

# РЕЗЮМЕ НА НАУЧНИТЕ ТРУДОВЕ

на

гл. ас. д-р инж. Момчил Петров Василев

За участие в конкурс за заемане на академична длъжност „Доцент“, в област на висше образование: 5. Технически науки, професионално направление: 5.4. Енергетика, научна специалност: „Промислена топлотехника“, обявен в ДВ брой 103/06-12-2024 г.

Представените за конкурса материали включват: 1 монографичен (хабилитационен) труд; 24 научни публикации, две от които са в издания реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация; и 3 броя публикувани глави от колективна монография, едната от които е в съавторство.

## Резюме на монографичния труд

По настоящия конкурс кандидатът участва с:

- Монографичен труд на тема „Енергийна ефективност на промишлени системи“ в два тома. Монографичния труд е колективен, поради което кандидатът представя разделителен протокол за неговия принос - от стр. 19 до стр. 64 и от стр. 342 до стр. 402 на том 1 с ISBN 978-619-167-541-8 (мека корица) и 978-619-167-543-2 (електронен вариант).

### I. Монографичен труд

*Енергийна ефективност на промишлени системи: монография*, изд. на Технически Университет – София, ISBN 978-619-167-541-8 (мека корица) и 978-619-167-543-2 (електронен вариант).

**Резюме:** По данни на Евростат, България се нарежда на едно от крайните места в Европейският съюз по енергоемкост на производството. Това от една страна се дължи както на морално остарялото и енергоемко производствено оборудване в промишлените системи, така и недостатъчно доброто управление на процесите, свързани с производството, доставката, разпределението и преобразуване на енергия. Повишаването на енергийната ефективност в промишлените обекти води не само понижаване на себестойността на произведената продукция, но има съответния положителен екологичен ефект. Основната цел на колективния монографичен труд е да се представи иновативен подход при анализа на технологичните процеси, свързани с преноса, преобразуването и разпределението на енергия, като се посочат особеностите и спецификите при обследване на различни категории промишлени обекти и системи. За целта се решават задачи, свързани с набиране на първична информация за оценка на съществуващото състояние на енергопотреблението, сравнение с добрите Европейски практики за аналогичен тип производствени процеси и предложения за енергоспестяващи мерки с фокус върху понижаване на вредното въздействие върху околната среда. Използваният подход е в съответствие с действащи норми и стандарти и може успешно да се използва както от изследователи в областта, така и да бъде от полза на инженерната практика.

**В Глава 2** се прави анализ на основните принципи на топлообмена. Накратко се представят основните зависимости на различните видове топлообмен през и между различни тела, с цел използването им при анализа на различни топлотехнически процеси в индустриални системи и промишлени обекти. Възприетият подход за анализ на процесите в стационарна и нестационарна форма показва, че се явява ключов при избора на дадена енергоспестяваща мярка. С представеният математически апарат е възможен както „бърз“ анализ на редица топлотехнически процеси при използването на аналитични зависимости, така и задълбочени анализи на базата на критериални зависимости. Загатват се и специфики при използването на коефициенти, тясно свързани с моделирането на топлопреносни процеси при използването в изчислителната и приложна механика на флуидите. Правят се препоръки, относно затварянето на системи уравнения при решаването на различни инженерни задачи.

**В Глава 7, т. 7.6** се прави анализ на съвременните средства за пренос на топлина и маса между две среди. Топлообменните апарати (гл. 7.6.1) са едни от най-широко разпространените устройства за пренос на енергия, използвани в промишлените обекти. В тази глава се прави кратък анализ на особеностите на съвременните топлообменни апарати по отношение на геометричните специфики и вид на използваните топлоносители. Проведеният критичен анализ е с фокус не само върху ефективността на посочения тип апарати, но и тяхното въздействие върху околната среда. Основен е въпросът за избор на топлообменен апарат, поради което авторът нагледно прави представяне на проектната и проверочна задачи, като изборът зависи от метода и особеностите на задачата. Изборът на топлообменен апарат зависи от редица фактори, като значимостта на всеки е един от тях зависи от специфичните особености на приложение. За целта е разработен модул към съществуващ софтуерен пакет, които да улесни потребителя при избор на топлообменен апарат при съблюдаване на неговото функционално предназначение.

#### Приноси на монографичния труд

##### **Научно-приложни приноси:**

- Обобщени са аналитични и критериални зависимости за оценка на топлообмена при различни топлотехнически процеси в индустриални обекти и системи.
- Представена е опростена методика за оценка на ефективността на топлообменни апарати.
- Представена е методика за експресен анализ на ефективността на специфични топлотехнически процеси в индустрията.
- Показан е механизъм за пресмятане на пада на налягане в топлообменни апарати при протичане на еднофазни и двуфазни потоци.

##### **Инженерно-приложни приноси:**

- Създаден е модул към съществуващ софтуерен продукт за улеснение на потребителя при избор на топлообменни апарати.

# Резюме на научно-приложните приноси за представените научни публикации и глави от колективни монографии

## По показател Г7

Представените публикации по този показател попадат в обобщеното направление **Топлопренасяне и топлообменни апарати**

*Публикациите са съответно: Г7-1 и Г7-2. Основните научно-приложни приноси са:*

### ***Г7-1: Heat transfer performance of R1234yf for convective boiling in horizontal micro-fin and smooth tubes***

Анализирана е ефективността на топлообмена в хоризонтални тръби, при конвективно кипене на хладилния агент хидрофлуороолефин (HFO) R1234yf. За съставяне на карти на режимите на течението е използван изчислителен метод комбиниран с Matlab. Топлообменът и падът на налягане за R1234yf са анализирани и изчислени за едни и същи работни условия, при еднакъв външен диаметър на тръбата  $d_o = 9,52 \text{ mm}$ , но с различна вътрешната повърхност, едната е гладка, а другата с микроорребряване. Картите на режимите на течението са съставени при температура на насищане  $5^\circ\text{C}$ , с топлинен поток  $8,62 \text{ kW/m}^2$ . Режимът на спиралния поток се появява при много ниска плътност на масовия дебит и ниско паросъдържание, докато в гладката тръба при тези условия потокът все още е стратифициран вълнов. Сравнението на ефективността на топлообмена между микроорребрената и гладката тръба се оценява чрез коефициента на интензификация  $E$ , коефициента на загубите  $P$  и индекса на ефективност  $I$ . При плътност на масовия дебит от  $111$  до  $333 \text{ kg/m}^2\text{s}$  за температура на кипене  $5^\circ\text{C}$ , резултатите показват, че средните стойности са съответно:  $E = 2,18$ ;  $P = 1,45$  и  $I = 1,54$ . Въз основа на средната стойност на индекса на ефективност за целия работен диапазон на кипене в тази статия ( $I = 1.54$ ), може да се направи заключението, че микроорребрените тръби и гладките тръби с екологичния хладилен агент R1234yf са ценна замяна за изпарителите на топлообменниците. Установи се, че при паросъдържание "х" по-голямо от 80%, феноменът на изсушаване се проявява в гладките тръби, докато в микроорребрените тръби този феномен не се наблюдава.

### ***Г7-2: Verification and validation of a CFD model of a fixed regenerator for heat recovery from air***

Направена е проверка и валидиране на цифров модел на свързаните процеси на топло- и масообмен и аеродинамика в неподвижен регенератор тип „пчелна пита“ с

квадратни канали за възстановяване на топлина от отработения въздух на локална вентилационна система. Процесите в регенератора са симулирани посредством метода CFD. CFD моделът на регенеративен топлообменник с фиксирана матрица за децентрализирана вентилация на влажен въздух е със и без кондензация на водни пари по стените на каналите. Чрез симулации е изследвано как ефективността на регенератора се влияе от кондензацията и изпарението във въздуха. Изчисленията на топлинната ефективност и загубите на налягане на фиксирания регенератор са направени чрез известни аналитични модели и резултатите са сравнени с тези на числения модел. Сравняват се резултатите от симулациите на модела с експериментални данни и данни от референтни източници. Установи се, че CFD моделът на процесите в регенератора значително превъзхожда аналитичните модели не само по отношение на обхвата на граничните условия, но и по отношение на точността. Изчислителният модел е тестван с аналитични решения и потвърден с експериментални данни, като е установено, че резултатите от симулацията за влажен въздух без кондензация и изпарение са доста точни и надеждни. Резултатите от симулациите с фазов преход в каналите не са потвърдени, но моделът е верифициран с подобни решения. Те са ориентировъчни и показват, че намаляването на топлинната ефективност при използваните гранични условия е около 10% и зависи от топлинните свойства на материала на регенератора.

### **По показател Г8**

Представените публикации могат да се разделят в следните обобщени направления:

#### **1. Теплопренасяне и топлообменни апарати**

*В това направление попадат следните публикации: Г8-1, Г8-3, Г8-15, Г8-17, Г8-18 и Г8-19. Основните научно-приложни приноси са:*

***Г8-1: Към въпроса за интензификация на процеси в топлообменни апарати, работещи при режимни методи***

В работата са анализирани резултати при режимни (активни) методи на работа на топлообменни системи. С оглед прецизиране на протичащия топлообмен е въведен ексергийния к.п.д., който се явява по-нисък от термичния, поради това, че се отчитат термодинамичните загуби на системата.

