

УДК [621.311.1](#)

Проф. Кравцов В.В., доц., к.т.н. Гридин С.В., ст. преп. Колесниченко Н.В., асп. Сафьянц А.С.
Донецкий Национальный Технический Университет, Донецк, Украина

РЕГУЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ МИНИ-ТЭЦ С ПОМОЩЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ИЛИ КИСЛОРОДНОЙ СТАНЦИИ

В данной работе исследована возможность регулирования нагрузок источника теплоэлектроснабжения с помощью теплонасосной установки (ТНУ), а также кислородной станции с использованием кислорода при сжигании топлива для повышения энергоэффективности когенерационной установки.

У даній роботі досліджена можливість регулювання навантажень джерела теплоелектропостачання за допомогою теплонасосної установки (ТНУ), а також кисневої станції з використанням кисню при спалюванні палива для підвищення енергоефективності когенераційної установки.

In this paper the possibility of cogeneration plant working regulation because of implementation heat pump installations (HPI), as well as oxygen plant, using oxygen from fuel combustion for energy efficiency of cogeneration plant is studied.

В условиях постоянного удорожания природных энергоносителей, а также сокращения их мировых запасов возрастает роль высокоэффективных способов преобразования и выработки энергии. Одним из таких способов является когенерация – совместная выработка из одного и того же первичного источника энергии тепловой и электрической (или механической) энергии в месте ее потребления. Эта технология реализуется на базе когенерационных установок (КГУ), в состав которых, как правило, входят: первичный двигатель (дизель, газопоршневой двигатель, газовая турбина); электрогенератор; система утилизации тепла; система контроля и управления.

Утилизация попутного тепла при прямой выработке электроэнергии позволяет повысить КПД использования топлива до 90%, что значительно выше, чем при раздельной выработке тепла или электроэнергии.

В настоящее время все более популярной становится реконструкция существующих котельных (с паровыми или водогрейными котлами) в мини-ТЭЦ с использованием различных вариантов когенерации. Такая реконструкция имеет ряд преимуществ: использование мощностей уже существующей теплосети; покрытие собственных нужд котельной в электроэнергии при полном или частичном отказе от покупной электроэнергии; повышение КПД использования топлива; снижение эксплуатационных затрат и удельной себестоимости единицы тепла; снижение вредных выбросов и т.д.

КГУ имеют следующие особенности и недостатки. Их использование наиболее целесообразно либо при отсутствии централизованного энергоснабжения, либо на объектах с постоянным потреблением электроэнергии и тепла в течение года. В остальных случаях необходимо тщательно анализировать характеристику энергопотребления, подбирать тип оборудования и производить расчет срока окупаемости вложенных средств. Если же вырабатываемая электрическая мощность не покрывает собственные нужды источника, то использование КГУ теряет смысл.

Существенным их недостатком является снижение общего КПД при работе установки с нагрузкой меньше номинальной (во время суточных/сезонных спадов потребления).

Поэтому целесообразно использовать различные методы накопления производимой в КГУ энергии для выравнивания графика нагрузок и повышения маневренности установки.

Такими методами могут быть использование ТНУ для регулирования соотношения производимой электроэнергии/тепла, а также кислородной станции для накопления невостребованной электроэнергии химическим путем в виде чистого кислорода.

В качестве наглядного примера использования ТНУ для горячей воды совместно с КГУ может рассматриваться проект реконструкции существующей котельной в г. Донецке. При этом, согласно выполненной в работе [3] оценки термодинамической эффективности, а также энергетической и экономической целесообразности внедрения тепловых насосов в системы отопления и горячего водоснабжения, необходимо учитывать, что срок окупаемости теплового насоса будет снижаться с ростом коэффициента преобразования энергии в ТНУ μ , увеличением числа часов использования установленной мощности и снижением соотношения «цена электроэнергии / цена топлива».

Замещаемая котельная является отопительной, оборудована тремя водогрейными газовыми котлами типа КВГ-6,5. Потребитель – жилой массив, включающий 12 жилых домов с общей численностью жильцов 4401 человек. Средняя нагрузка горячего водоснабжения составляет 1,44 МВт (1,24 Гкал/ч), максимальная отопительная нагрузка равна 4,8 МВт (4,127 Гкал/ч). Загрузка котла в летний период составляла всего 18,5%. В результате такой работы имели место перерасходы природного газа и электроэнергии на выработку и транспортировку греющего теплоносителя.

