапаны; Н1 – Н2 – насосы, обеспечивающие циркуляцию горячей воды в контурах отопления и ГВС; ПК – предохранительный клапан; Р – расходомер холодной воды; Ф – фильтр.

Конструкция каждого из аккумуляторов теплоты представляет собой цилиндрический корпус из нержавеющей стали, закрытый теплоизоляционным кожухом. Внутри корпуса коаксиально расположены снаружи оребренные металлические трубки и гладкие трубчатые электронагревательные элементы (ТЭН). Свободный объем между металлическими трубками и нагревательными элементами заполняют твердым теплоаккумулирующим материалом, в качестве которого в обоих аппаратах принят парафин с удельной скрытой теплотой плавления 189 кДж/кг при температуре 58–60 °С [3].

Функционирование системы индивидуального теплоснабжения. Зарядка аккумуляторов теплоты начинается в момент включения ТЭН, которые нагревают теплоаккумулирующий материал до температуры 70 °С. В окрестности температур 58–60 °С материал поглощает скрытую теплоту плавления, при этом часть аккумулятированного им тепла расходуется на нагрев воды, находящейся в межтрубном пространстве ТАО и ТАГ. По достижении в аккумуляторах установившегося теплового режима происходит отключение ТЭН.

Изоляция корпусов ТАО и ТАГ поддерживает температуру теплоаккумулирующего материала на уровне, превышающем 58–60 °С, и обеспечивает хранение аккумулированной тепловой энергии. Зарядку аккумуляторов рекомендуется проводить в ночное время, соответствующее периоду действия минимальных электрических нагрузок. При зарядке ТАО вентили В5 и В6 открыты, а клапан КЛ2 находится в положении, при котором проток воды из контура системы отопления в сторону ТАО закрыт. Тепловая зарядка ТАГ ведется при открытых вентилях В9 – В11.

Разрядка аккумуляторов осуществляется в часы средних и максимальных нагрузок, когда действует основной тариф на электроэнергию. Разрядка ТАГ начинается в момент разбора горячей воды у потребителей. В первое время горячая вода забирается из рабочего объема ТАГ, а затем по мере ее расходования в ТАГ через вентиль В13 и клапан КО5 поступает холодная вода из водопровода. Проходя через ТАГ, холодная вода поглощает теплоту, выделяющуюся при остывании теплоаккумулирующего материала, и в нагретом состоянии направляется в систему ГВС. В случае разрядки ТАГ до пороговой температуры, лежащей в диапазоне 45–50 °С, и наличии запроса тепла на нужды ГВС происходит автоматическое включение элементов ТЭН, выполняющих дозарядку ТАГ для стабилизации температурного режима системы ГВС.

В режиме разрядки ТАО электрический котел ЭК отключается, а трехходовой клапан КЛ2 переводится в положение, при котором проток воды открыт в направлении ТАО и закрыт в направлении ЭК. Вода из системы отопления насосом Н1 нагнетается в ТАО через вентиль В6, проходит сквозь рабочий объем ТАО и возвращается в контур системы отопления через обратный клапан КО2 и вентиль В5. Вода, циркулирующая по межтрубному пространству ТАО, нагревается за счет охлаждения теплоаккумулирующего материала, выделяющего при этом скрытую теплоту плавления.

Пороговая температура, определяющая момент полной разрядки аккумулятора ТАО, зависит от температурного графика системы отопления и, как правило, находится в интервале 35–40 °С. Автоматическое регулирование данного графика производится трехходовым клапаном КЛ1. Параллельная работа ЭК и ТАО реализуется посредством переключения клапана КЛ2 в промежуточное положение, обеспечивающее прохождение воды как в направлении ЭК, так и в направлении ТАО. Покрытие отопительной нагрузки в случае полной разрядки ТАО осуществляется при помощи электрического котла ЭК.

Предложена схема системы индивидуального теплоснабжения, в которой в дополнение к основному источнику тепловой энергии – электрическому котлу – установлены теплоаккумулирующие аппараты, заполненные парафином, способным при плавлении/затвердевании поглощать/выделять большое количество теплоты. Повышение эффективности функционирования системы индивидуального теплоснабжения в рамках предлагаемой схемы достигается благодаря уменьшению общего расхода электроэнергии на нужды отопления и горячего водоснабжения за счет использования предварительно аккумулированной тепловой энергии.

Л и т е р а т у р а

1. Торопов, А. Л. Применение электрических котлов для водяного поквартирного теплоснабжения / А. Л. Торопов // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18, № 9. – С. 1451–1465.
2. Серов, С. Ф. Теплоаккумулирующие системы в теплоснабжении индивидуальных домов / С. Ф. Серов, Н. С. Дегтярев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – № 10-2. – С. 40–45.
3. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications / A. Sharma, V. V. Tyagi, C. R. Chen, D. Buddhi // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2009. – Vol. 13, № 2. – P. 318–345.