***Г8-3: Един подход за определяне на крайните температури на потоците в системи от топлообменници***

Извършено е експериментално изследване за получаване на директни зависимости за определяне на крайните температури на горещия и студения поток при рекуперативни топлообменници без фазов преход на работните среди. Получените математични модели апроксимират с висока точност експерименталните данни. Същите

дават възможност за директно решаване на проверочната задача без да се познава стойността на коефициента на топлопреминаване, както се предлага в класическите алгоритми. Те са и ключ за решаване на проверочната задача за системи от топлообменници.

#### ***Г8-15: Матричен метод за анализ на системи от топлообменни апарати***

Матричен метод е адаптиран за анализ (изчисляване на статичен баланс) на системи от топлообменни апарати. Методът е реализиран като потребителски софтуер в програмната среда на MATLAB, като при софтуерната имплементация е приложена теорията на графите. За изчисляване на топлинния баланс е използван методът на преносните топлинни единици ( $\epsilon$ -NTU). Софтуерът позволява бързо моделиране и симулиране на системи от топлообменни апарати, при които специфичните топлинни капацитети на потоците могат да се приемат за постоянни.

#### ***Г8-17: Study about the Flow pattern map for convective boiling in smooth tube of refrigerant HFO R1234yf***

Прогнозиран е модела на потока за новия хладилен агент HFO R1234yf, въз основа на общата карта на моделите на потока за конвективно кипене с плътност на масовия дебит  $G$  [ $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ ] в зависимост от паросъдържанието  $x$  [-], по време на фазовия преход на наситения хладилен агент. Прилагайки модела на Wojtan et al 2005 и Zhuang et al 2016 за кипене, за да се построи картата за R1234yf, се класифицираха режимите на моделите на потока и преходната линия между тях. Режимът на напълно стратифициран поток е в диапазона на масовия дебит, по-малък от  $30 \text{ kg}/\text{m}^2\text{s}$  за целия диапазон на паросъдържанието. Режимът на стратифициран вълнообразен поток попада в диапазона на дебита от  $30$  до  $120 \text{ kg}/\text{m}^2\text{s}$ , при паросъдържание по-голямо от  $0,34$ . При по-висок масов дебит  $G > 120 \text{ kg}/\text{m}^2\text{s}$ , в диапазона на паросъдържанието  $x > 0,34$  се получава почти пръстеновиден поток. Феноменът на изсъхване се появява, когато паросъдържанието е около  $0,8$  до  $0,9$ . Накрая ще бъде сравнена картата на потока на два различни хладилни агента R134A и R1234yf.

#### ***Г8-18: Prediction the heat transfer coefficient for convective boiling of refrigerant HFO R1234yf in horizontal tube***

Направена е оценка на коефициента на топлопреминаване по време на фазов преход при конвективно кипене в хоризонтална гладка тръба за заместващия хладилен агент HFO R1234yf, като са използвани осреднени данни от някои налични корелации. Прогнозираният работен диапазон на конвективно кипене за R1234yf при  $5^\circ\text{C}$  с промяна на паросъдържанието  $x = [0,05-0,95]$ , топлинен поток  $q = 8,62 \text{ kW}/\text{m}^2$  и  $17,2 \text{ kW}/\text{m}^2$ , масов дебит  $G = [111-333] \text{ kg}/\text{m}^2\text{s}$ . Определяне на най-добрата корелация за прогнозиране на коефициента на топлопреминаване за R1234yf при анализ на грешката  $e\%$  между

резултата от корелацията със средния резултат от данните. И накрая се сравняват средните прогнозни данни за R1234yf и R134a.

### ***Г8-19: Prediction the pressure drop for convective boiling of refrigerant HFO R1234yf in horizontal tube***

При конвективно кипене в хоризонтална гладка тръба за новия хладилен агент HFO R1234yf, е осреднен пада на налягане на двуфазно течение, като е използван метод за прогнозиране. Прегледани и приложени са седем корелации за оценка на средната стойност на падането на налягането в работния диапазон на R1234yf, 5°C, с промяна на паросъдържанието  $x = [0,05-0,95]$ , топлинен поток  $q = 8,62 \text{ kW/m}^2$  и  $17,2 \text{ kW/m}^2$ , масов поток  $G = [111-333] \text{ kg/m}^2\text{s}$ . Анализът на грешките между резултатите от корелационните данни и средните данни показва, че корелациите на Muller Steinhagen и Heck 1986 и Quiben и Thome 2007 са най-добрите за използване със средна процентна грешка от 7% и 19% и стандартно отклонение от 19% и 7% съответно. В сравнение с R134a, падането на налягането на R1234yf е по-ниско с около 18%.

## **2. Енергийна ефективност на сгради**

*В това направление попадат следните публикации: Г8-2, Г8-14, Г8-20 и Г8-22. Основните научно-приложни приноси са:*

### ***Г8-2: Оползотворяване на геотермална вода за отопление на административни сгради в Кюстендил***

В работата са представени резултати за една от сградите (Хигия) участващи в проект Ecolinks "Намаляване на парниковите газове чрез използване на възобновяеми енергийни ресурси". Основната цел на проекта е разработване на енергиен и бизнес план за реконструкция на съществуващите отоплителни инсталации в две общински сгради в Кюстендил, за замяна на енергийния източник - течно гориво с геотермална вода. След детайлен енергиен одит, моделиране и симулиране на разхода на енергия, се разкриха и анализираха енергоспестяващи мерки за намаляване на потреблението на топлина за отопление в сградата. Чрез тях стана възможно редуциране на отоплителния товар, което се отрази пряко върху инвестициите за абонатна станция за геотермална вода, както и върху съхранението на запасите топлина с геотермалната вода (за осигуряване и на други потребители). След оценка на параметрите на наличната геотермална вода се разработи идеен проект за необходимата реконструкция на отоплителната инсталация, подходяща схема и оразмеряване на индиректна абонатна станция, оразмери се тръбна мрежа за топлоснабдяване на сградата с геотермална вода, и се предложи бизнес план за практическо реализиране на реконструкцията.

### ***Г8-14: Анализ на възможността за акумулиране на студ при климатизиране на сгради на търговски центрове в южен Виетнам***

Географското разположение на държавата Виетнам формира топъл и влажен климат, в резултат на който голяма част от потреблението на енергия в сградите е за охлаждане. Една от възможните мерки за спестяване на разходи за енергия в сгради е акумулиране на студа, използван в климатични инсталации. Акумулираният студ се произвежда в периода на деня когато цената на електричеството е най-ниска, а се консумира в часове от върховата зона в денонощието, когато цената на електричеството е висока и водоохлаждащите агрегати се изключват. В работата се анализира акумулирането на студ, като мярка за спестяване на разходи за енергия в търговски център, намиращ се в град Хошимин – южен Виетнам.

***Г8-20: Резултативно количество спестени емисии на въглероден диоксид при саниране на жилищна сграда при зимен режим***

Извършено е изследване за установяване на спестени вредни емисии при изпълнение на енергоефективни мерки за намаляване на разхода на енергия на жилищна сграда и за отделените емисии на въглероден диоксид за производството на топлинна изолация и дограма. Въпреки ограничеността на експеримента, резултатите показват влияние на дебелината на топлинната изолация върху спестени и вложени (отделените в атмосферата) емисии  $\text{CO}_2$ . При съществуващите нормативни изисквания за жилищни сгради, отделените емисии на въглероден диоксид при производство на топлинна изолация и нови стъклопакети е около 95 t, а спестените емисии за отопление на разглежданата сграда са 45 t за година. Тези резултати показват, че след втората година ще има реално спестяване на емисии  $\text{CO}_2$ . Ако се включат и емисиите отделени за транспорт и други съпътстващи разходи в производството (осветление, отопление и охлаждане в производствените помещения), резултатното спестяване би започнало след четвъртата или петата година. От изложеното е видно, че е рационално да се предприемат енергоефективни мерки за намаляване на енергията за отопление (и въглеродни емисии) при стари сгради.

***Г8-22: Някои аспекти при определяне на емисиите на парникови газове от сградни инсталации консумиращи гориво***

Анализиран е моделът, представен в нормативната уредба на България, за определяне на  $\text{CO}_2$  емисиите от сградни инсталации, използващи гориво като енергоносител. Установени са пропуски, които водят до значителни грешки в резултатите за някои от използваните горива. Един от факторите, който се използва за изчисление на емитираните количества въглероден диоксид, при изгаряне на различни ресурси, е коефициента на екологичен еквивалент и пропуските са свързани основно с него. За отстраняване на недостатъците се предлага коефициента на екологичен еквивалент  $K_{\text{CO}_2e}$  ( $\text{g CO}_2/\text{kWh}$ ) да се замени в модела със специфичния екологичен еквивалент  $K_{\text{CO}_2e}^f$  ( $\text{kgCO}_2/\text{kg}_{\text{fuel}}$ ). Представена е таблица със съответните стойности на предложения параметър.

### 3. Изследване на топлообмена, масообмена и енергийните характеристики на лабораторен реактор

В това направление попадат следните публикации: Г8-4, Г8-7 и Г8-8. Основните научно-приложни приноси са:

#### **Г8-4: Теплообмен при разбъркване в лабораторен реактор с нов тип разбъркващо устройство и хоризонтално навита серпентина**

Извършено е лабораторно изследване на топлообмена в реактор с обем 4 dm<sup>3</sup>, в който е инсталиран нов тип разбъркващо и аериращо устройство, и има хоризонтално навита тръбна серпентина. Измерва се топлообменът от страната на разбъркването  $\alpha_2 = f(Nu_2)$ . Опитите са провеждани при различни обороти на въртене, от  $n = 100$  до  $n = 1\ 200$  min<sup>-1</sup>. За съответните средни температури са отчитани критерият на Прандтл ( $Pr$ ) и вискозитетът на водата  $\mu$  и  $\mu_{ст}$ .