При внедрении проекта в качестве источника низкопотенциального тепла для ТНУ предполагается использовать неочищенные канализационные стоки. Станция перекачки канализационных стоков находится на расстоянии 70 метров от действующей котельной.

Схему, в которой электроэнергия КГУ потребляется в ТНУ, а теплота, утилизируемая в КГУ, идет на нагрев теплоносителя после ТНУ, обозначим как комплекс КГУ-ТНУ.

Рассмотрим регулирование нагрузок ТНУ в схеме источника теплоэлектроснабжения при удовлетворении нагрузок горячего водоснабжения (ГВС) и отопления системой КГУ-ТНУ.

Коммунальные предприятия, такие как котельная, получают довольно дорогую электроэнергию, поэтому собственное производство этого энергоресурса на КГУ будет перспективным. Однако следует учитывать то обстоятельство, что необходимо избегать выдачу электроэнергии в энергосистему в ночное время. Кроме того, КГУ относятся к маневренным мощностям, поэтому с целью их оптимального использования желательно учитывать произведенную ими электроэнергию по трех-зонному тарифу, а вернее - в соответствии с тарифным коэффициентом.

Принимая во внимание дороговизну ТНУ, необходимо стремиться к тому, чтобы это оборудование работало в базовом режиме, тогда коэффициент использования установленной мощности будет наибольшим. В связи с этим соответственно выделим в нагрузке ГВС базовую часть, которую будет покрывать комплекс КГУ-ТНУ, и «надстройку», т. е. переменную нагрузку, которую будет удовлетворять КГУ.

В качестве расчетного графика суточного расхода горячей воды для жилого массива примем график, приведенный в [1] (рисунок 2). При этом базовая часть равна минимуму нагрузки ГВС.

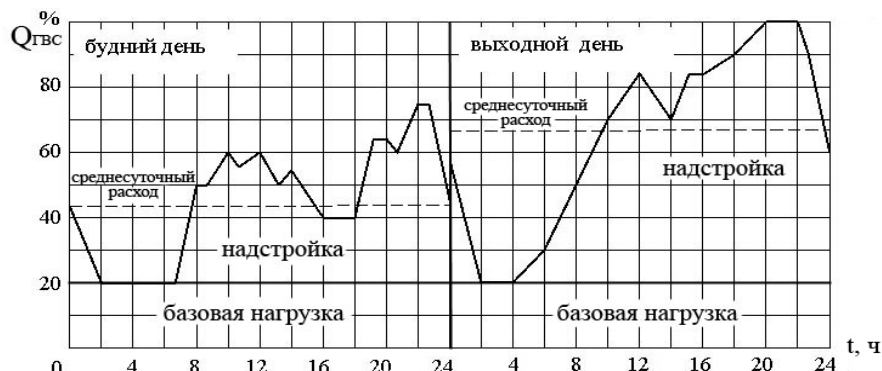


Рисунок 2 – Суточный график расхода горячей воды жилого района

В данной схеме базовая нагрузка покрывается комплексом КГУ-ТНУ, а нагрузка надстройки исключительно КГУ.

Принципиальная схема КГУ-ТНУ работает следующим образом: вода после потребителя разделяется на два потока, один из которых подогревается сначала в ТНУ, а затем догревается в КГУ. Этот элемент схемы, собственно, и является комплексом КГУ-ТНУ, предназначенным покрывать базовую нагрузку ГВС. Второй же поток сразу направляется в теплообменник, где догревается водой от трех газопоршневых установок (ГПУ). После этого потоки воссоединяются и направляются к потребителю, после которого вода опять подается на нагрев. Необходимо заметить, что контур второго потока призван покрывать нагрузку надстройки ГВС, поэтому регулирование нагрузок будет осуществляться именно регулированием работы данного контура.

