

УДК 620.92: 621.311

**С. П. ВЫСОЦКИЙ, Е. Л. ГОЛОВАТЕНКО**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

**Аннотация.** Тепловые сети являются одним из источников загрязнения окружающей среды в городах. При этом загрязнение может происходить по трем средам: гидросфере, атмосфере и литосфере. Виды и количественные показатели загрязнителей атмосферы зависят от типа используемого топлива, условий его сжигания и используемого оборудования. На расположенных в селитебных зонах котельных дымовые трубы имеют относительно небольшую высоту (60 м). Таким образом выбросы дымовых газов рассеиваются на селитебных территориях, ухудшая экологическое состояние городов, обусловленное еще и выбросами автомобильного транспорта. Основными загрязнителями атмосферы городских территорий являются окислы углерода и азота при сжигании газообразных и жидких топлив. Загрязнение гидросферы включает сбросы засоленных стоков в поверхностные водные источники. Загрязнение литосферы происходит при сжигании твердого топлива. Его применение в большинстве городов ограничено. При сжигании твердого топлива к указанным выше загрязнениям добавляется высокодисперсная пыль и окислы серы. В последние годы в мировой практике большое внимание уделяется сокращению эмиссий парниковых газов, в частности диоксида углерода. Указанные обстоятельства свидетельствуют о необходимости применения природоохранных мероприятий, в частности при решении задач теплоснабжения.

**Ключевые слова:** теплоснабжение, загрязнение среды, возобновляемые источники, энергия, термическая проводимость, биомасса.

**ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Учитывая уникальные свойства воды – ее высокую теплоемкость, вода повсеместно используется в качестве теплоносителя в системах локального и централизованного теплоснабжения, а также в оборотных системах водоснабжения.

Качество воды, используемой в виде носителя, отдающего или принимающего тепло, влияет на загрязнение теплопередающих поверхностей. Это может существенно изменить производительность или технологические параметры работы оборудования. Загрязнение поверхности нагрева в результате образования отложений влияет на эксплуатационные показатели работы оборудования следующим образом:

- слой отложений обладает низкой теплопроводностью. Это увеличивает сопротивление теплопереносу и уменьшает эффективность теплообмена;
- при генерации тепла или электрической энергии происходит увеличение удельных расходов топлива, что сопровождается экологическими издержками – увеличением выбросов загрязнений в окружающую среду;
- увеличение толщины отложений уменьшает сечение для прохода среды, что вызывает повышение перепада давления и перерасход энергии;
- наличие отложений создает опасность образования электрохимических пар дифференциальной аэрации, увеличивающих интенсивность и избирательность коррозионных процессов.

Отложения отличаются различной термической проводимостью и, соответственно, потенциальной опасностью увеличения энергетических потерь. В таблице 1 приведена термическая проводимость основных типов отложений [1]. Несмотря на то, что карбонат кальция обладает наибольшей термической проводимостью, именно это соединение создает наибольшие неприятности при эксплуатации систем теплоснабжения и оборотных систем охлаждения.

Таблица 1 – Термическая проводимость некоторых отложений

Тип отложений	Термическая проводимость, Вт/мК
Окись алюминия, глинозем	0,42
Слой биологических отложений	0,60
Графит	1,60
Сульфат кальция	0,74
Карбонат кальция	2,19
Карбонат магния	0,43
Окись титана	8,0
Пластичная глина, минеральный воск	0,24

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

На большей части теплофикационных котельных, установленных в странах бывшего Советского Союза и ближнего зарубежья применяется умягчение подпиточной воды тепловых сетей методом натрий-катионирования. В подпиточной воде нормируется так называемый карбонатный индекс-произведение кальциевой жесткости на щелочность воды. При традиционном умягчении щелочность воды не изменяется. Поэтому для предотвращения накипеобразования исходную воду приходится «переумягчать». Кроме того, ионы магния в большинстве случаев «не принимают» участия в отложениях, а их удаление приводит к дополнительным сбросам стоков. При этом при удельном расходе регенеранта 2,5–3,0 г-экв/г-экв поглощенных катионов жесткости в поверхностные водоемы сбрасывается в сутки 2,9–3,4 т хлоридов натрия, кальция и магния на каждые 100 т/ч умягченной воды с жесткостью 7 мг-экв/дм<sup>3</sup> (вода из канала Северский Донец-Донбасс).