Получено е критериално уравнение от вида:

$$Nu_2 = 0,165 Re_6^{0,66} Pr^{0,33} \left( \frac{\mu}{\mu_{ст}} \right)$$
$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 D_{серп}}{\lambda}, W/m^2K$$

Направено е сравнение спрямо турбина „Ръштън“, за хоризонтално навита серпентина. Резултатът при турбина „Ръштън“ е приблизително с 21%, по-добър от получения в изследването, но при 2,5 пъти по-голям „нето“ разход за разбъркване, видно от енергийните характеристики на двете бъркачки  $K_N = Eu = f(Re_6)$ .

#### **Г8-7: Обемн коэффициент на масообмен $K_L a$ в лабораторен реактор с нов тип разбъркващо и аериращо устройство**

Изследван е масообмена (обемния коэффициент на масообмен  $K_L a$ ), който създава нов тип разбъркващо устройство и необходимата мощност за осъществяване на разбъркването. Изследването е осъществено в лабораторен реактор, чийто обем е 6 dm<sup>3</sup>, с вградена медна серпантина и отбойници, във водна среда.

Опитите са проведени при различни обороти на въртене, в обхвата от 800 до 1400 min<sup>-1</sup>.

Обемният коэффициент на масообмен се определя по зависимостта:

$$K_L a = \frac{\ln(C^* - C_0)}{\Delta\tau}, h^{-1}$$

където:

$C^*$  – достигнато максимално съдържание на разтворен газ, %;

$C_0$  – начално (минимално) съдържание на разтворен газ, %;



$\Delta t$  – време за насищане на работната среда (течността),  $h^{-1}$ .

Резултатите от измерванията са представени в табличен и графичен вид. Изследваното разбъркващо устройство, приложено в моделен реактор постига обменен коефициент на масообмен  $K_L a = 229 h^{-1}$ , при периферна скорост 4,8 m/s. По литературни данни, стандартната шест-лопаткова турбина тип "Ръштън" постига максимален коефициент на масообмен  $K_L a = 160 h^{-1}$ , при същата периферна скорост и специфична мощност  $P/V = 3,5 W/dm^3$ . Получените резултати дават основание да се направи извода, че изследваното разбъркващо устройство изпълнява условията за работоспособност и енергоспестяване и може да бъде използвано в биотехнологичното производство.

#### ***Г8-8: Влияние на броя и размера на отбойниците върху мощността за разбъркване в лабораторен реактор***

Проведено е лабораторно изследване за влиянието на броя и размерите на отбойниците върху мощността за разбъркване в лабораторен реактор. Изведени са прости уравнения подходящи за инженерната практика. Разбъркването е процес с широко приложение в химическата и биотехнологичната промишленост. В този процес важна характеристика за потреблението на енергия е мощността необходима за разбъркване. Тя е функция на много параметри: конфигурация и размери на реактора, вид и размери на разбъркващото устройство, свойства на разбъркваната среда и т.н.. В работа е изследвано влиянието на броя ( $N$ ) и размерите ( $Z$ ) на отбойниците върху необходимата мощност за разбъркване във водна среда. Получена е зависимостта на коефициента на мощността от числото на Рейнолдс  $K_N = f(Re)$ , както и обобщените зависимости  $K_N = f(N, Re)$  и  $K_N = f(Z, Re)$ . Апроксимационните уравнения са изведени във вида  $K_N = A N^B Re^C$  и  $K_N = A Z^B Re^C$ . Експериментът е проведен в областта на критерия на Рейнолдс над 15 000, като се предвижда изследванията да продължат в областта на ниска степен на турбулизация и в ламинарната област.

#### **4. Изследване на топлофизични и термодинамични свойства на вещества**

*В това направление попадат следните публикации: Г8-5, Г8-6, Г8-9, Г8-10, Г8-11 и Г8-12. Основните научно-приложни приноси са:*

##### ***Г8-5: Специфичен топлинен капацитет на метали***

Направен е анализ на проблема за определяне на специфичния топлинен капацитет основно на метали. Предложени са обобщени емпирични зависимости за определянето му при температури над  $0^\circ C$ , като за някои метали са представени съответните константи. Полученият израз за определяне на изобарния специфичен топлинен капацитет като функция на атомната маса може да се използва като източник на предварителна информация при разработване на нови материали и сплави.

### ***Г8-6: Приложение на изкуствени невронни мрежи при определяне на някои термодинамични свойства на озоново безопасни хладилни агенти***

Анализиран е хладилен агент от серията Isceon на DuPont™, като за представител на серията е избран MO29 (R422D). За сравнение на точността на моделиране с изкуствени невронни мрежи (ИНМ) е направена апроксимация на данните за налягането на насищане по линията на течността  $p'$  с традиционно уравнение от вида на уравнение:

$$\ln \frac{p'}{p_c} = \frac{T_c}{T} (n_1 \vartheta^a + n_2 \vartheta^b + n_3 \vartheta^c + n_4 \vartheta^d).$$

С помощта на ИНМ са апроксимирани налягането на насищане и плътността по лявата и дясната гранични криви за хладилен агент MO29 (R422D). За целта е конструирана ИНМ с обратно разпространение на грешката, състояща се от четири слоя, два от които са скрити. При тренировка на ИНМ, данните са рандомизирани, което ускорява обучението и се постига по-малка грешка. Обучението на ИНМ е извършено върху подмножество на входните данни. След тренировката са направени изчисления в целия диапазон и получените резултати са сравнени с изходните. Направено е сравнение на относителната грешка получена при апроксимация с описания термодинамичен модел и с помощта на ИНМ.

Направеният числен експеримент показва възможността за използване на ИНМ при апроксимацията на някои термодинамични свойства на хладилните агенти. Относителната грешка при използване на адекватен термодинамичен модел е под 0,1 %, но съставянето на модела и определянето на коефициентите е трудоемка дейност и изисква висока квалификация. Относителната грешка при апроксимация с ИНМ в работния диапазон от 210 К до непосредствена близост с критичната температура е от 0,5 до 1%, при разглежданите термодинамични величини, като апроксимацията с помощта на ИНМ е бърза (след първоначалната тренировка) и не изисква никаква специална квалификация.

### ***Г8-9: Изследвания термодинамических свойств геотермальных источников в Болгарии***

Изследвани са топлинният капацитет и налягането на насищане в зависимост от минералния състав на водата в изворите: КОМ, Горна Баня, Хисар и Девин. Изследването е проведено при изохорно нагряване и отчитане, нарастване на температурата с увеличаване на налягането в 1 bar. Главна особеност на минералните води в България е разнообразието на разтворени минерални вещества в тях. Като общи показатели се изтъкват концентрациите на флуорид, хидрокарбонатни и натриеви йони, значителното количество на метасилициева киселина, високата чистота на тези води по отношение на неорганичните йони на азота, стабилността им във времето и високите им дебити и температура, което прави възможно широкото им използване не само за балнеолечение, но и потреблението им и за други области. Резултатите показват че: 1)

изменението на температурата при изохорно загряване и при повишаване на налягането с 1 bar е почти еднакво за изследваните извори (разликата е до  $0,3^{\circ}\text{C}$ ); и 2) специфичният топлинен капацитет се зависи по-слабо от състава на водите и тяхната минерализация. За диапазона  $30\text{--}60^{\circ}\text{C}$  е предложено линейно уравнение за изчисляване на специфичния топлинен капацитет на изследваните минерални води и са представени съответните коефициенти.

#### ***Г8-10: Експериментална оценка на топлоизолационни свойства на нетъкани текстилни материали***

Изследването е насочено към проверка на една възможност за приложение на термовизионния анализ за оценка на топлоизолационните свойства на нетъкани текстилни материали. Нетъканите текстилни материали (НТМ) представляват площни текстилни изделия, получени посредством неklasически методи за свързване на влакна и настили (ватки) от влакна, нишки и други текстилни материали. Това са текстилни изделия, с техническо предназначение, което включва и приложението им като термоизолации в строителството, машиностроенето и конфекцията. За да се определят експериментално топлоизолационните качества на материалите е направена постановка, чрез която се пресмята как се променя коефициентът на топлопреминаване  $U$ ,  $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ . В резултат на извършената работа и получени експериментални резултати се избрани два материала получени от регенерирани влакна по метода иглонабиване. Те могат да се използват като добър топлинен изолатор при температура  $40\text{--}50^{\circ}\text{C}$ . Основното при избора на нетъкания текстил е обемната плътност на материала. Едновременно с това става възможно използване на текстилен отпадък за вътрешна термоизолация на жилища. Това подчертава потенциала на използването на тези промишлени отпадъци и може да допринесе за по-голяма икономическа устойчивост при строителството.

