



BUXORO DAVLAT UNIVERSITETI ILMIY AXBOROTI



Научный вестник Бухарского государственного университета
Scientific reports of Bukhara State University

7/2024

E-ISSN 2181-1466



9 772181 146004

ISSN 2181-6875



9 772181 687004



@buxdu_uz



@buxdu1



@buxdu1



www.buxdu.uz

7/2024

<https://buxdu.uz>

BUXORO DAVLAT UNIVERSITETI ILMIY AXBOROTI
SCIENTIFIC REPORTS OF BUKHARA STATE UNIVERSITY
НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК БУХАРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Ilmiy-nazariy jurnal
2024, № 7, iyul

Jurnal 2003-yildan boshlab **filologiya** fanlari bo'yicha, 2015-yildan boshlab **fizika-matematika** fanlari bo'yicha, 2018-yildan boshlab **siyosiy** fanlar bo'yicha, **tarix** fanlari bo'yicha 2023 yil 29 avgustdan boshlab O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar Vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasining dissertatsiya ishlari natijalari yuzasidan ilmiy maqolalar chop etilishi lozim bo'lgan zaruriy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

Jurnal 2000-yilda tashkil etilgan.

Jurnal 1 yilda 12 marta chiqadi.

Jurnal O'zbekiston matbuot va axborot agentligi Buxoro viloyat matbuot va axborot boshqarmasi tomonidan 2020-yil 24-avgust № 1103-sonli guvohnoma bilan ro'yxatga olingan.

Muassis: Buxoro davlat universiteti

Tahririyat manzili: 200117, O'zbekiston Respublikasi, Buxoro shahri Muhammad Iqbol ko'chasi, 11-uy.

Elektron manzil: nashriyot_buxdu@buxdu.uz

TAHRIR HAY'ATI:

Bosh muharrir: Xamidov Obidjon Xafizovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bosh muharrir o'rinbosari: Rasulov To'liqin Husenovich, fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor

Mas'ul kotib: Shirinova Mexrigiyo Shokirovna, filologiya fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Kuzmichev Nikolay Dmitriyevich, fizika-matematika fanlari doktori (DSc), professor (N.P. Ogaryov nomidagi Mordova milliy tadqiqot davlat universiteti, Rossiya)

Danova M., filologiya fanlari doktori, professor (Bolgariya)

Margianti S.E., iqtisodiyot fanlari doktori, professor (Indoneziya)

Minin V.V., kimyo fanlari doktori (Rossiya)

Tashqarayev R.A., texnika fanlari doktori (Qozog'iston)

Mo'minov M.E., fizika-matematika fanlari nomzodi (Malayziya)

Mengliyev Baxtiyor Rajabovich, filologiya fanlari doktori, professor

Adizov Baxtiyor Rahmonovich, pedagogika fanlari doktori, professor

Abuzalova Mexriniso Kadirovna, filologiya fanlari doktori, professor

Amonov Muxtor Raxmatovich, texnika fanlari doktori, professor

Barotov Sharif Ramazonovich, psixologiya fanlari doktori, professor, xalqaro psixologiya fanlari akademiyasining haqiqiy a'zosi (akademigi)

Baqoyeva Muhabbat Qayumovna, filologiya fanlari doktori, professor

Bo'riyev Sulaymon Bo'riyevich, biologiya fanlari doktori, professor

Jumayev Rustam G'aniyevich, siyosiy fanlar nomzodi, dotsent

Djurayev Davron Raxmonovich, fizika-matematika fanlari doktori, professor

Durdiyev Durdimurod Qalandarovich, fizika-matematika fanlari doktori, professor

Olimov Shirinboy Sharofovich, pedagogika fanlari doktori, professor

Qahhorov Siddiq Qahhorovich, pedagogika fanlari doktori, professor

Umarov Baqo Bafoyevich, kimyo fanlari doktori, professor

Murodov G'ayrat Nekovich, filologiya fanlari doktori, professor

O'rayeva Darmonoy Saidjonovna, filologiya fanlari doktori, professor

Navro'z-zoda Baxtiyor Nigmatovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Hayitov Shodmon Ahmadovich, tarix fanlari doktori, professor

