

Фиалко Н. М.<sup>1</sup>, Навродская Р. А.<sup>1</sup>, Динжос Р. В.<sup>2</sup>, Прокопов В. Г.<sup>1</sup>, Меранова Н. О.<sup>1</sup>, Шевчук С. И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт технической теплофизики НАН Украины. Украина, г. Киев

<sup>2</sup> Николаевский национальный университет им. В. А. Сухомлинского. Украина, г. Николаев

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МИКРО- И НАНОКОМПОЗИТОВ ДЛЯ ГАЗОВОДЯНЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

*Представлены результаты сравнительного анализа эффективности использования полимерных микро- и нанокompозитов и традиционно применяемых материалов для теплообменных поверхностей теплоутилизационных установок. Приведены данные сопоставления рассматриваемых поверхностей по таким характеристикам, как их теплопроизводительность на единицу массы, объем на единицу утилизированной теплоты и пр. Определены эффекты влияния на указанные характеристики различных режимных параметров теплоутилизационных установок. Показано, что теплообменная поверхность из разработанных микро- и нанокompозитов обладает целым рядом преимуществ в сравнении с традиционными аналогами. [dx.doi.org/10.29010/080.3]*

Ключевые слова: полимерные микро- и нанокompозиты; теплообменные поверхности; газоводяные теплоутилизаторы.

### Введение

В последнее время особое значение приобретают проблемы надежности и долговечности различных конструкций и оборудования, повышения его эффективности и пр. Их решение непосредственно связано с применением новых материалов, обладающих улучшенными технологическими и физическими свойствами. К таким материалам относятся, в частности, полимерные микро- и нанокompозиты, характеризующиеся комплексом свойств, по уровню которых они могут существенно превосходить традиционные материалы [1–4].

Среди перспективных направлений использования полимерных микро- и нанокompозитов выделяется применение их высокотеплопроводных модификаций в теплообменных устройствах различного типа. При этом обоснованный выбор необходимых полимерных композитов, очевидно, должен базироваться на сравнительном анализе эффективности теплообменных устройств из данных композитов и традиционно применяемых материалов.

Данная работа посвящена рассмотрению перспективности использования высокотеплопроводных полимерных микро- и нанокompозитов для изготовления теплообменных поверхностей конденсационных теплоутилизационных установок газопотребляющих отопительных котлов малой и средней мощности. Целесообразность применения этих композитов в теплообменных указанных уста-

новках, работающих в условиях воздействия агрессивного конденсата, который образуется при глубоком охлаждении дымовых газов, связана с повышенной коррозионной стойкостью данных материалов. Кроме того, последние, имея близкие теплопроводящие свойства к традиционным аналогам – коррозионностойким сталям, могут иметь существенные преимущества по массогабаритным, ценовым показателям и др.

### Формулировка цели исследований

Цель работы состоит в сопоставительном анализе эффективности использования полимерных микро- и нанокompозитов и традиционно применяемых материалов для теплообменных поверхностей конденсационных газоводяных теплообменников (водонагревателей) теплоутилизационных установок газопотребляющих отопительных котлов.

### Постановка задачи и методика проведения исследований

Характеристики теплообменных поверхностей из полимерных микро- и нанокompозитов сравнивались с соответствующими показателями для поверхностей, традиционно применяемых в таких ситуациях. Данные сопоставления проводились в условиях одинаковых теплогидравлических режимов работы теплообменных аппаратов, то есть при тех же теплопроизводительностях, диапазонах

рабочих температур и давлений, расходах теплоносителей и т.п. При этом сравнительный анализ традиционно применяемых теплообменных поверхностей и поверхностей из рассматриваемых композитов выполнялся в широком диапазоне изменения нагрузки котлоагрегата и значений температур отходящих газов в номинальном режиме его работы. К тому же учитывалось, что по регламенту при уменьшении нагрузки котла до 50% происходит его перевод в номинальный режим работы с последующим снижением нагрузки в соответствии с температурой окружающей среды. В этих условиях в котельной соответственно уменьшается количество котлов, находящихся в эксплуатации.

