

УДК 536.24:533.6.011

**Канівець Георгій Євдокимович**, д-р техн. наук, проф., професор кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій Тел. 067-597-24-42. E-mail: gekan37@gmail.com (orcid.org/0000-0001-8709-6209).

**Алтухова Ольга Василівна**, асистент кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна. Вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002. Тел. 097-102-84-31. E-mail: ovaolga@gmail.com (orcid.org/0000-0003-0575-3047).

### ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ СИНТЕЗАТОРА АЛГОРИТМІВ ТА ПРОГРАМ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАСТИНЧАСТИХ ТЕПЛОБІМННИХ АПАРАТІВ

*У статті описано основні принципи створення синтезатора алгоритмів та програм оптимізації пластинчастих теплообмінників, що є універсальними інструментами як для проведення науково-дослідних розрахункових експериментів, так і для використання у практиці проектної оптимізації. Наводяться основні етапи створення подібних систем синтезу.*

**Ключові слова:** оптимізація, пластинчасті теплообмінники, система синтезу, науково-дослідний розрахунковий експеримент, алгоритм.

**Каневец Георгий Евдокимович**, д-р техн. наук, проф., профессор кафедры теплотехники и энергоэффективных технологий

Тел. 067-597-24-42. E-mail: gekan37@gmail.com (orcid.org/0000-0001-8709-6209).

**Алтухова Ольга Васильевна**, ассистент кафедры теплотехники и энергоэффективных технологий

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина. Ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002. Тел. 067-597-24-42. E-mail: ovaolga@gmail.com (orcid.org/0000-0003-0575-3047).

### ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ СИНТЕЗАТОРА АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛОБМЕННЫХ АППАРАТОВ

*В статье описаны основные принципы создания синтезаторов алгоритмов и программ оптимизации пластинчатых теплообменников, представляющих собой универсальные инструменты как для проведения научно-исследовательских вычислительных экспериментов, так и для использования в практике проектной оптимизации. Приводятся основные этапы создания подобных систем синтеза.*

**Ключевые слова:** оптимизация, пластинчатые теплообменники, система синтеза, научно-исследовательский вычислительный эксперимент, алгоритм.

**Kanevets George Evdokimovich**, Doctor of Technical Sciences, prof., professor department of Thermal Engineering and energy efficiency technologies

Tel. 067-597-24-42. E-mail: gekan37@gmail.com (orcid.org/0000-0001-8709-6209).

**Altukhova Olga Vasilievna**, The assistant department of Thermal Engineering and energy efficiency technologies.

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine. Str. Frunze, 21, Kharkiv, Ukraine, 61002. Tel. 067-597-24-42. E-mail: ovaolga@gmail.com (orcid.org/0000-0003-0575-3047).

### THE PRINCIPLES OF CREATION SYNTHESIZER OF THE ALGORITHMS AND PROGRAMS OF THE OPTIMIZATION OF THE PLATE HEAT EXCHANGERS

*The basic principles synthesizers of the algorithms and software optimization of the plate heat exchangers, representing the universal instruments for carrying out research computing experiments, and for use the design optimization in the practice are described. The basic steps for creating such systems of synthesis are shown.*

**Keywords:** the optimization, the plate heat exchangers, the system of synthesis, research computing.

Число теплообменников в мире исчисляется миллиардами. Среди них пластинчатые теплообменники (ПТО) выделяются высокой технико-экономической эффективностью и перспективами применения. Компьютерная оптимизация ПТО на стадиях их проектирования, реконструкции (замены) и эксплуатации обеспечивает высокий уровень ресурсосбережения (в частности, энергосбережения) и поэтому является актуальнейшей задачей.

Оптимизация ТО является широкой областью, в которой проводилось большое число разнообразных исследований, были построены математические модели для оптимизации отдельных видов оборудования для узкого круга задач [1–4]. Целью настоящей работы является формулирование основных принципов и этапов создания синтезаторов, которые

позволят автоматически формировать частные средства оптимизации ПТО в широкой области объектов и задач расчёта.

Эффективность оптимизации ПТО зависит от большого числа значащих факторов. Среди них главные:

- 1) обоснованный выбор критерия или набора критериев эффективности объекта;
- 2) разработка корректных технико-экономической моделей объекта оптимизации, моделей процессов, протекающих в оборудовании;
- 3) обеспечение допустимой погрешности расчёта критериев эффективности, их составляющих, элементов расчета ПТО;
- 4) обоснованный выбор метода поиска экстремума критерия (критериев) эффективности ПТО;
- 5) обоснование значений экономических исходных данных, в первую очередь цен ПТО, нагнетателей, теплопередающих сред, энергии, передаваемой на привод нагнетателей, а также других показателей с учётом динамики их изменения на всех этапах «жизненного цикла» оборудования;
- 6) учёт влияния проектируемого ПТО на эффективность технической системы, в итоге – совместная оптимизация системы и ПТО.