To'rayev Halim Hojiyevich, tarix fanlari doktori, professor

Rasulov Baxtiyor Mamajonovich, tarix fanlari doktori, professor

Eshtayev Alisher Abdug'aniyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Quvvatova Dilrabo Habibovna, filologiya fanlari doktori, professor

Axmedova Shoirra Nematovna, filologiya fanlari doktori, professor

Bekova Nazora Jo'rayevna, filologiya fanlari doktori (DSc), professor

Amonova Zilola Qodirovna, filologiya fanlari doktori (DSc), dotsent

Hamroyeva Shahlo Mirjonovna, filologiya fanlari doktori (DSc), dotsent

Nigmatova Lola Xamidovna, filologiya fanlari doktori (DSc), dotsent

Jamilova Bashorat Sattorovna, filologiya fanlari doktori, professor

Boboyev Feruz Sayfullayevich, tarix fanlari doktori

Jo'rayev Narzulla Qosimovich, siyosiy fanlar doktori, professor

Xolliyev Askar Ergashovich, biologiya fanlari doktori, professor

Artikova Hafiza To'ymurodovna, biologiya fanlari doktori, professor

Norboyeva Umida Toshtemirovna, biologiya fanlari doktori, professor

Hayitov Shavkat Ahmadovich, filologiya fanlari doktori, professor

Qurbonova Gulnoz Negmatovna, pedagogika fanlari doktori (DSc), professor

Ixtiyarova Gulnora Akmalovna, kimyo fanlari doktori, professor

Rasulov Zubaydullo Izomovich, filologiya fanlari doktori (DSc), dotsent

Mirzayev Shavkat Mustaqimovich, texnika fanlari doktori, professor

Samiyev Kamoliddin A'zamovich, texnika fanlari doktori, dotsent

Esanov Husniddin Qurbonovich, biologiya fanlari doktori, dotsent

Zaripov Gulmurot Toxirovich, texnika fanlari nomzodi, professor

Jumayev Jura, fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent

Klichev Oybek Abdurasulovich, tarix fanlari doktori, dotsent

G'aybulayeva Nafisa Izattullayevna, filologiya fanlari doktori (DSc), dotsent

MUNDARIJA *** СОДЕРЖАНИЕ *** CONTENTS

МАТЕМАТИКА * MATHEMATICS *** МАТЕМАТИКА**

Jumaev J.J., Abdullayev B.R., Gayratova N.U.	Inverse problem of reconstructing coefficient for two-dimensional time-fractional diffusion equation	3
Qoshaqov X.Sh., Xasanjonova N.U.	Evasion differential game problem for an infinite system of differential equation	11
Turdiyev X.X., Vaxronova S.B., Vozorova D.Sh.	Caputo kasr differensial operatori qatnashgan Dirixle tenglamalar sistemasi uchun Koshi masalasi	15
Исомиддинов Б.О.	Оценка погрешности кубатурных формул общего вида над фактор-пространством Соболева	24
Jumayev J., Xayrullayeva D.O'., Shamsiddinova M.U.	MathCAD tizimida aniq integralni hisoblashda funksiyani berilish xususiyatlari	30
Merajova Sh.B., Turayeva N.A., Jumayeva M.R.	Laplas integral almashtirishi va uning differensial tenglamalarga qo'yilgan masalalarni yechishda qo'llanilishi	36
Ibragimov G.I., Muhammadjonova M.A.	Kuboktaedr qirralari bo'ylab uch quvlovchi va bir qochuvchining tutish differensial o'yini	42
Ne'matova Sh.B.	Butun sonli bo'lmagan panjaradagi umumlashgan Fridriks modelining spektri va rezolventasi	49
Raxmatova N.J.	Non-local initial problem for fractional wave-diffusion equation with Bessel operator	54
Мардонов Ж.А.	Формула Карлемана для уравнения электромагнитного поля в пространстве	60
Turdiyev X.X., Hakimova B.B.	Birinchi tartibli ikki o'zgaruvchili integro-differensial tenglamalar sistemasi uchun boshlang'ich chegaraviy masala	70
FIZIKA *** PHYSICS *** ФИЗИКА		
Akilov J.A., Djabbarov M.S., G'aybulov Y.Sh.	Neft quduqlarini chuqurlikdagi nasoslar bilan ishlatishda gidrodinamik bosimni matematik modellashtirish	81
Abdullayev L.A., Safarov N.M.	Charm tikish jarayonida ignaga ta'sir qiluvchi kuchlarning tahlili	89
Расулов В.Р., Расулов Р.Я., Касимов Ф.У., Маматова М.А.	К теории внутризонного однофотонного поглощения света в полупроводниках со структурой цинковой обманки	94
Saidov B.Y., Safarov N.M.	Paxtani yirik iflosliklardan tozalash jihozining arrali garnaturalar tishlarini mustahkamligini oshirish jarayonining nazariy asoslari	101
Хужаев И.К., Ширинов З. З., Жумаев Ж.	Тепловой расчёт современного многосекционного теплообменника, подключённого к сети с одной стороны	105
Shuhratova L.O'., Kabulov R.R.	Perovskitlar asosidagi yupqa qatlamlarni katta yuzalarda ishlab chiqarish usullarining tahlili	115