#### ***Г8-11: Някои аналитични зависимости за определяне на термодинамични свойства на вода***

Чрез регресионен анализ са получени аналитичните изрази за определяне на специфичната енталпия, масовия специфичен топлинен капацитет при постоянно налягане и плътността на водата. Тези изрази са предназначени за топлотехнически изчисления в инженерно-приложната област при използване на електронно-изчислителна техника за автоматизиране на пресмятанията. Полученият опростен аналитичен апарат за пресмятане на изброените параметри на водата е в температурния интервал  $0,01^{\circ}\text{C} \div 350^{\circ}\text{C}$  и налягане от  $611,66 \text{ Pa}$  до  $100 \text{ MPa}$ . По линията на насищане е представена зависимостта на температурата на насищане от налягането, в интервала  $611,66 \text{ Pa} \div 22 \text{ MPa}$ . За получените изрази е направена оценка на грешката, представена в табличен и графичен вид, където логично се наблюдава явно завишаване на отклоненията в областите намиращи се в близост до нулевата температура по Целзий и критичната точка на водата. Зависимостите за определяне на изброените свойства

могат да се използват в различни области на инженерната практика за посочените в работата интервали на температура и налягане.

#### ***Г8-12: Теплофизични свойства на въглероден оксид при ниско налягане***

Предложен е опростен аналитичен апарат за пресмятане на теплофизичните свойства на въглеродния оксид, в температурния интервал  $100^{\circ}\text{C} \div 1000^{\circ}\text{C}$ , при налягане равно или близко до атмосферното. Уравненията са за изчисляване на плътността, специфичния топлинен капацитет, топлопроводността и динамичния вискозитет. В работа са представени стойностите на коефициентите към съответните аналитични изрази. Направен е анализ на грешката, от който получените резултати са представени в табличен вид. Зависимостите за определяне на свойствата на въглероден оксид могат да се използват в различни области на инженерната практика за посочените температурни интервали при ниско налягане.

#### **5. Изследване на модули за енергопреобразуване на слънчева енергия и на фактори влияещи върху представянето им**

*В това направление попадат следните публикации: Г8-16 и Г8-21. Основните научно-приложни приноси са:*

#### ***Г8-16: Изследване на енергийните и аеродинамични характеристики на въздушен слънчев колектор в естествени условия***

Направено е изпитване на хибриден слънчев въздушен колектор за автономна вентилация на помещения в жилищни и производствени сгради. То беше проведено на полигона за възобновяеми енергийни източници в Технически университет – София. Изследвани са енергийните и аеродинамични характеристики на въздушен слънчев колектор (ВСК), комбиниран с фотоволтаичен панел за осигуряване на принудителна циркулация на пресния въздух през колектора към помещението. Освен че осигурява енергийна автономност, комбинацията от двата вида колектори води до своеобразен автомоделен режим на работа на системата, зависещ основно от интензитета на слънчевия топлинен поток, попаднал върху двата колектора. Изследването беше проведено в средата на месец май, в условията на силно променлива облачност и температури на атмосферния въздух вариращи в диапазона от  $15^{\circ}\text{C}$  до  $25^{\circ}\text{C}$ . Параметрите на климата се регистрираха от метрологичната станция към полигона, а данните от измерването на свойствата на въздушния поток през колектора, параметрите на вентилатора и температурата на абсорбера се записваха на всеки две секунди върху електронен носител. Резултатите от експеримента бяха обработени и обобщени. Поради липса на данни за поведението на подобни хибридни системи и установени критерии и модели за оценката им, беше разработена методика и форма за тяхното представяне с цел използване в практиката. Получените резултати от една страна бяха недостатъчни за окончателна оценка на енергийните характеристики на колектора, но от друга страна – достатъчни, за да се установят факторите влияещи съществено върху ефективността на

ВСК, да се планират допълнителните експерименти, да се създаде методика за оценка на енергийните и аеродинамични характеристики на колектора и формата на представянето им и да се направят изводи за тяхното подобряване. Натурният характер и условията на провеждане на експеримента дават добра реална представа за качествата и възможностите за използване на подобни системи в практиката.

***Г8-21: Относно замърсяването на работната повърхност на модули за енергопреобразуване на слънчева енергия***

Направен е преглед на основните въпроси, свързани със замърсяването на работните повърхности на слънчевите модули. Представени са особеностите, свързани с влиянието на замърсяването върху производителността на слънчевите системи, генерирането на аерозоли, преносът им във въздуха, процесите, механизмите и силите действащи, при натрупването на прах и различните фактори, имащи ефект върху замърсяването. Последните се отнасят до свойствата на замърсяването, заобикалящата среда, инсталационните и климатичните условия, характеристиките на модула и условията на експозиция. Публикацията запознава читателите с натрупването на прах върху работните повърхности и може да им помогне да разберат по-добре това явление. Влиянието на замърсяването върху работните повърхности на соларни модули много често не се отчита, а проблемът не е за подценяване. Изследването подчертава значението на това явление за работоспособността на соларните модули. Независимо от типа на използваната система – слънчеви термични колектори, фотоволтаични панели или системи за концентриране на слънчева енергия – замърсяването води до редукция на слънчевата радиация, достигаща до енергопреобразуващите елементи. Увеличаването на специфичната маса на натрупания слой води до намаляване на производителността на модулите, като по-малките частици формират по-плътен слой и намаляват пропускането на слънчева радиация. Различните типове прах имат различно въздействие, като най-голяма деградация се наблюдава при дървени въглища и пепел. Замърсяването влияе не само чрез засенчване, но и чрез корозия, надраскване и температурни ефекти.

**6. Изпитване на вентилатори с малка мощност**

*В това направление попада единствено публикацията Г8-13.*

***Г8-13: Лабораторно изпитване на осеви вентилатори с малка мощност***

Извършено е изпитване на осеви вентилатори с малка мощност, чрез снемане на дебитно-напорната характеристика  $P_s = f(Q)$ . Разработен е лабораторен стенд за измерване на: статичното налягане на вентилатора; обемния дебит на въздуха преминаващ през него и оборотите на работното колело на вентилатора. Стендът е подходящ за изпитване на битови вентилатори, съгласно стандарта АМСА 210. Използването на уреди за измерване на налягането и на дебита на въздушния поток, различни от посочените в стандарта, води до модифицирани схема на стенда и математичен модел за обработка на резултатите. Получени са дебитно-напорни

характеристики на серия от вентилаторни устройства, като средство за оценка на влиянието на различни фактори върху работата на устройствата. Получените резултати представляват интерес както за производителя, така и за потребителите на устройствата.

### По показател Г9

Представените разработки по този показател са глави от колективен монографичен труд „Енергийна ефективност на сгради : монография. Том 1“ ISBN: 978-619-167-515-9 (мека корица), ISBN 978-619-167-516-6 (e-book pdf) и „Енергийна ефективност на сгради : монография. Том 3“ ISBN: 978-619-167-519-7 (мека корица), ISBN 978- 619-167-520-3 (e-book pdf), и попадат в обобщеното направление **Енергийна ефективност на сгради**

*Те са съответно: Г9-1, Г9-2 и Г9-3. Основните научно-приложни приноси са:*

**Г9-1:** Главата от колективен монографичен труд е със заглавие „**1.4. Принципи на преноса на топлина. Теплопреминаване през строителни елементи. Особенности на коефициента на теплопреминаване ( $U$ -стойност,  $W/m^2K$ ) при различни конструктивни елементи на сградата. Референтни източници за изчисляване и/или отчитане на  $U$ -стойности**“. Направен е преглед на начините за пренос на топлина и са представени съответните аналитични зависимости за изчисляване на топлинния поток. Изчисляването на коефициента на теплопреминаване през ограждащите елементи на сгради има своите специфики, особено когато се касае за теплопреминаване от отопляемия обем до външен въздух, при което топлинният поток преминава по пътя си през неотопляеми пространства. Примери за това са теплопреминаването през покриви с неотопляемо въздушно пространство; през подови конструкции контактуващи с неотопляеми етажи и/или със земя.

Методът за определяне на коефициента на теплопреминаване през покривни конструкции на сгради залегнал в нормативната уредба на България от 2009 г. до настоящия момент е разработка на Момчил Василев (въз основа на топлинния баланс и на теорията за свободна конвекция в затворен газов слой). В главата от монографията е представена подробна методология за изчисление на стойността на  $U$  до външен въздух, при съществуващо състояние на сградата и при използване на референтни стойности към конкретна година от съответните действащи норми.

За подовите конструкции в нормативната уредба представеният аналитичен апарат е отнесен към общия случай, при който проекцията на подовата плоча над неотопляем подземен етаж съвпада с подовата плоча на подземния етаж, контактуваща със земната основа. Допълнително възникват много неясноти при необходимост от решаване на редица частни случаи. В главата от монографията са предложени уравнения, които дават решение на частните случаи и обхващат вариантите с различни подови плочи на и над неотопляем подземен етаж.

Изведени и представени са формули, по които се пресмятат коефициентите на топлопреминаване на стени и хоризонтални елементи, при едновременното им участие в топлопреминаването през неотопляеми пространства, който могат да бъдат покривни или подови конструкции.

Изчисляването на нормативни и референтни U-стойности, не е описано в нормативната уредба и представлява предизвикателство както за начинаещите, така и за някои от тези, които работят в сферата на енергийната ефективност. В тази връзка в края на главата са описани всички възможни случаи, при които е необходимо да се изчислят тези U-стойности, дадена е последователността за достигане до крайния резултат и са пояснени определени специфики за конкретни случаи.

**Г9-2:** Втората глава използвана от колективния монографичен труд, посочена в списъка към Г9, е в съавторство. Приносът на кандидата към нея е включен в първата част на заглавието, а именно „**1.7. Етапи, съдържание и особености на обследването за енергийна ефективност на сгради. Референтни източници на данни, систематизиране и документиране на изходните данни и резултатите. Анализ на чувствителността на резултатите.**“ В тази глава е предаден натрупания опит от автора, при участието му в екипно обследване за енергийна ефективност на над 100 сгради в България, с начало 2001 г. Систематизирани са задачите необходими за решаване при постигане на целта на дадено обследване. Изброени са основните етапи, които включва едно обследване и са подчертани съответните дейности към всеки от тях. Описани са детайлно особеностите, и допълнителните дейности, които е необходимо да се вземат предвид при извършване на обследване за енергийна ефективност. При извършване на дейностите по обследването се постига оптимизация чрез подходящото групиране на референтните източници на данни. Предложени са следните групи: съществуваща документация; огледи на обекта; интервюта на отговорните лица за сградата и персонала; и измервания. Пояснява се значимостта от привеждането в структуриран и систематизиран вид (подходящ за последващото изчисление на енергийните характеристики на сградата), на данните получени от документация, измервания и огледа на обекта. Предложена е конкретна таблица за използване, като удобна форма за получаване на информация и систематизиране на изходните данни за енергоносителите.

Анализът на чувствителността е позната техника на икономистите, но наблюденията са, че не се прилага в практиката при обследване на сгради. Въпреки, че при използване на наложилите се софтуер „Финансови изчисления“ на ЕНСИ („Economy software“ ENSI) анализът е трудоемък, в разработката се посочва важността на извършването на такъв вид оценка, в случаите при които резултатите зависят от допускания за ключови параметри, чието бъдещо изменение може да има значително влияние върху крайния резултат. Адаптацията на параметри, необходими при анализа за енергийна ефективност на сгради, обобщава двете групи параметри: 1) нетната сегашна

стойност (NPV), като критерий показващ рентабилността на дадено предложение; и 2) ключови параметри, изменящи се в даден интервал – инвестиционни разходи, потребна енергия за термопомпата, цени на енергоносители, реален лихвен процент и икономически живот.

*Г9-3:* В глава „1.16. Енергийно пасивни сгради и сгради с разход на енергия близо до нулата. Обвързаности и различия на концепциите. Национално законодателство, европейски стандарти и норми“ е направен анализ на стандартите и развитието на въпросите свързани с пасивните сгради за състоянието съответстващо към 2022 г. Стандартите „Passivhaus“ (на немски, идващо от неговия основател Волфганг Файст) не са задължителни за България. Те могат да се прилагат както за нови сгради, така и при обновяване на съществуващи сгради. За нови сгради съответният стандарт е „Passive House“, а за съществуващи предимно е „EnerPHit“. Има и алтернативен стандарт наречен „PHI Low Energy Building“, който се прилага когато за дадена сграда не са изцяло изпълнени критериите на предните стандарти по отношение на енергийната ефективност и комфорта. Освен детайлно представяне на стандартите, в главата са описани предимствата и спецификите на принципите на концепцията „Пасивна сграда“.

При обследването за енергийна ефективност на съществуващи сгради, с влизането през 2022 г. в сила на новата нормативна уредба, стана задължително да се предложи пакет от мерки, водещ до състояние на сградата съответстващо на определението за „Сграда с близко до нулата потребление на енергия“ (СБНПЕ). Извършено е задълбочено проучване на директивите на Европейския парламент и на Съвета, на указания към Делегиран регламент (ЕС), на законите и наредбите имащи отношение към СБНПЕ. Изяснен е въпросът за оптималните по отношение на разходите енергийни характеристики, изчислени по методиката за глобалните разходи (global costs). В разработката са направени пояснение към редица термини използвани в нормативната уредба. За по-голяма яснота и по-лесно възприемане, е направено графично представяне на националното определение за сграда с близко до нулата потребление на енергия. Изброени са най-често прилаганите системи за енергия от възобновяеми източници в областта на СБНПЕ.



# SUMMARY OF SCIENTIFIC WORKS

of

Chief Assistant Prof. Eng. Momchil Petrov Vassilev, PhD

For participation in a competition for the academic position of "Associate Professor",  
in the field of higher education: 5. Technical Sciences, professional direction:

5.4. Energy, scientific specialty: "Industrial Heat Engineering",  
announced in the State Gazette issue 103/06-12-2024

The materials presented for the competition include: 1 monographic (habilitation) work; 24 scientific publications, two of which are in journals referenced and indexed in world-renowned scientific information databases; and 3 published chapters from a collective monograph, one of which is co-authored.

## Summary of the monographic work

For the current competition, the candidate participates with:

- A monographic work titled "Energy Efficiency of Industrial Systems" in two volumes. The monographic work is collective, therefore the candidate presents a separation protocol for his contribution - from page 19 to page 64 and from page 342 to page 402 of volume 1 with ISBN 978-619-167-541-8 (soft cover) and 978-619-167-543-2 (e-book).

### I. Monographic work

*Energy Efficiency of Industrial Systems*: **monograph**, published by the Technical University of Sofia, ISBN 978-619-167-541-8 (soft cover) and 978-619-167-543-2 (e-book).

**Summary:** According to Eurostat data, Bulgaria ranks among the last in the European Union in terms of energy intensity of production. This is due, on the one hand, to the morally outdated and energy-intensive production equipment in industrial systems, and on the other hand, to the insufficiently good management of processes related to production, supply, distribution, and energy conversion. Increasing energy efficiency in industrial facilities not only reduces the cost of produced goods but also has a corresponding positive environmental effect. The main goal of the collective monographic work is to present an innovative approach to the analysis of technological processes related to the transfer, conversion, and distribution of energy, highlighting the peculiarities and specifics of examining different categories of industrial facilities and systems. To this end, tasks are solved related to gathering primary information for assessing the existing state of energy consumption, comparing it with good European practices for similar types of production processes, and proposing energy-saving measures with a focus on reducing the harmful impact on the environment. The approach used is in accordance with current norms and standards and can be successfully used by both researchers in the field and be of benefit to engineering practice.

**In Chapter 2**, an analysis of the basic principles of heat transfer is made. The main dependencies of different types of heat transfer through and between different bodies are briefly presented, with the aim of using them in the analysis of various heat engineering processes in industrial systems and facilities. The adopted approach for analyzing processes in both

stationary and non-stationary forms shows that it is key in choosing a particular energy-saving measure. The presented mathematical apparatus allows for both a "quick" analysis of a number of heat engineering processes using analytical dependencies and in-depth analyses based on criterion dependencies. Specifics are also hinted at when using coefficients closely related to modeling heat transfer processes in computational and applied fluid mechanics. Recommendations are made regarding the closure of systems of equations when solving various engineering tasks.

**In Chapter 7, section 7.6**, an analysis of modern means of heat and mass transfer between two media is made. Heat exchangers (section 7.6.1) are among the most widely used devices for energy transfer in industrial facilities. This chapter provides a brief analysis of the features of modern heat exchangers in terms of geometric specifics and the type of heat carriers used. The critical analysis focuses not only on the efficiency of the mentioned type of devices but also on their impact on the environment. The main issue is the choice of heat exchanger, which is why the author visually presents the design and verification tasks, with the choice depending on the method and specifics of the task. The choice of heat exchanger depends on a number of factors, the significance of each of which depends on the specific application features. To this end, a module has been developed for an existing software package to facilitate the user in choosing a heat exchanger while observing its functional purpose.

Contributions of the monographic work

**Scientific and applied contributions:**

- Analytical and criterion dependencies for evaluating heat transfer in various heat engineering processes in industrial facilities and systems have been summarized.
- A simplified methodology for evaluating the efficiency of heat exchangers has been presented.
- A methodology for rapid analysis of the efficiency of specific heat engineering processes in the industry has been presented.
- A mechanism for calculating the pressure drop in heat exchangers during the flow of single-phase and two-phase streams is shown.

**Engineering and applied contributions:**

- A module has been created for an existing software product to facilitate the user in choosing heat exchangers.

# Summary of the scientific and applied contributions of the presented scientific publications and chapters from collective monographs

## For indicator G7

The presented publications under this indicator fall into the generalized direction of **Heat Transfer and Heat Exchangers**

*The publications are respectively: G7-1 and G7-2. The main scientific and applied contributions are:*

### ***G7-1: Heat transfer performance of R1234yf for convective boiling in horizontal micro-fin and smooth tubes***

The efficiency of heat transfer in horizontal tubes during convective boiling of the refrigerant hydrofluoroolefin (HFO) R1234yf has been analyzed. A computational method combined with Matlab was used to create flow regime maps. Heat transfer and pressure drop for R1234yf were analyzed and calculated under the same operating conditions, with the same outer tube diameter  $d_o = 9.52$  mm, but with different inner surfaces, one smooth and the other micro-finned. Flow regime maps were created at a saturation temperature of  $5^\circ\text{C}$ , with a heat flux of  $8.62$  kW/m<sup>2</sup>. The spiral flow regime appears at very low mass flux density and low vapor quality, while in the smooth tube under these conditions, the flow is still stratified wavy. The comparison of heat transfer efficiency between the micro-finned and smooth tubes is evaluated through the intensification coefficient  $E$ , the loss coefficient  $P$ , and the efficiency index  $I$ . At a mass flux density of  $111$  to  $333$  kg/m<sup>2</sup>s for a boiling temperature of  $5^\circ\text{C}$ , the results show that the average values are respectively:  $E = 2.18$ ;  $P = 1.45$  and  $I = 1.54$ . Based on the average value of the efficiency index for the entire boiling range in this article ( $I = 1.54$ ), it can be concluded that micro-finned tubes and smooth tubes with the environmentally friendly refrigerant R1234yf are a valuable replacement for evaporators in heat exchangers. It was found that at a vapor quality "x" greater than 80%, the phenomenon of drying occurs in smooth tubes, while in micro-finned tubes this phenomenon is not observed.

### ***G7-2: Verification and validation of a CFD model of a fixed regenerator for heat recovery from air***

Verification and validation of a digital model of the associated processes of heat and mass transfer and aerodynamics in a fixed honeycomb regenerator with square channels for heat recovery from the exhaust air of a local ventilation system have been carried out. The processes in the regenerator were simulated using the CFD method. The CFD model of a regenerative heat exchanger with a fixed matrix for decentralized ventilation of humid air is with and without condensation of water vapor on the channel walls. Simulations were

conducted to investigate how the efficiency of the regenerator is affected by condensation and evaporation in the air. Calculations of the thermal efficiency and pressure losses of the fixed regenerator were made using known analytical models, and the results were compared with those of the numerical model. The simulation results of the model were compared with experimental data and data from reference sources. It was found that the CFD model of the processes in the regenerator significantly outperforms analytical models not only in terms of the range of boundary conditions but also in terms of accuracy. The computational model was tested with analytical solutions and confirmed with experimental data, showing that the simulation results for humid air without condensation and evaporation are quite accurate and reliable. The simulation results with phase transition in the channels were not confirmed, but the model was verified with similar solutions. They are indicative and show that the reduction in thermal efficiency under the used boundary conditions is about 10% and depends on the thermal properties of the regenerator material.

### **For indicator G8**

The presented publications can be divided into the following generalized directions:

#### **1. Heat Transfer and Heat Exchangers**

*In this direction, the following publications fall: G8-1, G8-3, G8-15, G8-17, G8-18, and G8-19. The main scientific and applied contributions are:*

***G8-1: On the issue of intensification of processes in heat exchangers operating under regime methods***

The results of regime (active) methods of operation of heat exchange systems are analyzed. To refine the ongoing heat exchange, the exergy efficiency is introduced, which is lower than the thermal efficiency due to the consideration of the thermodynamic losses of the system.

***G8-3: An approach for determining the final temperatures of the streams in heat exchanger systems***

An experimental study was conducted to obtain direct dependencies for determining the final temperatures of the hot and cold streams in recuperative heat exchangers without phase transition of the working media. The obtained mathematical models approximate the experimental data with high accuracy. They allow for the direct solution of the verification task without knowing the value of the heat transfer coefficient, as proposed in classical algorithms. They are also key to solving the verification task for heat exchanger systems.

***G8-15: Matrix method for analyzing systems of heat exchangers***

A matrix method has been adapted for analyzing (calculating the static balance) systems of heat exchangers. The method has been implemented as user software in the MATLAB

programming environment, applying graph theory in the software implementation. The method of heat transfer units ( $\epsilon$ -NTU) was used to calculate the heat balance. The software allows for quick modeling and simulation of systems of heat exchangers, where the specific heat capacities of the streams can be assumed to be constant.

***G8-17: Study about the Flow pattern map for convective boiling in smooth tube of refrigerant HFO R1234yf***

The flow pattern for the new refrigerant HFO R1234yf has been predicted based on the general flow pattern map for convective boiling with mass flux density  $G$  [ $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ ] depending on vapor quality  $x$  [-], during the phase transition of the saturated refrigerant. By applying the Wojtan et al. 2005 and Zhuang et al. 2016 models for boiling, the flow pattern map for R1234yf was constructed, classifying the flow pattern regimes and the transition line between them. The fully stratified flow regime is in the mass flux range below  $30 \text{ kg}/\text{m}^2\text{s}$  for the entire vapor quality range. The stratified wavy flow regime falls in the mass flux range from  $30$  to  $120 \text{ kg}/\text{m}^2\text{s}$ , at vapor quality greater than  $0.34$ . At higher mass flux  $G > 120 \text{ kg}/\text{m}^2\text{s}$ , in the vapor quality range  $x > 0.34$ , an almost annular flow occurs. The phenomenon of drying appears when the vapor quality is around  $0.8$  to  $0.9$ . Finally, the flow pattern map of two different refrigerants R134A and R1234yf will be compared.

***G8-18: Prediction the heat transfer coefficient for convective boiling of refrigerant HFO R1234yf in horizontal tube***

The heat transfer coefficient during the phase transition in convective boiling in a horizontal smooth tube for the replacement refrigerant HFO R1234yf has been evaluated using averaged data from some available correlations. The predicted operating range of convective boiling for R1234yf at  $5^\circ\text{C}$  with a change in vapor quality  $x = [0.05-0.95]$ , heat flux  $q = 8.62 \text{ kW}/\text{m}^2$  and  $17.2 \text{ kW}/\text{m}^2$ , mass flux  $G = [111-333] \text{ kg}/\text{m}^2\text{s}$ . Determining the best correlation for predicting the heat transfer coefficient for R1234yf by analyzing the error  $e\%$  between the correlation result and the average result from the data. Finally, the average predicted data for R1234yf and R134a are compared.

***G8-19: Prediction the pressure drop for convective boiling of refrigerant HFO R1234yf in horizontal tube***

For convective boiling in a horizontal smooth tube for the new refrigerant HFO R1234yf, the pressure drop of the two-phase flow has been averaged using a prediction method. Seven correlations were reviewed and applied to evaluate the average pressure drop in the operating range of R1234yf,  $5^\circ\text{C}$ , with a change in vapor quality  $x = [0.05-0.95]$ , heat flux  $q = 8.62 \text{ kW}/\text{m}^2$  and  $17.2 \text{ kW}/\text{m}^2$ , mass flux  $G = [111-333] \text{ kg}/\text{m}^2\text{s}$ . The error analysis between the correlation data results and the average data shows that the correlations of Muller Steinhagen and Heck 1986 and Quiben and Thome 2007 are the best to use with an average percentage error of  $7\%$  and  $19\%$  and a standard deviation of  $19\%$  and  $7\%$  respectively. Compared to R134a, the pressure drop of R1234yf is lower by about  $18\%$ .

## **2. Energy efficiency of buildings**

*In this direction, the following publications fall: G8-2, G8-14, G8-20, and G8-22. The main scientific and applied contributions are:*

### ***G8-2: Utilization of geothermal water for heating administrative buildings in Kyustendil***

The work presents results for one of the buildings (Hygia) participating in a project Ecolinks "Reducing greenhouse gases through the use of renewable energy resources". The main goal of the project is to develop an energy and business plan for the reconstruction of existing heating installations in two municipal buildings in Kyustendil, to replace the energy source - liquid fuel with geothermal water. After a detailed energy audit, modeling, and simulation of energy consumption, energy-saving measures were revealed and analyzed to reduce the heat consumption for heating the building. Through them, it became possible to reduce the heating load, which directly affected the investments for the geothermal water substation, as well as the storage of heat reserves with geothermal water (to provide for other users). After evaluating the parameters of the available geothermal water, a conceptual project was developed for the necessary reconstruction of the heating installation, a suitable scheme and sizing of an indirect substation, the pipeline network for heating the building with geothermal water was sized, and a business plan for the practical implementation of the reconstruction was proposed.

### ***G8-14: Analysis of the possibility of cold accumulation in air conditioning of buildings in shopping centers in southern Vietnam***

The geographical location of Vietnam forms a warm and humid climate, resulting in a large part of energy consumption in buildings being for cooling. One of the possible measures to save energy costs in buildings is the accumulation of cold used in air conditioning systems. The accumulated cold is produced during the period of the day when the electricity price is lowest and consumed during peak hours of the day when the electricity price is high and the chillers are turned off. The work analyzes the accumulation of cold as a measure to save energy costs in a shopping center located in Ho Chi Minh City - southern Vietnam.

### ***G8-20: Resultant amount of saved carbon dioxide emissions during the renovation of a residential building in winter mode***

A study was conducted to determine the saved harmful emissions when implementing energy efficiency measures to reduce energy consumption in a residential building and the emitted carbon dioxide emissions for the production of thermal insulation and windows. Despite the limited experiment, the results show the influence of the thickness of the thermal insulation on the saved and invested (emitted into the atmosphere) CO<sub>2</sub> emissions. Under the existing regulatory requirements for residential buildings, the emitted carbon dioxide emissions for the production of thermal insulation and new windows are about 95 t, and the saved

emissions for heating the considered building are 45 t per year. These results show that after the second year, there will be real savings in CO<sub>2</sub> emissions. If the emissions emitted for transport and other accompanying costs in production (lighting, heating, and cooling in production premises) are included, the resultant savings would start after the fourth or fifth year. From the above, it is clear that it is rational to undertake energy efficiency measures to reduce heating energy (and carbon emissions) in old buildings.

***G8-22: Some aspects of determining greenhouse gas emissions from building installations using fuel***

The model presented in the Bulgarian regulatory framework for determining CO<sub>2</sub> emissions from building installations using fuel as an energy carrier has been analyzed. Deficiencies have been identified that lead to significant errors in the results for some of the fuels used. One of the factors used to calculate the emitted amounts of carbon dioxide when burning different resources is the ecological equivalent coefficient, and the deficiencies are mainly related to it. To eliminate the shortcomings, it is proposed that the ecological equivalent coefficient  $K_{CO_2e}$  (g CO<sub>2</sub>/kWh) be replaced in the model with the specific ecological equivalent  $K_{CO_2e}^f$  (kgCO<sub>2</sub>/kg<sub>fuel</sub>). A table with the corresponding values of the proposed parameter is presented.

**3. Research on heat transfer, mass transfer, and energy characteristics of a laboratory reactor**

*In this direction, the following publications fall: G8-4, G8-7, and G8-8. The main scientific and applied contributions are:*

***G8-4: Heat transfer during stirring in a laboratory reactor with a new type of stirring device and horizontally wound coil***

A laboratory study of heat transfer in a reactor with a volume of 4 dm<sup>3</sup>, in which a new type of stirring and aerating device is installed, and has a horizontally wound coil. The heat transfer from the stirring side  $\alpha_2 = f(Nu_2)$  is measured. The experiments were conducted at different rotation speeds, from  $n = 100$  to  $n = 1,200 \text{ min}^{-1}$ . For the corresponding average temperatures, the Prandtl number (Pr) and the viscosity of the water  $\mu$  and  $\mu_s$  were recorded.

A criterion equation of the form:

$$Nu_2 = 0,165 Re_{st}^{0,66} Pr^{0,33} \left( \frac{\mu}{\mu_s} \right)$$

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 D_{coil}}{\lambda}, W/m^2K$$

A comparison was made with the Rushton turbine for a horizontally wound coil. The result with the Rushton turbine is approximately 21% better than the one obtained in the study,

but with 2.5 times higher "net" stirring cost, as seen from the energy characteristics of the two stirrers  $K_N = Eu = f(Re_{st})$ .

***G8-7: Volumetric mass transfer coefficient  $K_{La}$  in a laboratory reactor with a new type of stirring and aerating device***

The mass transfer (volumetric mass transfer coefficient  $K_{La}$ ) created by the new type of stirring device and the necessary power for stirring were investigated. The study was conducted in a laboratory reactor with a volume of 6 dm<sup>3</sup>, with an integrated copper coil and baffles, in a water medium.

The experiments were conducted at different rotation speeds, in the range of 800 to 1,400 min<sup>-1</sup>.

The volumetric mass transfer coefficient is determined by the dependency:

$$K_{La} = \frac{\ln(C^* - C_0)}{\Delta\tau}, h^{-1}$$

where:

$C^*$  – achieved maximum content of dissolved gas, %;

$C_0$  – initial (minimum) content of dissolved gas, %;

$\Delta\tau$  – time for saturation of the working medium (liquid), h<sup>-1</sup>.

The measurement results are presented in tabular and graphical form. The investigated stirring device, applied in a model reactor, achieves a volumetric mass transfer coefficient  $K_{La} = 229 h^{-1}$ , at a peripheral speed of 4.8 m/s. According to literature data, the standard six-blade Rushton turbine achieves a maximum mass transfer coefficient  $K_{La} = 160 h^{-1}$ , at the same peripheral speed and specific power  $P/V = 3.5 W/dm^3$ . The obtained results provide grounds to conclude that the investigated stirring device meets the conditions for operability and energy saving and can be used in biotechnological production.

***G8-8: Influence of the number and size of baffles on the power for stirring in a laboratory reactor***

A laboratory study was conducted to investigate the influence of the number and size of baffles on the power for stirring in a laboratory reactor. Simple equations suitable for engineering practice were derived. Stirring is a process widely used in the chemical and biotechnological industries. In this process, an important characteristic for energy consumption is the power required for stirring. It is a function of many parameters: configuration and dimensions of the reactor, type and dimensions of the stirring device, properties of the stirred medium, etc. The study investigated the influence of the number (N) and size (Z) of baffles on the required power for stirring in a water medium. The dependency of the power coefficient on the Reynolds number  $K_N = f(Re)$  was obtained, as well as the generalized dependencies  $K_N = f(N, Re)$  and  $K_N = f(Z, Re)$ . The approximation equations were derived in the form  $K_N =$



$A N^B Re^C$  and  $K_N = A Z^B Re^C$ . The experiment was conducted in the Reynolds number range above 15,000, with plans to continue the research in the low turbulence and laminar regions.

#### **4. Research on thermophysical and thermodynamic properties of substances**

*In this direction, the following publications fall: G8-5, G8-6, G8-9, G8-10, G8-11, and G8-12. The main scientific and applied contributions are:*

##### ***G8-5: Specific heat capacity of metals***

An analysis of the problem of determining the specific heat capacity of metals was made. General empirical dependencies for determining it at temperatures above 0°C were proposed, with the corresponding constants presented for some metals. The obtained expression for determining the isobaric specific heat capacity as a function of atomic mass can be used as a source of preliminary information in the development of new materials and alloys.

##### ***G8-6: Application of artificial neural networks in determining some thermodynamic properties of ozone-safe refrigerants***

A refrigerant from the Isceon series by DuPont™ was analyzed, with MO29 (R422D) chosen as the representative of the series. To compare the accuracy of modeling with artificial neural networks (ANN), an approximation of the saturation pressure data along the liquid line  $p'$  was made using a traditional equation of the form:

$$\ln \frac{p'}{p_c} = \frac{T_c}{T} (n_1 \vartheta^a + n_2 \vartheta^b + n_3 \vartheta^c + n_4 \vartheta^d).$$

Using ANN, the saturation pressure and density along the left and right boundary curves for the refrigerant MO29 (R422D) were approximated. For this purpose, an ANN with backpropagation of error was constructed, consisting of four layers, two of which are hidden. During the training of the ANN, the data were randomized, which accelerated the training and achieved a smaller error. The training of the ANN was performed on a subset of the input data. After the training, calculations were made over the entire range, and the obtained results were compared with the output data. A comparison of the relative error obtained during approximation with the described thermodynamic model and using ANN was made.

The numerical experiment showed the possibility of using ANN in the approximation of some thermodynamic properties of refrigerants. The relative error when using an adequate thermodynamic model is below 0.1%, but the creation of the model and determination of the coefficients is labor-intensive and requires high qualification. The relative error during approximation with ANN in the working range from 210 K to close to the critical temperature is from 0.5 to 1%, for the considered thermodynamic quantities, with the approximation using ANN being fast (after initial training) and not requiring any special qualification.

##### ***G8-9: Research on the thermodynamic properties of geothermal sources in Bulgaria***

The heat capacity and saturation pressure depending on the mineral composition of the water in the springs: KOM, Gorna Banyan, Hisar, and Devin were investigated. The study was conducted under isochoric heating and recording, with the temperature increasing with the pressure rising by 1 bar. The main feature of mineral waters in Bulgaria is the diversity of dissolved mineral substances in them. Common indicators include concentrations of fluoride, bicarbonate, and sodium ions, significant amounts of metasilicic acid, high purity of these waters concerning inorganic nitrogen ions, their stability over time, and high flow rates and temperatures, making them widely usable not only for balneotherapy but also for other areas. The results show that: 1) the temperature change during isochoric heating and pressure increase by 1 bar is almost the same for the investigated springs (the difference is up to 0.3°C); and 2) the specific heat capacity depends less on the composition of the waters and their mineralization. For the range 30÷60°C, a linear equation for calculating the specific heat capacity of the investigated mineral waters was proposed, and the corresponding coefficients were presented.

***G8-10: Experimental evaluation of the thermal insulation properties of nonwoven textile materials***

The study aimed to test the possibility of using thermographic analysis to evaluate the thermal insulation properties of nonwoven textile materials. Nonwoven textile materials (NTM) are flat textile products obtained by non-classical methods of bonding fibers and layers (batts) of fibers, threads, and other textile materials. These are textile products with technical purposes, including their application as thermal insulations in construction, mechanical engineering, and clothing. To experimentally determine the thermal insulation qualities of the materials, a setup was made to calculate how the heat transfer coefficient  $U$ ,  $W/m^2K$  changes. As a result of the work done and the experimental results obtained, two materials made from regenerated fibers using the needle-punch method were selected. They can be used as good thermal insulators at temperatures of 40-50°C. The main criterion for choosing nonwoven textiles is the bulk density of the material. At the same time, it becomes possible to use textile waste for internal thermal insulation of homes. This highlights the potential of using these industrial wastes and can contribute to greater economic sustainability in construction.

***G8-11: Some analytical dependencies for determining the thermodynamic properties of water***

Analytical expressions for determining the specific enthalpy, mass-specific heat capacity at constant pressure, and density of water were obtained through regression analysis. These expressions are intended for heat engineering calculations in the engineering-applied field using electronic computing equipment to automate the calculations. The obtained simplified analytical apparatus for calculating the listed parameters of water is in the temperature range 0.01°C ÷ 350°C and pressure from 611.66 Pa to 100 MPa. Along the saturation line, the dependency of the saturation temperature on the pressure is presented in the

range 611.66 Pa ÷ 22 MPa. An error assessment was made for the obtained expressions, presented in tabular and graphical form, where a clear increase in deviations is observed in areas close to the zero Celsius temperature and the critical point of water. The dependencies for determining the listed properties can be used in various areas of engineering practice for the specified temperature and pressure ranges.

***G8-12: Thermophysical properties of carbon monoxide at low pressure***

A simplified analytical apparatus for calculating the thermophysical properties of carbon monoxide in the temperature range 100°C ÷ 1,000°C at pressure equal to or close to atmospheric pressure was proposed. The equations are for calculating density, specific heat capacity, thermal conductivity, and dynamic viscosity. The work presents the values of the coefficients for the corresponding analytical expressions. An error analysis was made, and the obtained results are presented in tabular form. The dependencies for determining the properties of carbon monoxide can be used in various areas of engineering practice for the specified temperature ranges at low pressure.