### ЦЕЛЬ

Анализ методов уменьшения вредного воздействия на окружающую среду, в частности за счет использования возобновляемых источников энергии и предотвращения загрязнения поверхностей нагрева.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Образование отложений происходит за счет транспорта накипеобразований из объема жидкости к теплопередающей поверхности. Транспорт веществ является наиболее понятным из всех последовательных событий. Транспортировка веществ происходит за счет действия одного или нескольких из следующих механизмов:

– диффузия включает массоперенос загрязняющих компонентов от протекающей жидкости к поверхности теплопередачи из-за разницы концентраций между объемом жидкости и прилегающей к поверхности жидкости.

– электрофорез – под действием электрических сил загрязняющие частицы, несущие электрический заряд, могут перемещаться в сторону от заряженной поверхности или в сторону от нее в зависимости от полярности поверхности и частиц. Осаждение из-за электрофореза увеличивается с уменьшением электрической проводимости жидкости, повышением температуры и увеличением скорости жидкости. Это также зависит от рН раствора. Поверхностные силы, такие как силы Лондона-Вандер-Ваальса и электрические взаимодействия в двойном слое, обычно ответственны за электрофоретические эффекты.

– термофорез – явление, при котором «тепловая сила» перемещает мелкие частицы в направлении отрицательного градиента температуры из горячей зоны в холодную зону.

Таким образом, высокотемпературный градиент вблизи горячей стенки будет препятствовать осаждению частиц, но такое же абсолютное значение градиента вблизи холодной стены будет способствовать осаждению частиц. Термофоретический эффект характерен больше для газов, чем для жидкостей.

– седиментация включает отложение твердых частиц, таких как частицы ржавчины, глина и пыль, на поверхности под действием силы тяжести. Для того, чтобы произошла седиментация, сила гравитации вниз должна быть больше, чем сила сопротивления вверх. Седиментация важна для крупных частиц и низких скоростей жидкости. Это часто наблюдается в водах градирни и других промышленных процессах, где частицы ржавчины и пыли могут действовать как катализаторы и / или вступать в сложные реакции.

– инерционное столкновение – явление, при котором «крупные» частицы могут иметь достаточную инерцию, чтобы они не могли следовать по линиям жидкости и, как следствие, осесть на поверхности.

– турбулентные нисходящие потоки – поскольку вязкий подслой в турбулентном пограничном слое не является действительно устойчивым, жидкость перемещается к поверхности с помощью турбулентных нисходящих потоков. Их можно рассматривать как зоны всасывания измеряемой силы, распределенные случайным образом по всей поверхности.

Воздействие на один или на несколько механизмов позволяет уменьшить или полностью исключить образование накипи.

Уровень издержек в результате загрязнения поверхностей нагрева в развитых странах, несмотря на хороший уровень развития и применения противонакипных технологий, очень высокий, как показано в таблице 2 [2].

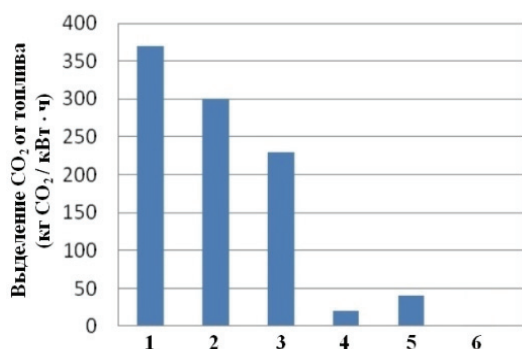
**Таблица 2** – Оценочные ежегодные затраты в результате загрязнений поверхностей теплообмена

Страна	Издержки в результате загрязнений поверхностей, млн дол.	Доля затрат от ВВП, %
США	14 175	0,25
Япония	10 000	0,25
СК	2 500	0,25
ФРГ	4 875	0,25
Франция	2 400	0,25
Австралия	463	0,15
Новая Зеландия	64,5	0,15

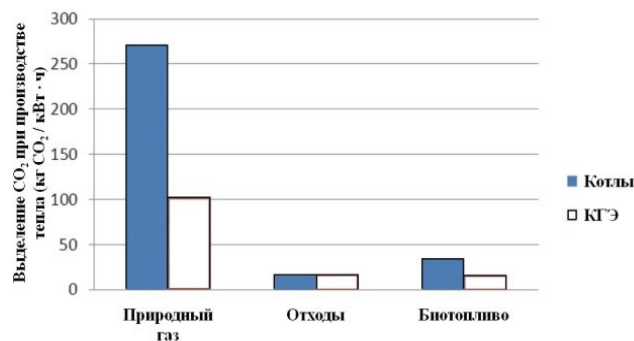
Учитывая высокий уровень затрат на теплоснабжение и повышение экологических и экономических требований к системам теплоснабжения, в мировой практике применяется ряд инноваций. Основные направления инноваций приведены в таблице 3.