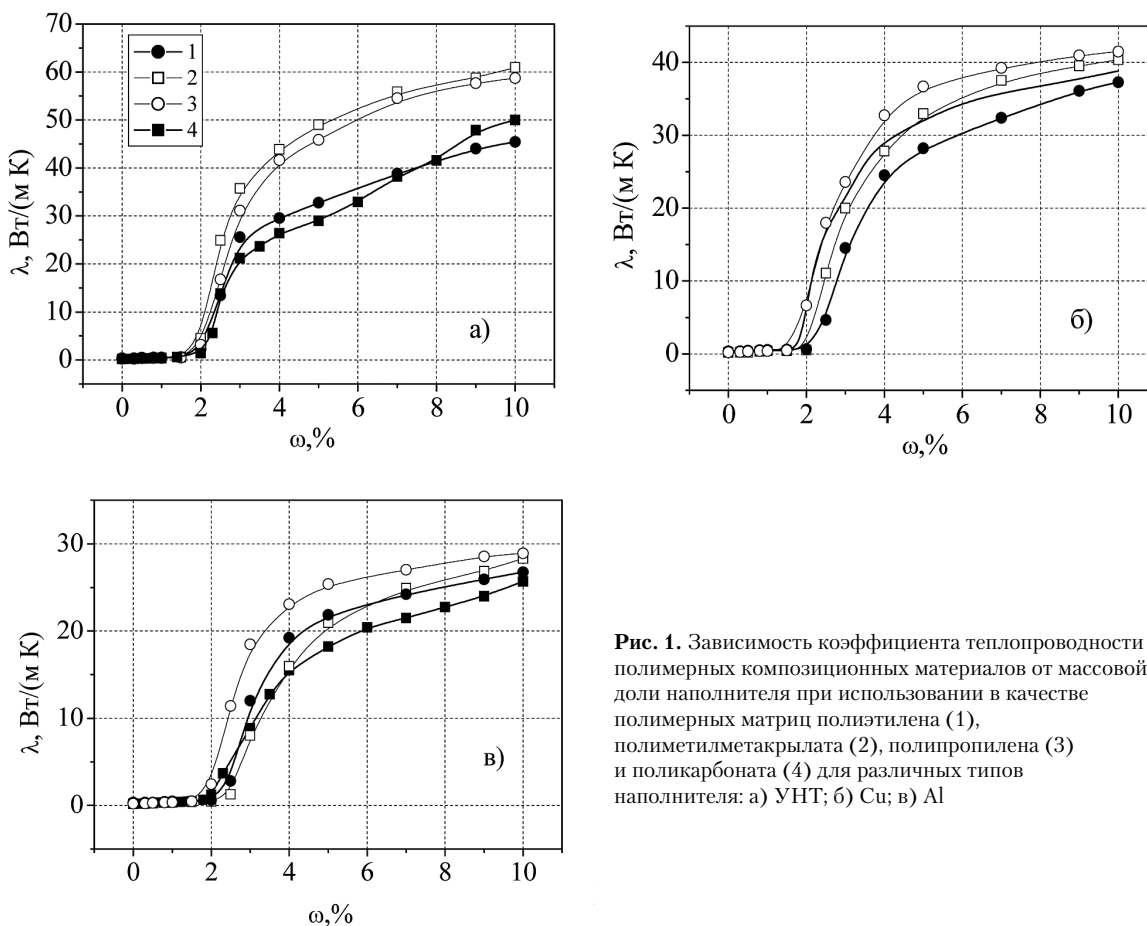
В качестве основных показателей для сравнения эффективности теплообменных поверхностей использовались такие: удельная теплопроизводительность  $Q^*$  (количество утилизированной теплоты на единицу массы теплообменной поверхности) и относительный объем  $V^*$  (объем поверхности нагрева на единицу утилизированной теплоты). Указанная удельная теплопроизводительность  $Q^*$  характеризует тепловую эффективность утилизаторов на единицу их массы. Относительный объем  $V^*$  является важным показателем компактности теплоутилизационного оборудования. Значение этого показателя приобретает особое значение в условиях ограниченных

площадей котельных и должно учитываться при проектировании систем теплоутилизации.

Что касается сопоставления характеристик теплообменных поверхностей, то рассмотрению подлежали их различные конфигурации и применяемые для изготовления материалы.

А именно, рассматривались поверхности теплообмена из трубных пучков разного типа: гладкотрубные из полимерных композитов и нержавеющей стали и пучки труб с оребрением. Последние компоновались из плоскоовальных труб или биметаллических со стальной основой и оребрением из алюминия. Для трубных пучков применялись трубы с внутренним диаметром 25 мм. Толщина стенок стальных труб составляла 2,5 мм, а труб из полимерных композитов – 3 мм. Высота оребрения биметаллических труб равнялась 11 мм, а межреберный шаг – 3,5 мм. Геометрические параметры плоскоовальных труб принимались согласно [5].

Композит, необходимый для той или иной теплообменной поверхности, выбирался, во-первых, из условия соответствия диапазону рабочих температур данной поверхности и, кроме того, необходимые теплопроводящие свойства композита находились по значениям одной или нескольких характеристик теплообменных аппаратов, которые в рамках рассматриваемой ситуации считались определяющими.