**5. Research on modules for solar energy conversion and factors affecting their performance**

*In this direction, the following publications fall: G8-16 and G8-21. The main scientific and applied contributions are:*

***G8-16: Study of the energy and aerodynamic characteristics of an air solar collector under natural conditions***

A test of a hybrid solar air collector for autonomous ventilation of premises in residential and industrial buildings was conducted. It was carried out at the renewable energy sources testing ground at the Technical University of Sofia. The energy and aerodynamic characteristics of an air solar collector (ASC), combined with a photovoltaic panel to ensure forced circulation of fresh air through the collector to the room, were studied. In addition to providing energy autonomy, the combination of the two types of collectors leads to a self-regulating mode of operation of the system, mainly depending on the intensity of the solar heat flux incident on both collectors. The study was conducted in mid-May, under conditions of highly variable cloudiness and atmospheric air temperatures ranging from 15°C to 25°C. The climate parameters were recorded by the meteorological station at the testing ground, and the data from the measurement of the air flow properties through the collector, the fan parameters, and the absorber temperature were recorded every two seconds on an electronic medium. The results of the experiment were processed and summarized. Due to the lack of data on the behavior of such hybrid systems and established criteria and models for their evaluation, a methodology and form for their presentation were developed for practical use. The obtained results were insufficient for a final assessment of the energy characteristics of the collector, but sufficient to identify the factors significantly affecting the efficiency of the ASC, to plan additional experiments, to create a methodology for evaluating the energy and aerodynamic characteristics

of the collector and the form of their presentation, and to make conclusions for their improvement. The natural character and conditions of the experiment provide a good real idea of the qualities and possibilities for using such systems in practice.

***G8-21: On the pollution of the working surface of solar energy conversion modules***

A review of the main issues related to the pollution of the working surfaces of solar modules was made. The peculiarities related to the impact of pollution on the performance of solar systems, the generation of aerosols, their transport in the air, the processes, mechanisms, and forces acting during the accumulation of dust, and the various factors affecting pollution were presented. These factors relate to the properties of the pollution, the surrounding environment, installation and climatic conditions, module characteristics, and exposure conditions. The publication introduces readers to the accumulation of dust on working surfaces and can help them better understand this phenomenon. The impact of pollution on the working surfaces of solar modules is often not taken into account, and the problem should not be underestimated. The study emphasizes the importance of this phenomenon for the operability of solar modules. Regardless of the type of system used – solar thermal collectors, photovoltaic panels, or solar energy concentration systems – pollution leads to a reduction in solar radiation reaching the energy conversion elements. Increasing the specific mass of the accumulated layer leads to a decrease in the performance of the modules, with smaller particles forming a denser layer and reducing the transmission of solar radiation. Different types of dust have different impacts, with the greatest degradation observed with charcoal and ash. Pollution affects not only through shading but also through corrosion, scratching, and thermal effects.

**6. Testing of low-power fans**

*In this direction, only publication G8-13 falls:*

***G8-13: Laboratory testing of axial low-power fans***

Testing of axial low-power fans was carried out by recording the flow-pressure characteristic  $P_s = f(Q)$ . A laboratory stand for measuring the static pressure of the fan, the volumetric flow rate of the air passing through it, and the rotational speed of the fan impeller was developed. The stand is suitable for testing household fans according to the AMCA 210 standard. The use of instruments for measuring pressure and air flow rate different from those specified in the standard leads to a modified stand scheme and a mathematical model for processing the results. Flow-pressure characteristics of a series of fan devices were obtained as a means of evaluating the influence of various factors on the operation of the devices. The obtained results are of interest to both the manufacturer and the users of the devices.

**For indicator G9**

The presented developments under this indicator are chapters from the collective monographic work "*Energy Efficiency of Buildings: Monograph. Volume 1*" ISBN: 978-619-

167-515-9 (soft cover), ISBN 978-619-167-516-6 (e-book pdf) and "Energy Efficiency of Buildings: Monograph. Volume 3" ISBN: 978-619-167-519-7 (soft cover), ISBN 978-619-167-520-3 (e-book pdf), and fall into the generalized direction of **Energy Efficiency of Buildings**.

They are respectively: G9-1, G9-2, and G9-3. The main scientific and applied contributions are:

**G9-1:** The chapter from the collective monographic work is titled "**1.4. Principles of heat transfer. Heat transfer through building elements. Peculiarities of the heat transfer coefficient (U-value,  $W/m^2K$ ) for different structural elements of the building. Reference sources for calculating and/or accounting for U-values**". A review of the methods of heat transfer and the corresponding analytical dependencies for calculating the heat flux was made. The calculation of the heat transfer coefficient through the building envelope elements has its specifics, especially when it comes to heat transfer from the heated volume to the outside air, where the heat flux passes through unheated spaces. Examples include heat transfer through roofs with unheated air space; through floor structures in contact with unheated floors and/or the ground.

The method for determining the heat transfer coefficient through building roof structures, included in the Bulgarian regulatory framework since 2009, is a development by Momchil Vasilev (based on the heat balance and the theory of free convection in a closed gas layer). The chapter of the monograph presents a detailed methodology for calculating the U-value to the outside air, for the existing state of the building and using reference values for a specific year from the relevant current norms.

For floor structures, the presented analytical apparatus in the regulatory framework is related to the general case where the projection of the floor slab above the unheated basement coincides with the floor slab of the basement in contact with the ground. Additionally, many uncertainties arise when it is necessary to solve a number of specific cases. The chapter of the monograph proposes equations that provide solutions to specific cases and cover variants with different floor slabs on and above the unheated basement.

Formulas for calculating the heat transfer coefficients of walls and horizontal elements, when they simultaneously participate in heat transfer through unheated spaces, which can be roof or floor structures, are derived and presented.

The calculation of normative and reference U-values is not described in the regulatory framework and represents a challenge for both beginners and some of those working in the field of energy efficiency. In this regard, at the end of the chapter, all possible cases where it is necessary to calculate these U-values are described, the sequence for reaching the final result is given, and certain specifics for specific cases are explained.

**G9-2:** The second chapter used from the collective monographic work, listed under G9, is co-authored. The candidate's contribution to it is included in the first part of the title, namely

**"1.7. Stages, content, and peculiarities of energy efficiency audits of buildings. Reference sources of data, systematization, and documentation of input data and results. Sensitivity analysis of results"**. This chapter conveys the accumulated experience of the author, participating in team energy efficiency audits of over 100 buildings in Bulgaria, starting in 2001. The tasks necessary to achieve the goal of a given audit are systematized. The main stages included in an audit are listed, and the corresponding activities for each of them are highlighted. The peculiarities and additional activities that need to be taken into account when conducting an energy efficiency audit are described in detail. During the audit activities, optimization is achieved by appropriately grouping the reference sources of data. The following groups are proposed: existing documentation; site inspections; interviews with responsible persons for the building and staff; and measurements. The importance of structuring and systematizing the data obtained from documentation, measurements, and site inspections in a form suitable for subsequent calculation of the building's energy characteristics is explained. A specific table for use is proposed as a convenient form for obtaining information and systematizing the input data for energy carriers.

Sensitivity analysis is a technique known to economists, but observations show that it is not applied in practice during building audits. Although using the established "Financial Calculations" software by ENSI ("Economy software" ENSI) makes the analysis labor-intensive, the development points out the importance of performing such an assessment in cases where the results depend on assumptions about key parameters, whose future changes may significantly influence the final result. The adaptation of parameters necessary for the energy efficiency analysis of buildings summarizes the two groups of parameters: 1) net present value (NPV), as a criterion showing the profitability of a given proposal; and 2) key parameters changing within a given range – investment costs, energy consumption for the heat pump, energy carrier prices, real interest rate, and economic life.

**G9-3:** In the chapter **"1.16. Energy passive buildings and nearly zero-energy buildings. Interconnections and differences of the concepts. National legislation, European standards, and norms"**, an analysis of the standards and development of issues related to passive buildings for the state corresponding to 2022 was made. The "Passivhaus" standards (in German, coming from its founder Wolfgang Feist) are not mandatory for Bulgaria. They can be applied to both new buildings and the renovation of existing buildings. For new buildings, the corresponding standard is "Passive House", and for existing buildings, it is mainly "EnerPHit". There is also an alternative standard called "PHI Low Energy Building", which is applied when the criteria of the previous standards regarding energy efficiency and comfort are not fully met for a given building. In addition to a detailed presentation of the standards, the chapter describes the advantages and specifics of the principles of the "Passive House" concept.

When conducting energy efficiency audits of existing buildings, with the entry into force of the new regulatory framework in 2022, it became mandatory to propose a package of measures leading to a state of the building corresponding to the definition of a "Nearly Zero-

Energy Building" (nZEB). A thorough study of the directives of the European Parliament and the Council, the guidelines to the Delegated Regulation (EU), the laws, and regulations related to nZEB was conducted. The issue of cost-optimal energy characteristics, calculated using the global cost methodology, was clarified. The development provides explanations for a number of terms used in the regulatory framework. For greater clarity and easier understanding, a graphical representation of the national definition of a nearly zero-energy building is made. The most commonly applied systems for renewable energy in the field of nZEB are listed.