Последний фактор имеет особенное значение при проектной оптимизации теплообменников предельной единичной производительности в составе и совместно со всей системой. Именно здесь может быть достигнута наибольшая технико-экономическая эффективность оборудования, громадный экономический эффект.

При создании средств, инструментария оптимизации ПТО – математических моделей, алгоритмов и программ – возникают существенные проблемы.

Совпадение имеющихся алгоритмов и программ оптимизации ПТО с требованиями расчётчика встречается крайне редко. Это принуждает приступить к разработке требуемого алгоритма и программы. И здесь возникают новые обстоятельства. Как правило, число требуемых сочетаний объектов×задач при большом разнообразии математических моделей, ограничений и т. п., то есть число требуемых частных алгоритмов, необозримо велико. Соответственно, создание такого большого числа требуемых алгоритмов и программ в реальное время и при реальных материальных ресурсах становится затруднительным. Выход из этой коллизии – в автоматизации разработки множества частных математических моделей, алгоритмов и программ путём создания алгоритмических и программных комплексов, так называемых алгоритмико-программных синтезаторов, по своим возможностям охватывающих как можно более широкую область объектов и расчёта.

Такие комплексы могут быть основаны на обобщённом структурно-модульном подходе [5–8]. Он является идеологической основой создания Синтезаторов, которые обеспечивают простой в реализации синтез Алгоритмов и Программ решения любых, от самых простых до самых сложных, задач Расчёта и оптимизации Пластинчатых Теплообменников (САПР-ПТО), состоящих из теплообменных аппаратов любых конструкций с любыми, в том числе самыми сложными, схемами тока сред в аппаратах и в теплообменниках.

При этом следует иметь в виду, что структура любого содержательного, качественного расчёта ПТО представляет собой достаточно сложную иерархическую систему. Число уровней иерархии частей расчётов может быть большим.

На нижних уровнях иерархии обычно находятся сменные, более частные расчётные элементы. Они названы модулями. По мере повышения уровня иерархии общность этих модулей возрастает. На самом верхнем уровне (или нескольких уровнях) находится обобщённая структура (или нескольких обобщённых структур разной степени общности). Отличие обобщённой структуры от всех остальных структур (модулей) более низких уровней иерархии расчёта в следующем:

- 1) она отражает самые общие, принципиальные закономерности проведения именно данного вида расчёта;
- 2) она является каркасом всей системы автоматизированного синтеза алгоритмов и

программ расчёта;

3) она включает в себя лишь постоянные, главные, основные расчётные элементы (модули) данного вида расчёта;

4) она инвариантна относительно объекта расчёта, то есть пригодна для расчёта теплообменников, состоящих из аппаратов любых конструкций и с любым сочетанием процессов передачи теплоты.

Принципами обобщённого структурно-модульного подхода предусмотрены ниже следующие 7 этапов создания САПР-ТО.

#### Этап 1.1. Создать системную классификацию ПТО и расчётных модулей

Принципы создания такой системной, функциональной классификации теплообменников подробно описаны в [5, стр. 15–27]. Эта классификация основана на наиболее существенных классификационных признаках, значительно влияющих на структуру, организацию и специфику конструкторских, тепловых, гидравлических, экономических и оптимизирующих расчётов.

Поэтому она применяется при выделении числа, разновидности и состава расчётных модулей, обеспечивающих проведение всех перечисленных выше видов расчёта теплообменников.

Содержание любого модуля может варьироваться в зависимости от особенностей конструкций теплообменных аппаратов, требований к полноте, точности расчёта и других факторов. Число альтернативных вариантов каждого из таких модулей зависит от требований к совершенству и полноте алгоритмов расчёта и может быть сколь угодно большим.

Например, число модулей расчёта коэффициента теплоотдачи в канале между пластинами зависит от процесса (нагрев, охлаждение, конденсация, кипение чистых сред или смесей), конструкции теплопередающей поверхности (пластины), видов турбулизаторов в канале, допустимых погрешностей расчёта и множества других факторов. Число вариантов модуля одного типа может достигать многих сотен. Замена любого из варианта модуля на другой альтернативный позволяет синтезировать другой частный алгоритм без изменения других структур синтезатора.

После конкретизации состава всех основных видов расчёта теплообменников выделяется необходимый минимум элементарных, типовых расчётных модулей, из которых можно построить алгоритм любого расчёта.

В монографиях [5–8] и др. описаны методические основы создания этих модулей и предложены наиболее характерные варианты их реализации.

Так обеспечивается формирование содержания, наполнения подсистемы математического моделирования (этап 3), то есть всей совокупности расчётных модулей – нижнего уровня синтезатора алгоритмов и программ расчёта теплообменного оборудования.

#### Этап 1.2. Создать системную классификацию задач и обобщённых структур расчёта ПТО

Системная классификация расчётов теплообменников описана в [5, стр. 28–35]. Она применяется при выделении числа, разновидности и состава обобщённых структур, а также конкретизации содержания модулей, описанных выше (этап 1.1), обеспечивающих в дальнейшем синтез системы расчёта теплообменников.

Среди существующих и обозримых в ближайшем будущем задач оптимизации теплообменников можно выделить следующие первоочередные: 1) проектная оптимизация, 2) оптимизация аппаратов предельной производительности, 3) эксплуатационная оптимизация действующих аппаратов, 4) оптимальная замена действующих аппаратов, 5) оптимизирующие расчёты и унификации оборудования на предприятии, 6) оптимизация стандартов на теплообменные аппараты.

С помощью системной классификации расчётов теплообменников обеспечивается формирование иерархии обобщённых структур (этап 2), то есть верхнего уровня системы синтеза алгоритмов расчёта теплообменного оборудования, и структуры подсистемы математического моделирования (этап 3).

#### Этап 2. Создать обобщённые структуры расчёта ПТО

Из этого множества обобщённых структур, необходимых для создания синтезатора САПР-ПТО, здесь отметим лишь структуры наиболее распространённых расчётов: конструкторского, проектного, проектно-конструкторского, поверочного, проектно-поверочного и оптимизирующих.

Обобщённые структуры решения перечисленных выше, а также других первоочередных задач расчёта теплообменников подробно описаны в [5, стр. 36–54], [6, стр. 8–17], [7, стр. 59–67], [8, стр. 282–300].

Основополагающим принципом создания САПР-ПТО является формирование иерархии обобщённых структур. С помощью иерархических связей обобщённые структуры сводятся в единое целое, создаётся *каркас*, который по мере обрастания модулями превращается в развивающуюся единую систему расчёта, пригодную для синтеза частных алгоритмов.

#### Этап 3. Математическое моделирование отдельных видов расчёта ПТО

Это наиболее трудоёмкий этап работ по созданию синтезатора. В [5, стр. 54–55] приведен список из 24 разновидностей основных типовых модулей расчёта ТО. Более подробно они описаны, например, в [5, стр. 68–290]. Практически каждый из этих модулей имеет сложную внутреннюю многоступенчатую иерархическую структуру, является сложной, развивающейся системой, учитывающей новые научные результаты.

Создание и поддержание каждого такого развивающегося модуля на современном уровне представляет собою сложную, непрерывную во времени научную проблему.

Иллюстрацией сложности моделирования типовых модулей является, например, математическая модель процесса теплопередачи в сечении однородных или многослойных, гладких (неоребрённых) или ребристых (развитых) теплопередающих поверхностей ТП любой формы (см. [5, стр. 68–90], [6, стр. 112–119]). Она заложена в основу типового модуля *k* (расчёт коэффициента теплопередачи в сечении ТП). Большинство других основных типовых модулей по структуре и содержанию моделей ещё более сложные. Некоторые из них описаны в [5, стр. 91–292], [6, стр. 18–189], [7, стр. 84–103], [7, стр. 152–224]. Там же приведены примеры систематизации расчётных модулей.

#### Этап 4. Синтез алгоритма синтезатора

Принципы синтеза (сборки) требуемого алгоритма с помощью обобщённой структуры и модулей описаны выше.

#### Этап 5-7. Практическая реализация синтезатора алгоритмов

Здесь проводятся программирование и отладка алгоритма синтезатора (этап 5), исследовательский вычислительный эксперимент с целью корректировки выбранной обобщённой структуры и модулей (этап 6).

Затем при вычислительном эксперименте уточняются выбранная ранее обобщённая структура и модули, корректируется сборка алгоритма (возврат на этап 4) и вносятся соответствующие изменения в программу расчёта (этап 5).

После этого скорректированную программу применяют для решения исследовательский и практических (чаще всего проектных) задач расчёта и оптимизации теплообменного оборудования (этап 7).

### **Выводы**

Разработанный подход по построению синтезаторов алгоритмов и программ расчёта теплообменников показывает высокую эффективность. С помощью этого подхода созданы синтезаторы САПР-ТО для формирования большого числа частных алгоритмов и программ. С их помощью проведена проектная оптимизация нескольких тысяч промышленных теплообменников (пластинчатых, кожухотрубных, труба в трубе, аппаратов воздушного охлаждения и др.) у нас в стране и за рубежом. Это оборудование изготовлено и работает на предприятиях газопереработки, нефтепереработки, нефтехимии, систем магистральных газопроводов, пищевой и сахарной промышленности, системах жизнеобеспечения глубоких шахт, в судовых энергетических установках и др. При этом за счёт оптимизации получены большие экономические эффекты.