**Рис. 1.** Зависимость коэффициента теплопроводности полимерных композиционных материалов от массовой доли наполнителя при использовании в качестве полимерных матриц полиэтилена (1), полиметилметакрилата (2), полипропилена (3) и поликарбоната (4) для различных типов наполнителя: а) УНТ; б) Сu; в) Al

**Исходные данные для расчета характеристик водогрейных теплоутилизаторов при использовании полимерных микро- и нанокомпозитов и традиционно применяемых материалов**

Наименование параметра	Значение
Нагрузка котла, %	30...100
Теплопроизводительность котла в номинальном режиме, МВт	2,0
Расход природного газа, м <sup>3</sup> /ч	70...200
Расход дымовых газов, кг/с	0,3...0,9
Температура газов на выходе из котла в номинальном режиме, °С	156
Коэффициент избытка воздуха	1,1
Влагосодержание газов на выходе из котла, кг/кгс.г.	0,135
Расход воды через котел, т/ч	70
Температура обратной теплосетевой воды, °С	30...70
Температура окружающей среды, °С	-20...+10
Расчетная температура воздуха для системы отопления, °С	-20
Расчетный перепад температур для системы отопления $\Delta t_o$ , °С	25
КПД котла (по низшей теплоте сгорания топлива), %	92...94

При выборе композиционного материала для теплообменной поверхности использовались результаты исследований по разработке типоряда полимерных микро- и нанокомпозитов с коэффициентом теплопроводности, изменяющимся от 20 до 60 Вт/(м·К), и максимальной температурой эксплуатации, находящейся в пределах 390...470 К [6]. В качестве элементов указанного типоряда рассматривались частично кристаллические (полиэтилен, полипропилен, поликарбонат) и аморфные (полиметилметакрилат) полимеры, наполненные углеродными нанотрубками (УНТ) либо микро-частицами меди или алюминия. На рис. 1 представлены результаты выполненных экспериментальных исследований концентрационной зависимости коэффициентов теплопроводности  $\lambda$  композитов, положенные в основу разработки данного типоряда. Следует отметить, что при построении последнего из множества композитов, отвечающих данному элементу ряда с заданным значением  $\lambda$ , выбирался один из соображений минимальной общей стоимости его компонентов.

В таблице приводятся исходные данные для проведения расчетных исследований по сравнительному анализу основных характеристик различных типов водогрейных теплоутилизаторов.

Выполнялись также расчеты при различных уровнях температуры отходящих газов в номиналь-

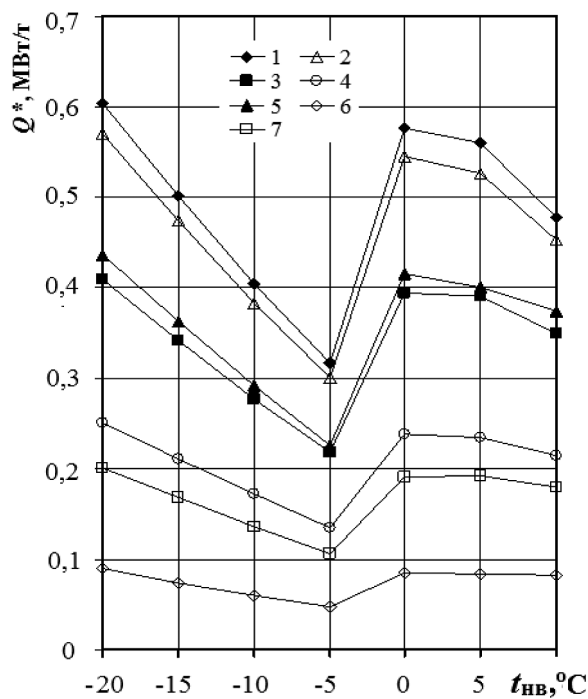
ном режиме работы котла – 150 ÷ 200°С. Указанные уровни температуры соответствуют котлам, имеющимся в эксплуатации коммунальной теплоэнергетики Украины.

Что касается применяемых полимерных композитов, то их коэффициенты теплопроводности варьировались при расчетах в диапазоне 0,2–30 Вт/(м·К). Первое из указанных значений соответствует коэффициенту теплопроводности ненаполненной полимерной матрицы, второе – нержавеющей стали.

В ходе исследований, как уже отмечалось, моделировались различные нагрузки котла (от 30 до 100%) по теплосетевому графику согласно температуре окружающей среды  $t_{\text{нв}}$ .

Характерные результаты выполненных расчетных исследований приводятся на рис. 2–6. Рис. 2 иллюстрирует зависимость удельной теплопроизводительности водогрейных теплоутилизаторов от режима работы котла, соответствующего температурам окружающей среды -20 – +10°С в течение отопительного периода.