– для покрытия базовой нагрузки ГВС учитываются затраты в комплексе КГУ-ТНУ:

$$Z_{\text{баз}} = \frac{1000 \cdot C_{\text{мон}}}{Q_n^p \cdot \eta_m^{КГУ} \cdot \left(1 - \frac{P_{\text{сн}}}{100}\right) \cdot \eta_{\text{ТНУ}} + Q_n^{КГУ} \cdot \left(1 - \frac{Q_{\text{сн}}}{100}\right) \cdot \eta_{\text{мс}}} \quad (5)$$

$$Z_{\text{баз}} = 54,95 \text{ грн/ГДж} = 230,1 \text{ грн/Гкал}$$

– для покрытия нагрузки надстройки ГВС в часы пиковых ($Z_{\text{пик}}$) и полупиковых ($Z_{\text{п.п.}}$) нагрузок, а также в часы ночного ($Z_{\text{ночь}}$) минимума:

$$Z' = \frac{3600 \cdot C_{\text{мон}}}{Q_n^p \cdot \eta_m^{КГУ} \cdot \left(1 - \frac{Q_{\text{сн}}}{100}\right) \cdot \eta_{\text{мс}}} - \frac{\eta_{\text{эл}}^{КГУ} \cdot \left(1 - \frac{P_{\text{сн}}}{100}\right) \cdot (1 - p_1 - p_2) \cdot k_{\text{тариф}} \cdot C_{\text{эл}}}{\eta_m^{КГУ} \cdot \left(1 - \frac{Q_{\text{сн}}}{100}\right) \cdot \eta_{\text{мс}}} \quad (6)$$

$$Z_{\text{пик}} = -3,9 \text{ грн/ГДж} = -16,4 \text{ грн/ГДж},$$

$$Z_{\text{п.п.}} = 59,9 \text{ грн/ГДж} = 250,7 \text{ грн/Гкал},$$

$$Z_{\text{ночь}} = 136,4 \text{ грн/ГДж} = 571,2 \text{ грн/Гкал}$$

Знак «минус» для затрат топлива в часы пиковых нагрузок $Z_{\text{пик}}$ означает, что прибыль, получаемая от экономии затрат на электроэнергию, превышает затраты на топливо.

– для покрытия нагрузки ГВС котельной:

$$Z = \frac{1000 \cdot C_{\text{мон}}}{Q_n^p \cdot \eta_{\text{кот}} \cdot \left(1 - \frac{q_{\text{кот}}}{100}\right) \cdot \eta_{\text{мс}}} = \frac{1000 \cdot 2,68}{33,5 \cdot 0,9 \cdot \left(1 - \frac{5}{100}\right) \cdot 0,9} = 104,1 \text{ грн/ГДж}$$

Общие затраты топлива на производство 1 ГДж тепла определим следующим образом:

– для схемы КГУ-ТНУ:

$$z_{\text{КГУ-ТНУ}}^{\text{общ}} = z_{\text{газ}} \cdot Q_{\text{КГУ-ТНУ}} + z_{\text{надстр}} \cdot Q_{\text{КГУ(надстр)}},$$

$$z_{\text{КГУ-ТНУ}}^{\text{общ}} = 230,1 \cdot 0,5 + 571,2 \cdot 0,25 = 257,6 \text{ грн};$$

– для котельной:

$$z_{\text{кот}}^{\text{общ}} = z_{\text{кот}} \cdot Q_{\text{ГВС}} = 436,01 \cdot 0,749 = 326,7 \text{ грн}.$$

Тогда экономия средств на производство 1 ГДж тепла при внедрении данной схемы будет рассчитываться так:

$$\mathcal{E} = z_{\text{кот}}^{\text{общ}} - z_{\text{КГУ-ТНУ}}^{\text{общ}} = 326,7 - 257,6 = 69,1 \text{ грн}.$$

Удельную экономию ε на 1МВт тепла ГВС рассчитаем по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\mathcal{E}}{Q_{\text{ГВС}}} = \frac{69,1}{0,872} = 79,3 \text{ грн / МВт}.$$

В данном проекте не предполагается выдача электроэнергии в энергосистему в часы ночного минимума. Однако, если все же выдача производится, то только вынужденно, что объясняет отрицательные значения экономии средств с 23⁰⁰ до 1⁰⁰.

Также необходимо учесть потребление природного газа до внедрения данной схемы и после него:

$$b_{\text{КГУ}} = \frac{N_{\text{КГУ}}}{\eta_{\text{эл}}^{\text{КГУ}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}} = \frac{0,332 \cdot 1000 \cdot 3,6}{0,35 \cdot 33,5} = 101,8 \text{ м}^3 / \text{ч}; \quad (7)$$

$$b_{\text{кот}} = \frac{Q_{\text{ГВС}}}{\eta_{\text{кот}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}} = \frac{0,872 \cdot 1000 \cdot 3,6}{0,9 \cdot 33,5} = 104,01 \text{ м}^3 / \text{ч}. \quad (8)$$

Особенностью использования КГУ в нашей стране является невозможность выдачи электроэнергии в сеть, связанная с особенностями законодательства и тарифной системы. Поэтому для полноценного внедрения КГУ необходимо также запланировать постройку потребителя электрической энергии, который будет использовать избыточную электроэнергию в часы спада потребления и производить товар, который затем будет реализовываться. Одним из таких производителей может быть кислородная станция, использующая электроэнергию при получении кислорода методом электролиза.

Таким образом, кислородная станция будет использовать избыток производимой электроэнергии в периоды суточных/сезонных спадов потребления для производства сжиженного кислорода. Кислород же, в свою очередь, может использоваться как для продажи внешним потребителям (металлургическая, стекольная промышленность, больницы), так и для повышения КПД и мощности КГУ путем вдувания кислорода в газоздушную смесь. Такое кислородное сжигание имеет ряд преимуществ:

- повышенное содержание кислорода приводит к увеличению температуры сгорания и количества тепла, передаваемого технологическому процессу, что способствует уменьшению доли несгоревшего (не полностью сгоревшего) топлива и повышению КПД с одновременным сокращением выбросов NO_x;
- поскольку атмосферный воздух на 80% состоит из азота, переход к кислородному сжиганию приводит к соответствующему сокращению массового расхода подаваемых и отходящих газов;
- тот же фактор способствует сокращению образования и выбросов воздушных NO_x, поскольку количество азота в камере существенно снижается;

- сокращение массового расхода дымовых газов может привести к снижению требуемой мощности систем удаления отходящих газов;
- при производстве кислорода образующийся азот может быть использован в производственном процессе, например, для перемешивания жидкостей или создания нейтральной атмосферы там, где окислительная атмосфера может привести к нежелательным реакциям (пирофорные реакции в цветной металлургии);
- в перспективе пониженный объем отходящих газов (и повышенная концентрация CO_2) может создать более благоприятные условия для улавливания и хранения CO_2 , а также, возможно, снижения соответствующих энергозатрат;
- повышение концентрации O_2 влечет за собой повышение температуры в камере сжигания и выхлопных газов, при этом повышается температурный напор на теплообменниках горячей воды, как следствие, КПД контура горячей воды.

Предварительные расчеты показывают, что повышение концентрации кислорода в подаваемом в КГУ воздухе на 2-3% хотя и приводит к незначительному (около 0,2%) понижению КПД установки, однако повышает мощность на 4%. При этом температура в камере сгорания повышается на $100\text{ }^\circ\text{C}$, что потребует повышенного расхода воды в контуре охлаждения.

Возможность повысить мощность установки может быть использовано в часы пик и приведет к уменьшению требуемой номинальной мощности КГУ, и, как следствие, капитальных затрат на ее приобретение.

Однако, экономическая эффективность такой схемы остается под вопросом и требует дальнейших исследований.

Выводы:

1. Для регулирования нагрузок ТНУ в схеме источника теплоэлектроснабжения при удовлетворении нагрузок ГВС и отопления целесообразно использовать схему КГУ-ТНУ, в которой электроэнергия КГУ потребляется в ТНУ, а теплота, утилизируемая в КГУ, идет на нагрев теплоносителя после ТНУ.
2. Данная схема КГУ-ТНУ позволяет решить не только проблему теплоснабжения достаточно крупного жилого массива, но и получать дополнительные экономические выгоды не только от продажи вырабатываемой КГУ электроэнергии в сеть, а и от ее использования для накопления синтетического экологически чистого водородного топлива H_2 и кислорода O_2 с применением инновационных технологий использования электрического поля для их производства.
3. Полученные экологически чистые энергоносители H_2 и O_2 могут быть применены как для замены природного газа, так и для увеличения КПД системы КГУ-ТНУ.
4. Комплекс КГУ-ТНУ обладает необходимой энергетической гибкостью в зависимости от цели ее перестройки, с учетом местных условий, типа используемого газа, а также способа и типа аккумуляции энергии.

Литература

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 7 – изд., стереот. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472с.
2. Программа McQuay (США) для выбора Water cooled liquid chillers.
3. Сафьянц С.М., Колесниченко Н.В., Веретенникова Т.Е. Исследование схемы источника теплоэлектроснабжения с регулированием нагрузок на базе использования тепловых насосов // Пром. теплотехника. 2011. с.79-85.