Отметим, что алгоритмы и программы расчета и оптимизации теплообменного оборудования являются одними из самых трудоёмких в системах автоматизированного проектирования (САПР) и научных исследований (АСНИ).

#### Список использованной литературы:

1. Арсеньева О. П. Математическое моделирование и оптимизация разборных пластинчатых теплообменников / О. П. Арсеньева, Л. Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, П. А. Капустенко, Г. Л. Хавин // Інтегровані технології та енергозбереження 2'2009 – Х., 2009. – С. 17–25.
2. Ганжа А. Н. Технико-экономическая оптимизация трубчатого водо-водяного подогревателя / А. Н. Ганжа, Н. А. Марченко, О. А. Сквородко // Энергосбережение · Энергетика · Энергоаудит. № 3 2007 – Х., 2007. – С. 85–90.
3. Аблаев А. Р. Методическое обеспечение компьютерных технологий при проектировании судовых теплообменных аппаратов / А. Р. Аблаев, В. В. Макаров // Доклады XV международной конференции по автоматическому управлению «Автоматика – 2008» – Одесса, 2008. – С. 340–343.
4. Емельянов А. Л. Обзор методов оптимизации трубчато-пластинчатых теплообменников / А. Л. Емельянов, Е. В. Кожевникова, Т. А. Лопаткина // Холодильная техника. №5/2010 – С. 40–43.
5. Каневец Г. Е. Обобщённые методы расчета теплообменников / Г.Е. Каневец. – К.: Наукова думка, 1979. – 352 с.
6. Каневец Г. Е. Теплообменники и теплообменные системы / Г. Е. Каневец. – К.: Наукова думка, 1981. – 272 с.
7. Каневец Г. Е. Введение в автоматизированное проектирование теплообменного оборудования / Г. Е. Каневец, И. Д. Зайцев, И. И. Головач. – К.: Наукова думка, 1985. – 232 с.
8. Бажан П. И. Справочник по теплообменным аппаратам / П. И. Бажан, Г. Е. Каневец, В. М. Селиверстов. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.

#### References:

1. Arsenyev O. P. Mathematical modeling and optimization of gasketed plate heat exchangers [Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya razbornykh plastinchatih teploobmennikov] / O. P. Arsenyev, L. L. Tovazhnyansky, P. A. Kapustenko, G. L. Havin // Integrated technologies and energy efficiency 2'2009 – KH., 2009. – P. 17–25.
2. Ganja A. N. Technical and economic optimization of the tubular water-water heater [Tehniko-ekonomicheskaya optimizatsiya trubchatogo vodo-vodyanogo podogrevatelya] / A. N. Ganja, N. A. Marchenko, O. A. Skovorodko // Energy saving · Power engineering · Energy audit. № 3 2007 – H., 2007. – P. 85–90.
3. Ablaev A. R. Methodical maintenance of computer technology in the design of marine heat exchangers [Metodicheskoe obespechenie kompyuternykh tehnologiy pri proektirovanii sudovykh teploobmennyykh apparatov] / A. R. Ablaev, V. V. Makarov // Reports of the XV International Conference on Automatic Control "Automatics – 2008" – Odessa, 2008. – P. 340–343.
4. Emelyanov A. L. Overview of optimization methods tubular-plate heat exchangers [Obzor metodov optimizatsii trubchato-plastinchatyykh teploobmennikov] / A. L. Emelyanov, E. V. Kozhevnikov, T. A. Lopatkin // Refrigeration. № 5 / 2010 – P. 40–43.
5. Kanevets G. E. Generalized methods of calculation of heat exchangers [Obobshchennyye metodyi rascheta teploobmennikov] / G. E. Kanevets. – K.: Naukova Dumka, 1979. – 352 p.
6. Kanevets G. E. Heat exchangers and heat exchanger systems [Teploobmenniki i teploobmennyye sistemyi] / G.E. Kanevets. – K.: Naukova Dumka, 1981. – 272 p.
7. Kanevets G. E. Introduction to computer-aided design of heat exchangers [Vvedenie v avtomatizirovannoe proektirovanie teploobmennogo oborudovaniya] / G. E. Kanevets, I. D. Zaitsev, I. I. Golovach. – K.: Naukova Dumka, 1985. – 232 p.
8. Bajjan P. I. Handbook of heat-exchange apparatus [Spravochnik po teploobmennym apparatam] / P. I. Bajjan, G. E. Kanevets, V. M. Seliverstov. – M.: Engineering, 1989. – 368 p.

Поступила в редакцию 28.10 2014 г.