В мировой практике в связи с увеличением опасности катастрофических изменений климата большое влияние уделяется снижению эмиссии парниковых газов [3, 4]. Основным газом, запускающим механизм тепловых машин, погоды, является диоксид углерода ( $CO_2$ ). Эмиссия  $CO_2$  при сжигании различных видов топлива показана на рисунке 1.

Существенное уменьшение генерации  $CO_2$  происходит при комбинированной генерации электроэнергии и тепла, как это показано на рисунке 2 [5].



**Рисунок 1** – Выделение  $CO_2$  при сжигании различных видов топлива: 1 – уголь, 2 – мазут, 3 – природный газ, 4 – биотопливо, 5 – очищенное биотопливо, 6 – отходы в качестве топлива.



**Рисунок 2** – Выделение  $CO_2$  при использовании подогрева воды в котлах и при комбинированной генерации электроэнергии (КГЭ) и тепла при работе на одном и том же топливе.

Централизованное теплоснабжение используется по-разному в разных странах, регионах и городах и особенно широко в Российской Федерации. Это, как правило, признается в качестве жизнеспособного подхода в большинстве рассматриваемых стран, хотя и по разным причинам.

Центральное отопление широко используется в некоторых частях Европы, Северной Америки и Азии. В Европе оно покрывает 12 % общего спроса на тепло. В странах Скандинавии, Центральной

Таблица 3 – Список инноваций, используемых в мировой практике

Категория	Решения	Комментарий
Возобновляемое отопление	Солнечное тепловое отопление (коллекторы)	Актуальная область технологий, используемых в Германии.
	Регенерация тепла сточных вод	
	Системы отопления на биомассе (пеллеты)	Технология традиционно используется, но на сегодня имеет небольшую область использования. Биомасса с акцентом на гранулы.
Использование тепла из недр земли	Геотермальное отопление	Существующая технология в ряде стран, но с ограниченным применением.
Изоляция	Изоляция труб с горячей водой	
	Утепление наружных стен, подвалов, крыш	Решение особенно актуально для зданий с высоким энергопотреблением
	Озеленение экстерьеров и крыш (также для охлаждения)	Повышение эффективности теплоснабжения.
Вентиляция	Эффективные механические системы вентиляции и кондиционирования	
Энергоэффективность	Эффективные конденсационные котлы	Уже стандартная технология для новых систем отопления в Европейском Союзе.
	Системы управления отоплением (интеллектуальные счетчики)	Отопление с использованием умных счетчиков еще не реализовано, но потенциально является важной областью применения.
Повышение потенциала тепла	Тепловые насосы	Технология получает все большее значение в новых зданиях, но необходимо оценить потенциал и устойчивость в каждой отдельной стране.
Изменение подходов к стандартам приемлемой температуры поведения	Более низкая температура в помещении (термостаты)	Частично охвачен интеллектуальным замером температуры, нуждается в изменении отношения общества.
	Меньший размер жилья на душу населения.	Необходимо социальное поведение изменить и оценить применимость потенциально разных технологий и архитектурных решений.
Строительные стандарты	Низкоэнергетические, нулевые пассивные дома	Актуальная область применения как для новых, так и для существующих зданий. Из-за большого запаса и низких темпов строительства и реконструкции нет узкой направленности на пассивные дома.

и Восточной Европы крупные инфраструктуры распределения тепла были развиты во второй половине XX века. В этих странах это остается основным способом обеспечения энергией для отопления помещений и водоснабжения в городских районах. В странах Западной Европы, таких как Германия и Швейцария, централизованное теплоснабжение вносит более скромный, но тем не менее значительный вклад, и его вклад в структуру энергетики в последние годы был относительно стабильным.