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЁТ СОВРЕМЕННОГО МНОГОСЕКЦИОННОГО ТЕПЛООБМЕННИКА, ПОДКЛЮЧЁННОГО К СЕТИ С ОДНОЙ СТОРОНЫ

Хужаев Исмадулла Кушаевич,
профессор Института механики
и сейсмостойкости сооружений АН РУз
i-k-hujayev@mail.ru

Ширинов Зиёмат Зойирович,
PhD студент Института механики и сейсмостойкости
сооружений АН РУз ziyomatshirinov@umail.uz

Жумаев Жо‘ра, доцент кафедры
«Прикладная математика» Бухарского государственного университета
j.jumayev@buxdu.uz

Аннотация. Предложены математическая модель и алгоритм теплового расчёта теплообменника, состоящего из однотипных секций и подключённого к двухниточной сети отопления с одной стороны. Верхние и нижние, а также вертикальные патрубки теплообмена представлены со своими длинами и внутренними диаметрами. Наружные диаметры патрубков представлены с учётом рёбер. При известных значениях дуговых расходов, входной температуры и температуры окружающей среды путевая потеря тепла описана формулой Шухова с учётом шероховатости внешней поверхности трубопроводов. Использована формула среднерасходной температуры теплоносителя при слиянии потоков.

Представлены отдельные результаты вычислительного эксперимента, проведённого на основе математической модели и алгоритма расчёта по вновь разработанной программе расчёта.

Ключевые слова: многосекционный теплообменник, вертикальные, горизонтальные патрубки, расход теплоносителя, формула Шухова, узловая температура, общая потеря тепла.

TARMOQQA BIR TOMONI BILAN ULANGAN ZAMONAVIY KO'PSEKSIYALI ISSIQLIK ALMASHTIRGICHNING ISSIQLIK HISOBI

Annotatsiya. Ushbu ishda ikki chiziqli issiqlik tarmog'iga ulangan issiqlik almashtirgichning issiqlik hisobi uchun matematik model va algoritmi taklif etiladi. Yuqori va pastki, shuningdek, vertikal issiqlik almashinuvchi quvurlar o'z uzunliklari va ichki diametrlari bilan birga hisoblangan. Hisoblashlar qovurg'alarining tashqi diametrlarini hisobga olgan holda amalga oshirilgan. Yoy oqimlari, kirish harorati va tashqi muhit haroratining ma'lum qiymatlari bilan issiqlik yo'qotish quvurlarining tashqi yuzasining qovurg'alarini hisobga olgan holda Shuxov formulasi bilan tavsiflanadi. Keltirib chiqarilgan formuladan oqimlar birlashganda suvning o'rtacha haroratini aniqlash uchun foydalaniladi.

Yangi ishlab chiqilgan hisoblash dasturidan foydalangan holda matematik model va hisoblash algoritmi asosida o'tkazilgan hisoblash tajribalarining alohida natijalari keltirilgan.