Как видно из рис. 2, характер зависимости  $Q^* = f(t_{\text{нв}})$  имеет общие особенности для всех рассмотренных типов водогрейных теплоутилизаторов. А именно, при повышении  $t_{\text{нв}}$  от -20°С до -5°С величина  $Q^*$  уменьшается, что обусловлено снижением нагрузки котла до 50%. При  $t_{\text{нв}} \approx -5^\circ\text{C}$  имеет



**Рис. 2.** Зависимость удельной теплопроизводительности  $Q^*$  водонагревателя от температуры наружного воздуха  $t_{нв}$  при использовании поверхностей теплообмена с различными пучками труб: 1–3 – из нанокompозитов на основе полиэтилена, наполненного УНТ ( $\lambda = 30, 5, 1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ); 4 – из полиэтилена ( $\lambda = 0,2 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ); 5 – биметаллических оребренных труб ( $\lambda = 200 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  для алюминия и  $\lambda = 40 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  для углеродистой стали); 6, 7 – гладких и плоско-овальных оребренных труб из нержавеющей стали ( $\lambda = 30 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ )

место резкий рост удельной теплопроизводительности теплоутилизаторов благодаря переводу котла в номинальный режим работы и соответствующему увеличению расхода и температуры дымовых газов на входе в теплоутилизатор. Дальнейшее повышение температуры  $t_{нв}$  приводит к снижению величины  $Q^*$  из-за уменьшения нагрузки котла. Следует отметить, что интенсивность указанного снижения  $Q^*$  существенно отличается для разных типов теплоутилизаторов.

Как свидетельствуют данные, приведенные на рис. 2, наибольшие значения удельной теплопроизводительности  $Q^*$  во всем диапазоне изменения температуры наружного воздуха  $t_{нв}$  соответствуют теплоутилизатору из полимерного композиционного материала, коэффициент теплопроводности которого равен  $30 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ . Наиболее низкими значениями  $Q^*$  характеризуются теплоутилизаторы, которые komponуются гладкотрубными пучками из нержавеющей стали. При этом величины  $Q^*$  для указанных теплоутилизаторов отличаются примерно в 7 раз.

Обращает на себя внимание тот факт, что различия в значениях удельной теплопроизводительности  $Q^*$  для полимерных композитов  $\lambda = 30 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$

и  $5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  являются незначительными и не превышают 7%. Это объясняется относительно небольшим термическим сопротивлением стенки теплоутилизатора из полимерного композиционного материала по сравнению с термическим сопротивлением теплоотдачи дымовых газов.

Согласно полученным данным, удельная теплопроизводительность  $Q^*$  для теплоутилизаторов из всех рассмотренных полимерных композитов ( $\lambda = 30; 5$  и  $1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ), включая ненаполненный полимер ( $\lambda = 0,2 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ), выше, чем для теплоутилизаторов из нержавеющей стали (гладкотрубные и оребренные пучки), что связано с ее высоким удельным весом.

Теплоутилизаторы из биметаллических оребренных труб характеризуются существенно более высокими значениями  $Q^*$ , чем теплоутилизаторы из нержавеющей стали. Это обусловлено высокой тепловой эффективностью биметаллических труб и их меньшим удельным весом.

Таким образом, как показали проведенные исследования, по такому важному показателю тепловой эффективности как удельная теплопроизводительность водогрейные теплоутилизаторы из полимерных нанокompозитов имеют существенные преимущества перед теплоутилизаторами из нержавеющей стали.

На рис. 3 приведена зависимость относительного объема водогрейных теплоутилизаторов от температуры окружающей среды. Как видно, эти зависимости имеют качественно одинаковый характер для различных типов теплоутилизаторов. При этом данный характер противоположен тому, который имеет место для зависимости  $Q^* = f(t_{нв})$ .

Приведенные на рис. 3 данные свидетельствуют о том, что наибольшей компактностью (наименьшими значениями  $V^*$ ) характеризуются пучки биметаллических труб. Несколько уступают им по этому показателю пучки с плоскоовальными трубами из нержавеющей стали. Величины  $V^*$  для гладкотрубных пучков из нержавеющей стали и всех рассмотренных полимерных композитов отличаются незначительно и примерно в три раза превышают соответствующие значения для пучков биметаллических труб.

Что касается пучков труб из ненаполненного полимера, то они являются наиболее габаритными и менее компактными в 1,6–1,8 раза, чем соответствующие пучки из полимерных композитов.

По результатам выполненных исследований можно сделать вывод о том, что водогрейные теплоутилизаторы из полимерных композитов по компактности уступают теплоутилизаторам из оребренных труб. Это обстоятельство, как уже отмечалось, должно учитываться при проектировании теплоутилизационных систем в котельных, ограниченных по площади.

Рис. 4 иллюстрирует зависимость удельной теплопроизводительности водогрейного теплоутилизатора  $Q^*$  от температуры отходящих газов котла в номинальном режиме. Как видно, для всех поверхностей теплообмена величина  $Q^*$  существенно возрастает с повышением температуры  $t_r^H$ , что обусловлено увеличением температурного напора между нагреваемой водой и дымовыми газами, а также повышением скорости последних. Указанное увеличение  $Q^*$  наиболее значительно для трубных пучков из полимерных композитов. Так, для композита с  $\lambda = 30$  Вт/(м·К) при повышении температуры  $t_r^H$  от 150 до 200°C величина  $Q^*$  увеличивается в 2,6 раза.

Что касается ранжирования рассматриваемых поверхностей теплообмена по величине  $Q^*$ , то во всем диапазоне изменения значений  $t_r^H$  оно остается таким же, как и для зависимости  $Q^* = f(t_{нв}^H)$  на рис. 2. То есть для всех значений  $t_r^H$  наибольшей тепловой эффективностью по параметру  $Q^*$  характеризуются трубные пучки из полимерных композитов ( $\lambda = 1 - 30$  Вт/(м·К)), несколько более низкой – пучки из биметаллических труб, гладкотрубные пучки из ненаполненного полимера и пучки из оребренных плоскоовальных труб. Тепловая

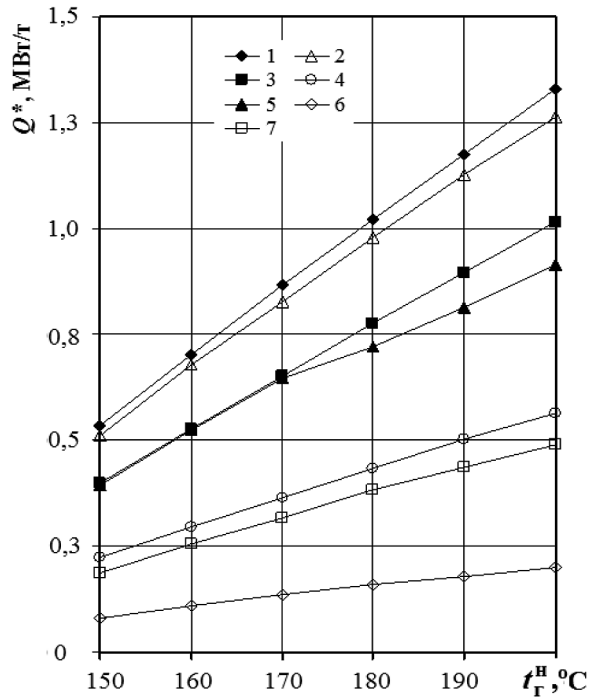


Рис. 4. Зависимость удельной теплопроизводительности  $Q^*$  водонагревателя от температуры отходящих газов  $t_r^H$  в номинальном режиме котла при использовании поверхностей теплообмена с различными пучками труб: 1–3 – из нанокompозитов на основе полиэтилена, наполненного УНТ ( $\lambda = 30, 5, 1$  Вт/(м·К)); 4 – из полиэтилена ( $\lambda = 0,2$  Вт/(м·К)); 5 – биметаллических оребренных труб ( $\lambda = 200$  Вт/(м·К) для алюминия и  $\lambda = 40$  Вт/(м·К) для углеродистой стали); 6, 7 – гладких и плоско-овальных оребренных труб из нержавеющей стали ( $\lambda = 30$  Вт/(м·К))

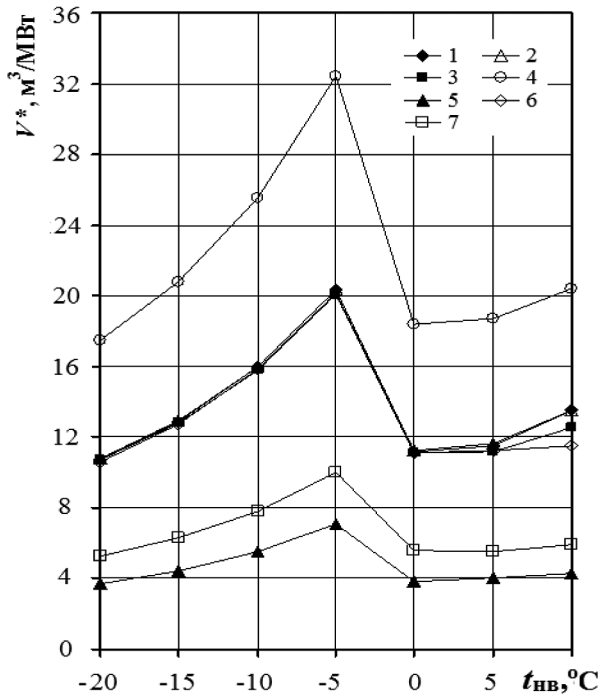


Рис. 3. Зависимость относительного объема  $V^*$  водонагревателя от температуры наружного воздуха  $t_{нв}^H$  при использовании поверхностей теплообмена с различными пучками труб: 1–3 – из нанокompозитов на основе полиэтилена, наполненного УНТ ( $\lambda = 30, 5, 1$  Вт/(м·К)); 4 – из полиэтилена ( $\lambda = 0,2$  Вт/(м·К)); 5 – биметаллических оребренных труб ( $\lambda = 200$  Вт/(м·К) для алюминия и  $\lambda = 40$  Вт/(м·К) для углеродистой стали); 6, 7 – гладких и плоско-овальных оребренных труб из нержавеющей стали ( $\lambda = 30$  Вт/(м·К))

эффективность является самой низкой для гладкотрубных пучков из нержавеющей стали.