Централизованное теплоснабжение, так и централизованное охлаждение до сих пор в основном основывались на ископаемом топливе, причем уголь и природный газ удовлетворяли основную часть спроса. Тем не менее успешные проекты по возобновляемой энергии для централизованного отопления и охлаждения были реализованы во многих развитых странах [6].

Ряд факторов стимулирует расширение возобновляемых систем централизованного отопления. Они несколько различаются между регионами и могут по-разному применяться к различным возобновляемым технологиям. Их обычно можно разделить на экологические выгоды, системные выгоды, синергизм с городской средой и повышенную энергетическую безопасность (таблица 4).

Таблица 4 – Обзор преимуществ использования возобновляемых источников в системах теплоснабжения

Экологическая выгода	Экологические факторы связаны с преимуществами замены или исключения менее эффективного децентрализованного оборудования для отопления или охлаждения и централизованного теплоснабжения на основе ископаемого топлива.	Чисто энергетические цели. Загрязнение воздуха в городах. Быстрое, экономическое и эффективное снижение выбросов CO <sub>2</sub> . Экономия пресной воды.
Системные преимущества	Энергетика района взаимодействует с окружающими системами множеством способов, включая электросеть, сектор отходов и местную экономику. Это может быть одной из причин для внедрения схем использования возобновляемых источников энергии. Кроме того, свойства самой энергии района полезны для использования возобновляемых источников энергии.	Кросс-секторальные преимущества. Опора для электрической системы. Местные ресурсы и экономика. Шкала спроса в централизованном теплоснабжении. Более гладкие профили спроса. Синергизм подключенного отопления и источников охлаждения. Наличие и жизнеспособность хранилищ энергоносителей.
Синергизм с городской средой	Районные энергетические системы по своей природе соответствуют городским ландшафтам: они извлекают выгоду из этой среды и поддерживают ее.	Урбанизация. Избежание децентрализованных объектов. Интеграция в городские здания и инфраструктуру.
Повышенная энергетическая безопасность	За исключением биомассы, возобновляемое централизованное теплоснабжение зависит главным образом от местных ресурсов или технологий, которые не используют жидкое или твердое топливо.	Энергетическая независимость. Диверсификация энергетики. Стабильность цен.

Целевые показатели выбросов на муниципальном уровне являются основной движущей силой многих преобразований. Использование биологических ресурсов обеспечивает получение ряда преимуществ [7]. Происходит значительное уменьшение загрязнения городского воздуха. В частности сжигание угля в городских центрах является разрушительным, поскольку воздействие загрязнения воздуха ощущается больше в местах с высокой плотностью населения. Это усугубляется неэффективными теплогенераторами во многих городах развивающегося мира. Например, это было сообщено в качестве основного мотива для серьезного обновления системы отопления в некоторых странах.

Обеспечивает быстрое и экономичное снижение выбросов парниковых газов. Принимая во внимание то, что это больше, чем индивидуальные системы отопления и охлаждения, возобновляемые системы централизованного отопления позволяют быстрее и дешевле сократить выбросы парниковых газов. Одним из примеров является перевод крупных ТЭЦ, работающих на угле, на сжигание биомассы.

Обеспечивает межотраслевые преимущества. Используя избыточную энергию ветра для отопления, можно избежать сокращения потребления органического топлива. Точно так же электрические котлы используются для предоставления регулирующих услуг, учитывая, что происходит увеличение мощностей ветровой и солнечной энергии. Другая полезная синергия связана с выработкой электроэнергии на теплоэлектростанциях. Поскольку комбинированная выработка тепла электроэнергии на ТЭЦ сосредоточена зимой, это электричество дополняет выработку от фотоэлектрических преобразователей.

Возобновляемые источники обеспечивают разгрузку электрических сетей. Используются местные ресурсы. Использование местных органических отходов в установках или котлах для выработки биомассы помогает оптимизировать местную систему обращения с отходами и перенаправить потоки отходов на более полезное использование. Многие города используют местную биомассу и придают большое значение местному происхождению ресурса. Использование местных ресурсов биомассы поддерживает местную экономику и поддерживает движение денег в городах.

Экономия зависит от масштаба применения. Хотя биомасса и солнечная энергия также могут использоваться в отдельных зданиях, некоторые подходы с использованием возобновляемых источников энергии имеют смысл только при реализации в достаточно больших объемах. Это включает

естественное водяное охлаждение и глубокое геотермальное тепло. Многие другие технологии могут извлечь выгоду из значительной экономии за счет масштаба, например использование крупномасштабных солнечных преобразователей.

Выравнивается структура спроса на энергию. Объединение профилей нагрузки для различных типов потребителей (жилых зданий, магазинов, промышленных объектов) выравнивает структуру спроса. Поскольку многие возобновляемые источники тепла требуют больших инвестиций и низких эксплуатационных расходов, плавная базовая нагрузка в течение всего года улучшает их экономику. Кроме того, некоторые возобновляемые источники тепла имеют ограниченную гибкость: солнечное отопление и охлаждение доступны в дневное время летних месяцев.

Если некоторым потребителям постоянно требуется тепло, такие ресурсы используются более эффективно, и для их хранения требуется меньше места. Обеспечивается синергизм с другими источниками генерации тепла. Соединение широкого спектра производителей тепловой энергии позволяет оптимизировать стоимость услуг. Например, геотермальное тепло удовлетворяет базисную нагрузку и может быть объединено с гибкой нагрузкой от сжигания биомассы или отходов на ТЭЦ, что позволяет реагировать на дополнительный переменный спрос.

Позволяют более экономично хранить энергию. Конкретные преимущества хранения резко увеличиваются с размером. Большие резервуары для горячей воды выигрывают от снижения тепловых потерь и снижения инвестиционных затрат на единицу мощности. Поэтому, поскольку многим возобновляемым источникам тепла и охлаждения требуется емкость для хранения, чтобы соответствовать их негибкой производительности по требованию, они получают выгоду от большого масштаба районных энергетических систем.

Уменьшение геометрической площади. По сравнению с обычными системами обогрева и охлаждения многие возобновляемые решения выигрывают от особенно небольшой геометрической площади, которая позволяет интегрировать их в городскую среду с очень низким визуальным воздействием. Возобновляемое отопление и варианты охлаждения (за исключением импортируемой биомассы) используют местные ресурсы, которые мало различаются по цене. Это заметное преимущество в странах, которые импортируют ископаемое топливо или испытывают дефицит ископаемого топлива.

Увеличивает диверсификацию энергии. Сбалансированное сочетание типов нагрева повышает устойчивость энергосистемы за счет уменьшения зависимости от одного топлива, такого как природный газ или уголь.

Улучшает стабильность цен на энергоносители. Многие возобновляемые системы ДЦО не зависят от топлива, и поэтому их стоимость очень предсказуема в течение всего срока службы. Местные биоэнергетические ресурсы менее подвержены влиянию цен на топливо на мировом рынке. Это является одной из основных причин перехода от природного газа к биомассе.

## ВЫВОДЫ

1. Системы теплоснабжения оказывают существенное влияние на состояние окружающей среды в результате выбросов парниковых газов и сбросов засоленных стоков в поверхностные водные источники.

2. Карбонат кальция является основным загрязнителем поверхностей нагрева, создающим основной экологический и экономический ущерб, несмотря на наибольшую термическую проводимость отложений.

3. Применение комбинированной генерации электрической и тепловой энергии обеспечивает экологические и экономические преимущества независимо от производительности оборудования.

4. Применение биомассы для генерации энергии обеспечивает экологические и экономические преимущества стабильность работы предприятий, создает меньшую зависимость от цен на топливо на мировом рынке.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Высоцкий, С. П. Выбор альтернативных решений для подготовки вода для подпитки тепловых сетей [Текст] / С. П. Высоцкий, С. Е. Гулько // Энергосбережение и водоподготовка. – 2016. – № 4(102). – С. 77–87.
2. Cost analysis of district heating compared to its competing technologies [Electronic resource] / O. Gudmundsson, J. E. Thorsen, L. Zhang // WIT Transactions on Ecology and The Environment. – 2013. – Vol. 176. – Access mode : [www.witpress.com/](http://www.witpress.com/). – ISSN 1743-3541.