Kalit so'zlar: ko'p qismli issiqlik almashtirgich, vertikal, gorizontal quvurlar, issiqlik tashuvchi sarfi, Shuxov formulasi, tugun harorati, umumiy issiqlik yo'qotilishi.

THERMAL CALCULATION OF A MODERN MULTI-SECTION HEAT EXCHANGER CONNECTED TO THE NETWORK ON ONE SIDE

Abstract. A mathematical model and algorithm for thermal calculation of a heat exchanger consisting of sections of the same type and connected to a two-line heating network on one side are proposed. The upper and lower, as well as vertical heat exchange pipes are presented with their own lengths and internal diameters. The outer diameters of the nozzles are presented taking into account the ribs. With known values of arc flow rates, inlet temperature and ambient temperature, the path heat loss is described by Shukhov's formula, taking into account the ribbing of the outer surface of the pipelines. The formula for the average flow temperature of the coolant when flows merge is used.

Separate results of a computational experiment conducted on the basis of a mathematical model and a calculation algorithm using a newly developed calculation program are presented.

Keywords: multi-section heat exchanger, vertical, horizontal pipes, coolant flow, Shukhov's formula, nodal temperature, total heat loss.

Введение. Рост промышленного и жилищного строительства, повышение благоустройства и улучшение санитарно-бытовых условий населения приводят к значительному увеличению объёмов потребления воды, газа и электроэнергии на хозяйственные и производственные нужды. Удовлетворение этих потребностей происходит за счёт строительства инженерных сетей, а также за счёт модернизации существующих систем. Последний вариант способствует значительному сокращению капитальных вложений и требует проведения поиска резервов системы, которые позволяют обеспечить население и инфраструктуру экономики необходимым продуктом.

Одним из таких резервов является усовершенствование управления технологическими процессами подачи и распределения целевого продукта (воды, газа и электроэнергии) на основе применения современных методов математического и компьютерного моделирования. При этом основное внимание необходимо уделить на надёжности и управляемости инженерных сетей, чтобы гарантировать запас пропускной их способности и возможности их оперативной реконструкции. Компьютерное моделирование и автоматизация должны сопровождать весь жизненный цикл инженерных сетей: стадии проектирования, мониторинг работы (оперативное управление) и реконструкции.

Инженерные сети относятся к классу непрерывно эволюционирующих систем, развитие которых происходит во времени и в пространстве. При исчерпании возможностей оперативного управления включается механизм реконструкции. Здесь основную роль играют возможности мощностей и объём потребления, а также управляемые и неуправляемые внутренние и внешние факторы.

По своей структуре инженерные сети могут иметь линейный характер, закольцованного или комбинированного построения. Широкое применение закольцованной или многокольцевой сети объясняется тем, что поток в ней, соблюдая законы природы, самообразуется с минимальной энергозатратой. Другим преимуществом многоконтурных сетей является обеспечение надёжности выполнения функций при отказе определённых дуг инженерной сети. Эти отказы исправляются с увеличением расхода целевых продуктов по другим трассам (дугам). А в сетях с линейной структурой отказ определённой дуги приводит к отказу всей системы.

В качестве примера, представляющего положительные черты организации кольца, приведём наличие параллельных нитей магистральных газопроводов. Они взаимно сообщаются через перемычки, которые устанавливаются через определённые расстояния.

Если параллельные нити имеют разные диаметры, по перемычки способствуют одинаковой потере давления по параллельным нитям. Если отказывается определённый участок магистрали, то отключение этого участка приводит к перераспределению потока по действующим отдельным параллельным нитям. Т.е. капитальные вложения на установления перемычек оправданы обеспечением надёжности инженерной сети.

Представим основных потребителей теории потокораспределения. Кроме системы газотранспорта, сюда можно включать сети водопровода, нефте- и нефтепродуктопровода, пневмоприводов и гидроприводов.

Положения теории потокораспределения с успехом реализуется также при моделировании отопления помещений, теплоснабжению микрорайона или целого города, а также движения транспорта в сети дорог.

Ниже предлагается алгоритм теплового расчёта отдельного теплообменника с ограниченным количеством секций, который подключен двухниточной сети теплоснабжения.

Основы теории теплопередачи и ее видов представлены в работах [1-6]. Предложены варианты уравнения теплопередачи для обычных условий, когда поток тепла пропорционален градиенту температуры и уравнение имеет параболический тип, и для экстремальных условий, которые протекают под воздействием мощных источников: химического лазера, электрической или газовой сварки и описываются уравнениями гиперболического типа с учётом релаксационных свойств процесса [7]. Получены аналитические решения задач теплопередачи при различных вариантах граничных условий в различных ортогональных пространственных координатах [1-2, 8-9].

Особое место в тепловых расчётах занимают задачи процесса теплопередачи от текущих теплоносителей, которые могут представить свободную или вынужденную конвекцию [1, 10-12,21]. К сожалению, учёт конвективного теплообмена требует обращения к системе нелинейных уравнений Навье-Стокса, которые практически не поддаются аналитическому решению, а существующие

решения существенно отличаются от изучаемого явления хотя бы тем, что в натуре течение является турбулентным. В связи с этим разработан инженерный вариант расчёта – квазиодномерный подход описания гидродинамики потока, сопровождающегося процессом теплопередачи [12-15].

Часто используемым результатом данного инженерного подхода является формула Шухова [15-18]. Она получена с учётом среднего значения коэффициента теплоотдачи в системе теплоноситель-трубопровод-теплоизоляция-окружающая среда и среднего значения внешнего диаметра трубопровода. В литературных источниках можно найти также модификации формулы Шухова [19].

Наряду с формулой Шухова при разработке алгоритма расчёта теплообменника использована формула, определяющая среднерасходную температуру объединяющих в один поток течений.

Представлены некоторые численные результаты, которые демонстрируют особенности предлагаемых математической модели и алгоритма расчёта.

Постановка и математическая модель задачи. На рисунке 1 схематически представлен теплообменник с $M+1$ одинаковыми секциями, который подключён к верхним и нижним магистралям через перемычки. Верхняя перемычка снабжена краном-регулятором. Считая заданными входную температуру, температуру окружающей среды, геометрические показатели и дуговые расходы теплоносителя по объёму, необходимо определить температуру теплоносителя на выходе.

Объект представляется как система, состоящая из последовательно и параллельно подключённых оребренных трубок (рисунок 1). Для расчёта нам нужны геометрические величины (в основном дуговые расходы) и теплофизические показатели системы.

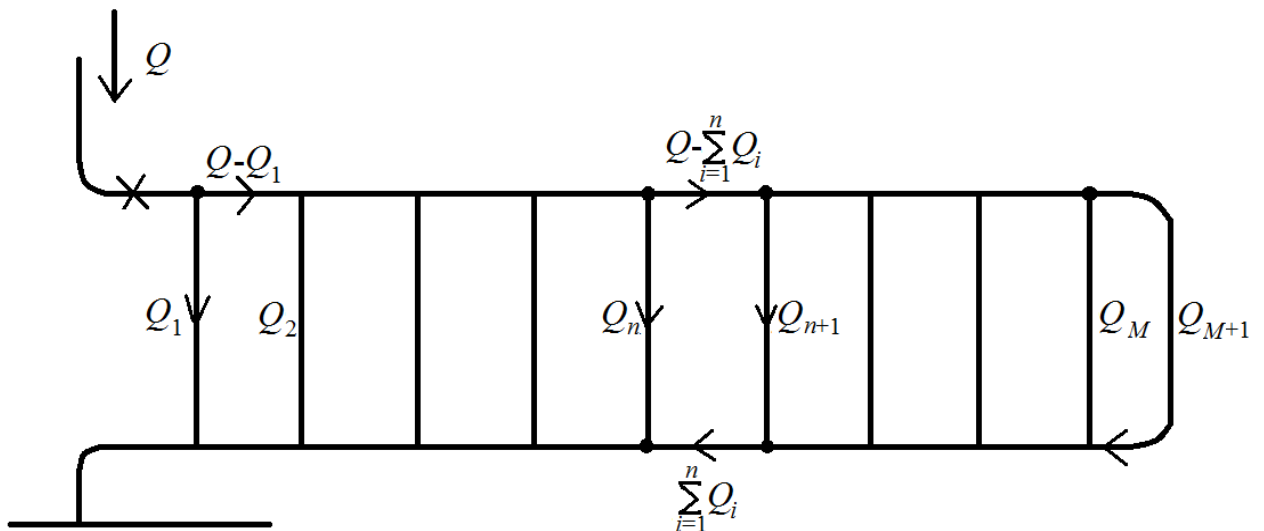


Рисунок 1. Схематическое представление теплообменника, подключённого к двухтрубной сети с одной стороны

Левые верхняя и нижняя части рисунка приставляют входную и выходную перемычки, соединяющие теплообменник верхней (раздающей теплоносителя) и нижней (собирающей теплоносителя) магистралями.

Входная перемычка с учётом местного сопротивление имеет длину l_p , а выходная – l_p . Перепад нивелирной высоты в них составляет h_p и h_p . Внутренние диаметры – D_p и D_p , а площади поперечного сечения – f_p и f_p . Т.к. толщина их стенки с учётом рёбер составляют δ_p и δ_p , то внешние диаметры составляют $D_p + 2\delta_p$ и $D_p + 2\delta_p$.

К теплообменнику можно добавить новые секции или сократить количество секций. В целом, считаем, что количество секций составляет $M+1$. Высота секций составляет h_c , длина l_c , внутренний диаметр вертикальных патрубков D_v , а горизонтальных D_g , осреднение толщины стенок с учетом рёбер – δ_v и δ_g . В зависимости от этих данных определяются площади поперечных

сечений f_v и f_g , а также внешние диаметры вертикальных и горизонтальных патрубков теплообменника.

Из гидродинамических показателей нам нужны: входной (и выходной) расход Q дуговые (или участковые) расходы верхних q_i и нижних q'_i , а также вертикальных Q_i патрубков. Считаем, что они определены в M^3/c .

Предварительными расчётами определены расходы по вертикальным $M+1$ патрубкам в

теплообменнике: $Q_1 = \frac{\sqrt[\alpha]{2K_g + r_{M-1}^\alpha K_v}}{\sqrt[\alpha]{K_v + \sqrt{2K_g + r_{M-1}^\alpha K_v}}} Q = r_M Q$, $Q_2 = r_{M-1}(1-r_M)Q$, $Q_3 = r_{M-2}(1-r_{M-1})(1-r_M)Q$, ...,

$Q_m = r_{M-m+1}(1-r_{M-m+2}) \dots (1-r_M)Q$, ..., $Q_M = r_1(1-r_2)(1-r_3) \dots (1-r_M)Q$,

$Q_{M+1} = (1-r_1)(1-r_2)(1-r_3) \dots (1-r_M)Q$. Рекуррентная формула для r_m начинается с $r_0 = 1$.

Коэффициенты $K_g = \frac{\lambda_g \rho l_c}{2D_g f_g^2}$, $K_v = \frac{\lambda_v \rho h_c}{2D_v f_v^2}$ относятся к горизонтальным и вертикальным патрубкам

секций теплообменника. Например, для первого вертикального патрубка использовали формулу $p_1 + \rho g h_c - p_{1'} = K_v Q_1^\alpha$.

С помощью Q_i определены расходы по верхним горизонтальным дугам: $q_1 = (1-r_M)Q$, $q_2 = (1-r_{M-1})(1-r_M)Q$, ..., $q_m = (1-r_{M-m+1})(1-r_{M-m+2}) \dots (1-r_M)Q$, ..., $q_M = (1-r_1)(1-r_2) \dots (1-r_M)Q$; и по нижним горизонтальным дугам теплообменника: $q'_1 = Q_M + Q_{M-1} + \dots + Q_2$, $q'_2 = Q_M + Q_{M-1} + \dots + Q_3$, ..., $q'_m = Q_M + