

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНДЕНСАЦИОННЫХ СИСТЕМ СОВМЕСТНО С МАЛЫМИ КОТЛАМИ ТРАДИЦИОННОГО ТИПА

АКСЕНОВ Андрей Константинович, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

КОСОРУКОВ Дмитрий Петрович, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Создана и испытана практическая модель конденсационного экономайзера для увеличения энергетической эффективности котельных на базе газовых котлов конвекционного типа. Было выполнено исследование, по итогам которого получены показатели, которые допускают возможность сделать заключение о действенности его использования для индивидуального и местного теплоснабжения жилых и общественных зданий в сельской местности. Получены технические результаты, способствующие росту потенциала латентной теплоты конденсации водяных паров при глубоком охлаждении продуктов сгорания газообразного топлива на выходе из котла традиционного типа.

62

АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

3
2021

Введение. Текущая финансово-экономическая политика в Российской Федерации нацелена на импортозамещение зарубежной сельскохозяйственной продукции российскими товарами. В связи с этим в последние годы в несколько раз возросло возведение разнообразных высококлассных объектов сельскохозяйственного назначения, которые разработаны исходя из современных архитектурно-планировочных концепций и рассчитаны для функционирования согласно всем современным санитарным нормам [2]. Особенно ускоренно наращивается возведение всевозможных животноводческих комплексов. Рост числа строящихся объектов требует огромных расходов тепловой энергии для всевозможных внутренних инженерных систем, в частности системы обогрева помещений, подачи свежего, подготовленного воздуха и подогретой хозяйствственно-питьевой воды [6].

Доминирующим приемом снабжения тепловой энергией в виде подогретой воды в большинстве городов России является централизованное энергоснабжение клиентов снабжающих компаний от разного рода пунктов создания тепловой энергии: ТЭЦ, РТС или применение районных котельных [5].

На сегодняшний день ситуация с уровнем технической готовности тепловых сетей к отопительному сезонам по большей части не удовлетворяет требованиям ныне утверж-

денных государственных эксплуатационных норм. Подсоединение же к существующим линейным объектам центрального энергоснабжения в индивидуальной жилой застройке в настоящий момент экономически нецелесообразно, в связи с этим появляется необходимость возведения автономных источников теплоснабжения – индивидуальных теплогенераторных, позволяющих устанавливать и поддерживать обособленный температурный режим каждого обособленного объекта. Подобное технологическое решение будет более экономически rationalьной разновидностью энергоснабжения.

Регулярное повышение стоимости энергетических ресурсов вынуждает владельцев объектов недвижимости претворять в жизнь мероприятия по снижению расходов на теплоснабжение. В частности, одним из подобных методов является применение альтернативных источников производства тепловой энергии.

Наиболее эффективным методом наращивания эффективности эксплуатации котельных установок считается усовершенствование технологий глубокой утилизации теплоты нагретых дымовых газов из дымоходной системы водогрейных котлов. Физическая сущность подобного явления состоит в охлаждении уходящих высокотемпературных продуктов сгорания газообразного топлива, посредством контакта с холодной поверхностью теплообменного аппа-





рата, до температуры ниже температуры точки росы при давлении в конвективном пучке котла. В уходящих из газовых водогрейных котлов газах во взвешенном состоянии содержится водяной пар, полученный в результате реакции высокотемпературного окисления водорода, который в результате контакта с холодной конвективной частью конденсируется на площадки теплообменника и передает перемещающейся внутри него жидкости латентную тепловую энергию образования пара (теплоту от конденсации водяных паров), в итоге чего температура перемещающейся жидкости возрастает, вследствие чего уменьшается расход топлива для компенсации тепловых потерь инженерных систем.

В большинстве европейских стран технология получения латентного тепла от уходящих дымовых газов реализуется в широком внедрении в системы отопления конденсационной техники, в состав которой входит дополнительная поверхность из нержавеющей стали, или силумина, на которой происходит выпадение конденсата из продуктов сгорания природного и сжиженного газа.

В России подобные технологии не так широко распространены, как в Европейском союзе, несмотря на то, что строительство теплогенераторов на основе напольных или настенных конденсационных котлов ведется более 10 лет. Существует несколько причин, благодаря которым аналогичные решения не получили признания при монтаже отопительных систем в Российской Федерации, но наиболее важной, ограничивающей повсеместное применение, является распространенность в построенном до 2010 года фонде объектов сельскохозяйственного назначения высокотемпературных систем отопления, для которых подобные проекты не имеют физической сущности, так как конденсация водяных паров при давлении в топке котла происходит при температуре обратной воды не более 55 °С. Такую температуру в обратной магистрали можно получить, только запроектировав низкотемпературную систему отопления, например, теплые полы или теплые потолки. Подобное невозможно осуществить при реконструкции действующих систем энергоснабжения. Мировой экономический кризис вызвал резкое замедление темпов возведения промышленных объектов. Подобная ситуация привела к уменьшению популяризации котельных на основе конденсационных водогрейных теплогенерирующих установок.

В сложившейся ситуации особенно необходимо создать технологический способ, который бы позволял увеличить экономическую эффективность ныне существующих высокотемператур-

ных систем до уровня низкотемпературных [8].

Методика исследований. Наиболее оптимальным решением утилизации скрытой теплоты конденсации водяных паров из уходящих газов считается установка в теплогенераторную дополнительного теплообменного аппарата-конденсационного экономайзера. Подобное оборудование широко используется в виде конвекционной поверхности подогрева водогрейных котлов для энергоснабжения группы промышленных и общественных зданий в странах Европы и США. В виде способа увеличения эффективности индивидуальных теплогенераторных конденсационные экономайзеры пока не используются, хотя технологический эффект от них, выражющийся в уменьшении температуры нагретых дымовых газов, утилизации латентной теплоты конденсации водяных паров и наращивании коэффициента полезного действия теплогенерирующей установки по высшей теплоте сгорания топлива в численных величинах, преобладает над экономией от монтажа конденсационного котла. Финансовый же выигрыш будет намного больше, так как цена подобного теплообменного аппарата в несколько раз меньше, чем конденсационного котла [1].

В связи с необходимостью доказательства рациональности использования конденсационных теплообменников с задачей наращивания эффективности газообразных теплогенераторов конвекционного типа нами был разработан и произведен практический экземпляр подобного теплообменника. Выполненный эксперимент и ценные расчеты позволили определить эффективность его применения для индивидуальных котельных на газообразном топливе в Центральном регионе [3].

Результаты исследований. В качестве оснащения применяли газовый настенный двухконтурный традиционный котел с атмосферной газовой горелкой частичного предварительного смешивания разработки концерна BAXI: BAXIECONova 24 F мощностью 24 кВт, а также конденсационный экономайзер конструкции типа теплообменника «труба в трубе» с закрепленным спиральным змеевиковым теплообменником из нержавеющей стали. Используемое устройство олицетворяет собой вмонтированные друг в друга две трубы из нержавеющей стали: наружная с условным диаметром 200 мм и внутренняя с условным диаметром 125 мм. На внутреннюю трубу была прикреплена гибкая оребренная трубка из нержавеющей стали с условным диаметром 15 мм, установленная в верхней части экономайзера. Подобная поверхность предполагает наращивание петлевого перемещения уходящих газов, наращивая их температуру и сокращая относительную влажность за счет сушение теп-



Рис. 1. Опытная установка конденсационного экономайзера: 1 – блок конденсационного экономайзера; 2 – отводчик конденсата, $d = 200$ мм; 3 – система вывода продуктов сгорания, состоящая из горизонтального участка диаметром 80 мм; тройника, $d = 80$ мм, и регулирующей воздушной заслонки того же диаметра; 4 – труба из гофрированной нержавеющей стали, $d = 15$ мм, для перемещения воды; 5 – отходящий патрубок дымовых газов из гибкого алюминиевого шланга; 6 – газообразный теплогенератор BAXI ECONova 24F.

лотой от внутренних стенок неизолированного канала. С дымоходной и газоходной системами теплогенератора теплообменник закрепляется при помощи трубы из нержавеющей стали с условным диаметром 80 мм и гибкого алюминиевого подводного шланга с условным диаметром 80 мм. Структура лабораторного стенда для выполнения экспериментов изображена на рис. 1.

Характер функционирования конденсационного теплообменника с развитой площадью возможно охарактеризовать следующими режимами: в процессе использования газового котла в режиме подогрева воды на горячее водоснабжение до 60 °С возникают высокотемпературные уходящие газы, при средней взвешенной температуре на выходе из теплогенератора 80 °С. В случае прикрытой воздушной заслонки 3 продукты сгорания топлива отправляются по продольному участку и оказываются в межтрубном промежутке конденсационного теплообменного аппарата, где увеличивают теплотворную способность перемещающейся по гофрированной нержавеющей трубке жидкости с $t_{\text{хол}} = 20$ °С (жидкость из трубопровода ХВС здания, которая немного подогрета в связи с прохождение трубопроводов по отапливаемым помещениям). Далее дымовые газы переворачиваются и отправляются во внутреннюю трубу экономайзера и уходят из системы в дымоход [4]. Скрытое строение конденсационного экономайзера представлено на рис. 2. Схема перемещения жидкости и продуктов сгорания при течении через конденсационный экономайзер изображена на рис. 3.

В течение эксперимента измеряли следующие параметры: температуру продуктов сгорания на выходе из теплогенератора $t_{\text{вых}}^{\text{кот}}$, температуру горячих газов на выходе из экономайзера $t_{\text{вых}}^{\text{г}}$, общий расход жидкости через теплогенератор $L_{\text{вод}}$,

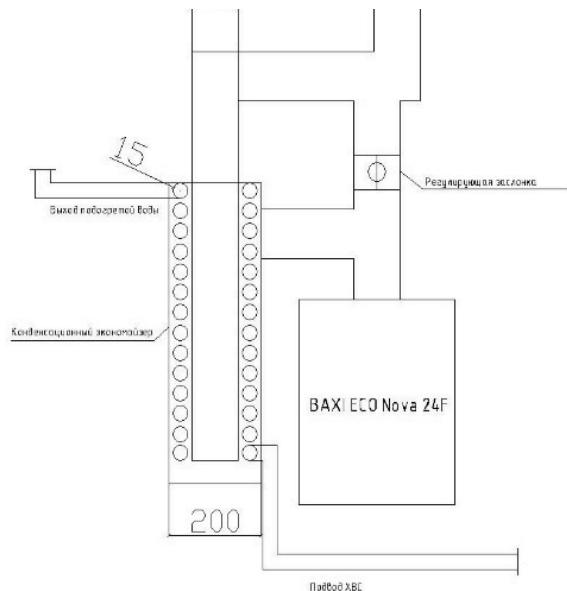


Рис. 2. Конденсационный экономайзер в вертикальном разрезе, подключенный к системе водоснабжения и газоходам газового котла

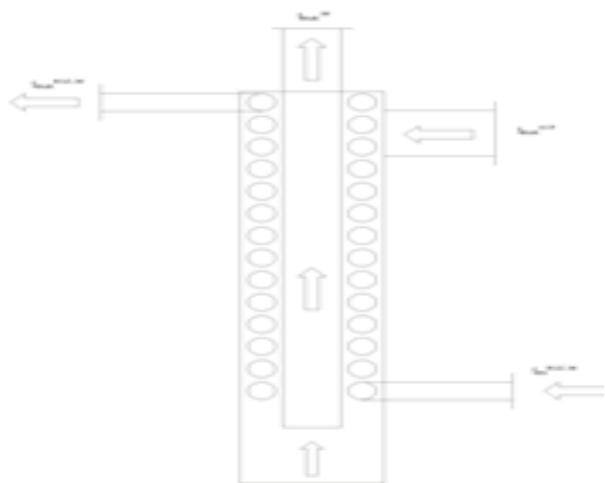


Рис. 3. Схема перемещения жидкости и продуктов сгорания в конденсационном теплообменнике

$\text{м}^3/\text{ч}$, расход жидкости через экономайзер $L_{\text{эк}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$, температуру жидкости после экономайзера

$t_{\text{вод}}^{\text{посл.эк}}$, расход газа через теплогенератор B , $\text{м}^3/\text{ч}$.

В вычислениях учитывали данные неизменные значения: температура жидкости на входе в экономайзер $t_{\text{хол}} = 20$ °С, низшая теплота сгорания природного газа при заданном составе (Уренгойское газовое месторождение) $Q_n^p = 37310$ кДж/м³.

В результате проведенного исследования выявлено, что доля тепловой энергии, полученной вследствие конденсации водяных паров из нагретых газов от общего объема энергии, отданной жидкости в экономайзере составляет 15 %, а доля количества тепловой энергии, полученной вследствие выпадения влаги водяных паров из продук-



тов сгорания в экономайзере к общему объему энергии, от окислившегося в теплогенераторе газообразного топлива, составила 4 % [9]. Подобные данные различаются с показателями, которые могут быть измерены в энергоэффективных котлах, где данная доля оценивается как 7 % при номинальном режиме эксплуатации [10].

Данные отличия соотносятся с недостатками и конструктивными дефектами используемого исследовательского образца [11]. К другим минусам можно отнести недостаток самой конструкции теплопередающей поверхности, что вызвало плохую обтекаемость трубы продуктами сгорания газообразного топлива и медленному отводу капель конденсата с площади теплообмена и явилось причиной подсушки поверхности и повышения влагосодержания уходящих газов. Подобное явление не вызывает деструкции в процессе эксплуатации внутреннего ствола дымоотводящего канала теплогенератора из нержавеющей стали, к которому присоединен экономайзер, благодаря тому что отходящие по внутреннему дымоходу охлажденные газы частично высушиваются нагретыми в процессе тепломассообмена со стенками внутреннего отводящего патрубка и некоторое количество скопившегося конденсата оказывается на внутренней его поверхности.

В результате проведения опытных исследований был сделан вывод, что для увеличения положительного теплотехнического эффекта от процесса тепломассообмена между продуктами сгорания природного газа и поверхностью площадью оребренной гибкой трубы с жидкостью важно выполнить заводскую сборку экономайзера, это позволит уровнять его показатели энергоэффективности от утилизации латентной теплоты образования водяных паров с схожим уровнем для современного котла той же полезной мощности [11].

По результатам исследования можно сделать вывод о финансовой рациональности от применения экономайзера с развитой оребренной поверхностью по сравнению с конденсационным теплогенератором [6]. Например, цена конденсационного теплогенератора Baxi мощностью 24 кВт составляет 88114 руб., а цена газового теплогенератора с атмосферной горелкой неполного предварительного смешивания BAXIECONova 24 F – 53 940 руб., стоимость конденсационного экономайзера, произведенного под клиента в заводских условиях, составляет 10 000 руб. [2].

Выполненная лабораторная практика допускает сделать вывод: технологический эффект от использования этих двух концепций однотипен, однако, монтаж конденсационного

экономайзера не требует обязательного применения низкотемпературных систем снабжения тепловой энергией, тогда как экономичность теплогенератора сильно сокращается при подключении его в существующую высокотемпературную систему отопления [13]. Нагретая в конденсационном экономайзере жидкость, при желании, может быть утилизирована для нагрева подпиточной воды системы отопления и охлаждающейся питьевой воды в накопительном теплообменнике непрямого нагрева, что дает возможность сократить частые включения теплогенератора в режиме подогрева воды для горячего водоснабжения и сберечь газообразное топливо [10]. Помимо этого, нагретая жидкость может быть использована в качестве теплоносителя в системе теплого пола и теплых стен, для этого необходимо применить экономайзер большей площади и с меньшим шагом намотки трубы. Один из вариантов тепловой схемы газовой реконструированной котельной представлен на рис. 4.

Заключение. Проблема применения конденсационных экономайзеров в сельскохозяйственном строительстве предполагает предстоящее расширение и внедрение конструктивного подхода. Установлено, что финансовый результат от его эксплуатации будет найден в начальный год его использования, а окупаемость установки настанет скорее, чем у конденсационного котла. Найденные экспериментальные зависимости могут быть задействованы для наработки экономичной конструкции теплообменника. Примененная методика оказывается эффективной для наращивания энергоэффективности теплогенерирующих установок и уменьшения выбросов угарного газа и высокотемпературных оксидов азота.

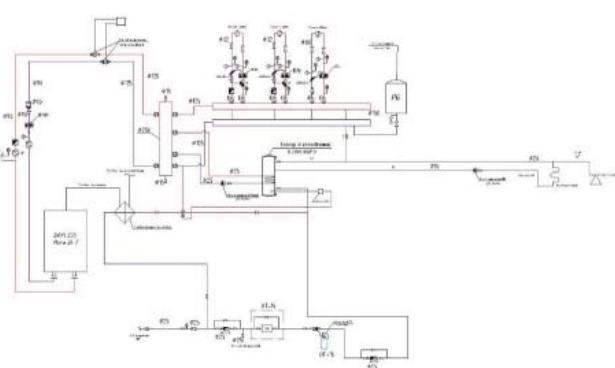


Рис. 4. Пример тепловой схемы газовой котельной для индивидуального теплоснабжения с конденсационным экономайзером.





СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хаванов П.А. Источники теплоты автономных систем теплоснабжения. – М., 2014. – 208 с.
 2. BS EN 12828:2003 Heating Systems in Buildings. Design for water based systems. – URL: <https://catalogue.normdocs.ru/?type=card&cid=com.normdocs.din.card.c40dd9843b71c435fcde804c591664aa>.
 3. BS 7671:2001, Requirements for electrical installations, IEE Wiring Regulations, Sixteenth edition. – URL: <https://www.pdfdrive.com/requirements-for-electrical-installations-ieee-wiring-regulations-sixteenth-edition-bs-76712001-incorporating-amendments-no-1-and-no-2-e158645845.html>.
 4. BS 7593:2006, Code of Practice for Treatment of water in domestic hot water central heating systems. – URL: <https://catalogue.normdocs.ru/?type=card&cid=com.normdocs.bsi.card.bs.7593.2006>.
 5. Khavanov P.A., Chulenov A.S. The dependence of the efficiency of the condensing boiler by use and climatic zone //BBRA-OSPC - Biosciences, Biotechnology Research Asia, 2015, Vol. 12 (3). P. 3019–3026.
 6. Khavanov P.A., Chulenov A.S. Physical model of a heat mass transfer in condensation surfaces and its compliance to skilled data // GJPAM-RIP - Global Journal of Pure and Applied Mathematics 2016, Vol. 12, No. 1.
 7. Section 6: Energy, Domestic Technical Handbook, Guidance on achieving the standards set in the Building (Scotland) Regulations 2004, Scottish Building Standards Agency, 2007.
 8. The Building (Amendment No. 2) Regulations (Northern Ireland) 2006, Technical booklet F1, Conservation of fuel and power (2006). See website www.dfpni.gov.uk.
 9. The Boiler (Efficiency) Regulations 1993, SI (1993) No 3083, as amended by the Boiler (Efficiency) (Amendment) Regulations 1994, SI (1994) No 3083. – URL: <https://www.bsigroup.com/en-IN/Our-services/Product-certification/CE-mark/EU-Directives/Boiler-Efficiency-Directive-9242EEC>.
 10. The Building Regulations 2000. Approved Documents L1A (New Dwellings) and L1B (Existing Dwellings), Conservation of fuel and power in dwellings, 2006 Edition. – URL: <https://www.gov.uk/government/publications/conservation-of-fuel-and-power-approved-document-l>.
 11. The Building (Amendment No. 2) Regulations (Northern Ireland) 2006, Technical booklet F1, Conservation of fuel and power (2006). – URL: <https://www.finance-ni.gov.uk/consultations/building-amendment-regulations-northern-ireland-2006>.
 12. Domestic Heating Compliance Guide, (Compliance with Approved Documents L1A: New Dwellings and L1B: Existing Dwellings), First Edition, Communities and Local Government. – URL: <https://archive.org/details/domesticheatingc0000unse>.
- Аксенов Андрей Константинович**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия.
- Косоруков Дмитрий Петрович**, аспирант кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия.
- 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26.
Тел.: (495) 781-80-07.
- Ключевые слова:** энергоэффективное строительство в сельской местности; конденсационный экономайзер; латентное тепло конденсации водяных паров; индивидуальное теплоснабжение; температура точки росы; теплообменная поверхность.

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF AUTONOMOUS HEAT SUPPLY FOR RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS IN RURAL AREAS USING CONDENSING SYSTEMS IN CONJUNCTION WITH SMALL BOILERS OF THE TRADITIONAL TYPE

Aksenov Andrey Konstantinovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Heat and Gas Supply and Ventilation", National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia.

Kosorukov Dmitriy Petrovich, Post-graduate Student of the chair "Heat and Gas Supply and Ventilation", National Research Moscow State University of Civil Engineering. Russia.

Keywords: energy efficient construction in rural areas; condensing economizer; latent heat of condensation of water vapor; individual heat supply; dew point temperature; heat exchange surface.

A practical model of a condensing economizer has been created and tested to increase the efficiency of boiler houses based on gas-fired convection-type boilers. A study was carried out, based on the results of which indicators were obtained that allow the possibility of making a conclusion about the effectiveness of its use for individual and local heating supply of residential and public buildings in rural areas. Technical results have been obtained that contribute to an increase in the potential of the latent heat of condensation of water vapor during deep cooling of the combustion products of gaseous fuel at the outlet of a traditional boiler.