На рис. 5 приведена зависимость относительного объема водогрейного теплоутилизатора от температуры отходящих газов котла  $t_r^H$  в номинальном режиме. Как свидетельствуют полученные данные, относительный объем водогрейного теплоутилизатора при увеличении температуры  $t_r^H$  уменьшается, то есть теплоутилизаторы становятся более компактными. При этом указанное уменьшение является тем более значительным, чем ниже уровень температур дымовых газов  $t_r^H$  в номинальном режиме.

Важным является также то, что относительный объем  $V^*$  для гладкотрубных пучков из полимерных композитов и нержавеющей стали более чувствителен к изменению температуры  $t_r^H$ , чем для оребренных пучков. Так, если при росте температуры от 150 до 170°C величина  $V^*$  уменьшается для полимерного композита с  $\lambda = 30$  Вт/(м·К) на 5,2 м³/МВт, то для пучков с биметаллическими трубами – лишь на 2 м³/МВт.

Как видно из рис. 5, во всем исследуемом диапазоне температур  $t_r^H$  соотношение значений  $V^*$  для разных теплообменных поверхностей соответствует соотношению для зависимости  $V^* = f(t_{нв}^H)$  на рис. 3.

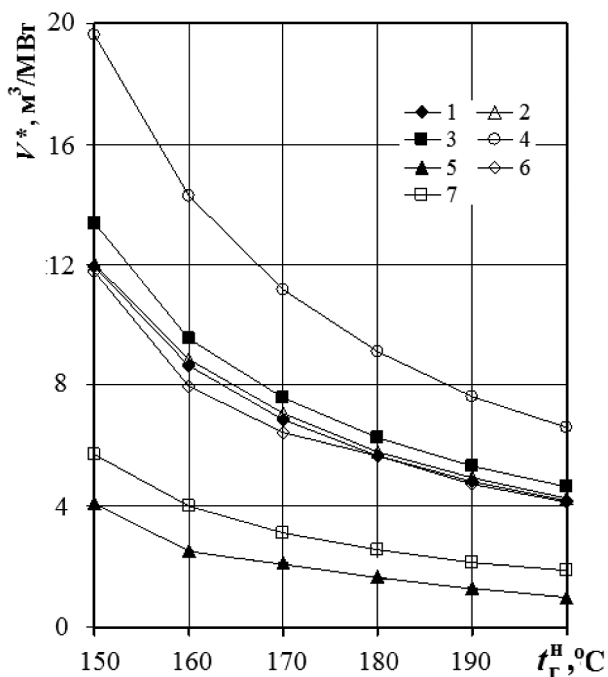


Рис. 5. Зависимость относительного объема  $V^*$  водонагревателя от температуры отходящих газов  $t_r^H$  в номинальном режиме котла при применении поверхностей теплообмена с различными пучками труб: 1–3 – из нанокompозитов на основе полиэтилена, наполненного УНТ ( $\lambda = 30, 5, 1$  Вт/(м·К)); 4 – из полиэтилена ( $\lambda = 0,2$  Вт/(м·К)); 5 – биметаллических оребренных труб ( $\lambda = 200$  Вт/(м·К) для алюминия и  $\lambda = 40$  Вт/(м·К) для углеродистой стали); 6, 7 – гладких и плоско-овальных оребренных труб из нержавеющей стали ( $\lambda = 30$  Вт/(м·К))