3. Energy and Climate Change [Text] // World Energy Outlook Special Report. International Energy Agency, 2015. – 198 p.
4. Высоцкий, С. П. Ожидаемые или неожиданные изменения климата [Текст] / С. П. Высоцкий // Научный вестник НИИГД «Респиратор». 2018. – № 2(55). – С. 87–98.
5. Utilization of District Heating Networks to Provide Flexibility in CHP Production [Text] / T. Korpela, J. Kaivosoja, Y. Majanne, L. Laakkonen and etc. // Energy Procedia. – 2017. – Volume 116. – P. 310–319.
6. Renewable Energy and Energy Efficiency in Developing Countries Contribution to Reducing Global Emission [Text] / United Nations Environment Programme, 2017. – 90 p.
7. District heating in cities as a part of low-carbon energy system [Text] / A. Hasta, S. Syri, V. Lekavicius, A. Galinis // Energy. – 2018. – Volume 152. – P. 627–639.
8. Review on biomass as a fuel for boilers [Text] / S. Rahman, A. Abdelaziz, A. Demirbas, M. S. Hossain and etc. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2011. – 15(5). – P. 2262–2289.

Получено 08.10.2019

С. П. ВИСОЦЬКИЙ, К. Л. ГОЛОВАТЕНКО  
 ЕКОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ  
 ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** Теплові мережі є одним з джерел забруднення навколишнього середовища у містах. У цьому випадку забруднення може відбуватися в трьох середовищах: гідросфері, атмосфері та літосфері. Типи і кількісні показники забруднювачів атмосфери залежать від типу використовуваного палива, умов його згоряння і використовуваного обладнання. На котельнях, розташованих в житлових районах, димоходи мають відносно невелику висоту (60 м). Таким чином викиди димових газів розсіюються в житлових районах, що погіршує екологічний стан міст, у тому числі через викиди від автомобільного транспорту. Основними забруднювачами повітря в міських районах є оксиди вуглецю та азоту при спалюванні газоподібного та рідкого палива. Забруднення гідросфери включає скидання сольових стоків в поверхневі джерела води. Забруднення літосфери відбувається при спалюванні твердого палива. Його використання в більшості міст обмежена. При спалюванні твердого палива до вищевказаних забруднювачів додаються дрібнодисперсний пил і оксиди сірки. В останні роки у світі велика увага приділяється скороченню викидів парникових газів, зокрема вуглекислого газу. Ці обставини вказують на необхідність природоохоронних заходів, зокрема при вирішенні проблем теплопостачання.

**Ключові слова:** теплопостачання, забруднення середовища, поновлювані джерела, енергія, термічна провідність, біомаса.

SERGEY VYSOTSKY, EKATERINA GOLOVATENKO  
 ENVIRONMENTAL PARAMETERS OF HEAT SUPPLY SYSTEMS  
 Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** Heat networks are one of the sources of environmental pollution in cities. In this case, pollution can occur in three environments: hydrosphere, atmosphere and lithosphere. The types and quantitative indicators of atmospheric pollutants depend on the type of operating fuel, its combustion condition and the operating equipment. On boiler rooms located in residential areas, chimneys have a relatively small height (60 m). Thus, flue gas emissions are dispersed in residential areas, worsening the environmental condition of cities, also due to emissions from road transport. The main air pollutants in urban areas are carbon and nitrogen oxides from the combustion of gaseous and liquid fuels. Hydrosphere pollution includes the discharge of saline effluents into surface water sources. Pollution of the lithosphere occurs when burning solid fuel. Its use in most cities is limited. When burning solid fuel, finely dispersed dust and sulfur oxides are added to the above contaminants. In recent years, much attention has been paid in the world to reducing greenhouse gas emissions, in particular carbon dioxide. These circumstances indicate the need for environmental protection measures, in particular, in solving problems of heat supply.

**Key words:** heat supply, environmental pollution, renewable sources, energy, thermal conductivity, biomass.

**Высоцкий Сергей Павлович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка физико-химических основ обработки сточных вод угольной промышленности.

**Головатенко Екатерина Леонидовна** – ассистент кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: очистка сточных вод.

**Висоцький Сергій Павлович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри техносферної безпеки ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка фізико-хімічних основ обробки стічних вод вугільної промисловості.

**Головатенко Катерина Леонідівна** – асистент кафедри техносферної безпеки ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: очищення стічних вод.

**Vysotsky Sergey** – D. Sc. (Eng.), Professor, Head of Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of physico-chemical fundamentals of wastewater treatment of the coal industry.

**Golovatenko Ekaterina** – Assistant, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: sewage treatment.