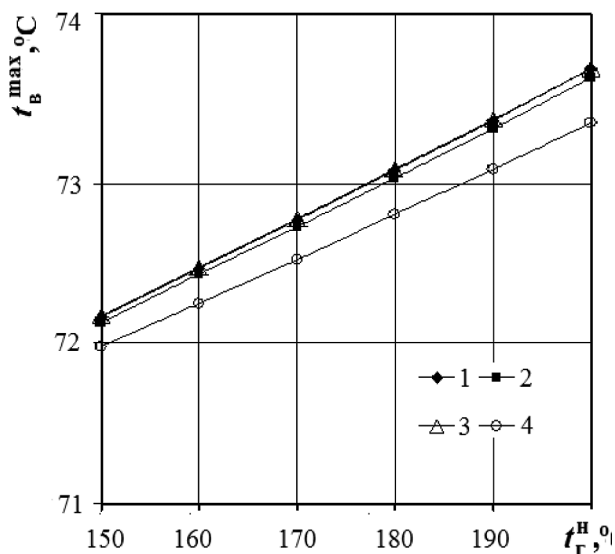


Рис. 6. Зависимость максимальной температуры поверхности теплообмена водонагревателя  $t_v^{\max}$  от температуры  $t_r^H$  отходящих газов котла в номинальном режиме котла при применении поверхностей теплообмена из нанокompозитов с различными коэффициентами теплопроводности  $\lambda$ : 1 –  $\lambda = 30$  Вт/(м·К), 2 –  $5$  Вт/(м·К), 3 –  $1$  Вт/(м·К), 4 –  $0,2$  Вт/(м·К)

С целью выбора полимерного композита для изготовления водогрейных теплоутилизаторов определялись максимальные значения температуры стенок их теплообменных поверхностей. Соответствующие данные приведены на рис. 6.

Как уже отмечалось, необходимые полимерные композиционные материалы следует выбирать, во-первых, исходя из того, что их максимальная температура эксплуатации должна превышать значения наибольшей температуры стенки теплообменной поверхности, и, во-вторых, коэффициент теплопроводности этих материалов должен определяться в соответствии с требованиями относительно необходимых значений определенных показателей таких поверхностей.

Как свидетельствуют результаты расчетов (см. рис. 6), максимальные значения температуры поверхности стенок водогрейных теплоутилизаторов относительно невысоки и близки к температуре нагреваемой воды. В диапазоне изменения температуры дымовых газов в номинальном режиме от 150 до 200°C указанные максимальные температуры не превышают 74°C. Для всех типов теплоутилизаторов из полимерных композитов имеет место незначительный рост максимальной температуры теплообменной поверхности с увеличением уровня температур  $t_r^H$ .

Из результатов выполненных расчетных исследований максимальных температур стенок водогрейных теплоутилизаторов следует, что в качестве матрицы для полимерных композитов может применяться полиэтилен с относительно низкой максимальной температурой эксплуатации (115°C). При этом значение коэффициента теплопроводности композита  $\lambda$ , равное 30 Вт/(м·К), может обеспечиваться при наполнении полиэтилена 4,1% УНТ, либо 5,9% микрочастиц меди. Величина  $\lambda = 5$  Вт/(м·К) отвечает наполнению полимерной матрицы 2,1% УНТ, 2,6% микрочастиц алюминия или 2,5% микрочастиц меди. Для получения значения  $\lambda$  композита, равного 1 Вт/(м·К), полиэтилен должен быть наполнен 1,6% УНТ, 2,1% микрочастицами алюминия, либо 2,0% меди.

Таким образом, как свидетельствуют результаты выполненных исследований, водогрейные теплоутилизаторы из полимерных микро- и нанокompозитов обладают целым рядом преимуществ в сравнении с традиционно используемыми теплоутилизаторами.

### Выводы

1. Газоводяные теплоутилизаторы из полимерных микро- и нанокompозитов в сравнении с традиционными аналогами из нержавеющей стали характеризуются при прочих равных условиях существенно более высокой тепловой эффективностью по такому показателю, как удельная теплопроизво-

дительность (теплопроизводительность утилизатора на единицу массы).

2. Повышение удельной теплопроизводительности газовой воды теплоутилизаторов с ростом температуры отходящих газов котла в номинальном режиме является наиболее значительным для трубных пучков из полимерных микро- и нанокомпози- тов в сопоставлении с утилизаторами из тради- ционно используемых материалов.

3. Газоводяные теплоутилизаторы из полимер- ных микро- и нанокомпози- тов по компактности уступают теплоутилизаторам из оребренных труб и сопоставимы по данному показателю с аналога- ми из нержавеющей стали.

4. Наибольшие значения температуры рабочей поверхности газовой воды теплоутилизаторов не превышают максимальную температуру эксплуа- тации полимерных микро- и нанокомпози- тов на основе полиэтилена. При этом в качестве наполни- телей могут быть использованы высокотеплопро- водные углеродные нанотрубки и микрочастицы меди или алюминия при их массовой доле, не пре- вышающей 6%.

### Литература

- [1] Diaz-Bleis D. Thermal characterization of magnetically aligned carbonyl iron/agar composites/ D. Diaz-Bleis, C. Vales-Pinzón, Y. Freile-Peigrín, J. J. Alvarado-Gil. – Carbohydrate Polymers. – 2014. – Vol. 99. – P. 84–90.
- [2] Samanvaya S. Polymer–Particle Composites: Phase Stability and Applications in Electrochemical Energy Storage/ Samanvaya Srivastava, Jennifer L. Schaefer, Zichao Yang, Zhengyuan Tu and Lynden A. Archer. – Advanced Material. – 2014. – Vol. 26. – P. 201–234.
- [3] Parvathalu K. Studies of Electrical and Thermal Con- ductivities of Sheared Multi-Walled Carbon Nanotube with Isotactic Polypropylene Polymer Composites/ Parvathalu Kalakonda, Yanial Cabrera, Robert Judith, Georgi Y. Georgiev, Peggy Cebe and Germano S. Ian- nacchione. – Nanomaterials and Nanotechnology. – 2015. – Vol. 5. – P. 1–7.
- [4] Kingshuk D. Utilization of Conducting Polymers in Fabricating Polymer Electrolyte Membranes for Application in Direct Methanol Fuel Cells/ Kingshuk Dutta, Piyush Kumar, Suparna Das and Patit P. Kun- du. – Polymer Reviews. – 2014. – Vol. 54. – P. 1–32.
- [5] Долинский А. А. Теплофизические характеристики высокотеплопроводных полимерных микро- и нано- компози- тов / А. А. Долинский, Н. М. Фиалко, Р. В. Дин- жос, Р. А. Навродская // Промышленная теплотех- ника. – 2015. – № 5. – С. 5–15.
- [6] Письменный Е. Н. Новые эффективные развитые поверхности теплообмена для решения задач энерго- и ресурсосбережения / Е. Н. Письменный // Промыш- ленная теплотехника. – 2007. – Т. 29, № 5. – С. 7–16.

*Fialko N. M.<sup>1</sup>, Navrodskaia R. A.<sup>1</sup>, Dinjos R. V.<sup>2</sup>, Prokopov V. G.<sup>1</sup>, Meranova N. O.<sup>1</sup>, Shevchuk S. I.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine. Ukraine, Kiev

<sup>2</sup> Nikolaev National University named after V. A. Sukhomlinsky. Ukraine, Nikolaev

### ANALYSIS OF EFFICIENCY OF USING OF POLYMERIC MICRO- AND NANOCOMPOSITES FOR GAS-WATER HEAT-EXCHANGE APPARATUSES

*The results of a comparative analysis of the efficiency of the use of polymeric micro- and nanocomposites and the traditionally used materials for the heat exchange surfaces of heat utilizer units are presented. The data of comparison of the surfaces under consideration on such characteristics as their heat productivity per unit mass, volume per unit of utilized heat, etc. are given. Effects of different regime parameters of heat utilizer units on referred above characteristics are determined. It is shown that the heat exchange surface of the developed micro- and nanocomposites has a number of advantages in comparison with traditional analogs. [dx.doi.org/10.29010/080.3]*

*Keywords:* polymer micro- and nanocomposites; heat exchange surfaces; gas-water heat exchangers.

### References

- [1] Diaz-Bleis D. Thermal characterization of magnetically aligned carbonyl iron/agar composites/ D. Diaz-Bleis, C. Vales-Pinzón, Y. Freile-Peigrín, J. J. Alvarado-Gil. – Carbohydrate Polymers. – 2014. – Vol. 99. – P. 84–90.

- [2] Samanvaya S. Polymer–Particle Composites: Phase Stability and Applications in Electrochemical Energy Storage/ Samanvaya Srivastava, Jennifer L. Schaefer, Zichao Yang, Zhengyuan Tu and Lynden A. Archer. – *Advanced Material*. – 2014. – Vol. 26. – P. 201–234.
- [3] Parvathalu K. Studies of Electrical and Thermal Conductivities of Sheared Multi-Walled Carbon Nanotube with Isotactic Polypropylene Polymer Composites/ Parvathalu Kalakonda, Yanial Cabrera, Robert Judith, Georgi Y. Georgiev, Peggy Cebe and Germano S. Iannacchione. – *Nanomaterials and Nanotechnology*. – 2015. – Vol. 5. – P. 1–7.
- [4] Kingshuk D. Utilization of Conducting Polymers in Fabricating Polymer Electrolyte Membranes for Application in Direct Methanol Fuel Cells/ Kingshuk Dutta, Piyush Kumar, Suparna Das and Patit P. Kundu. – *Polymer Reviews*. – 2014. – Vol. 54. – P. 1–32.
- [5] Dolinsky A. A. Thermophysical characteristics of high-conductivity polymeric micro- and nanocomposites /Dolinsky A. A., Fialko N. M., Dinjos R. V., Navrodszkaya R. A. // *Industrial Heat Engineering*. – 2015. – N. 5. – P. 5–15. (Rus)
- [6] Pismennyi E. N. New effective developed heat exchange surfaces for solving energy and resource saving problems / E. N. Pismennyi// *Industrial Heat Engineering*. – 2007. – N. 5. – P. 7–16. (Rus)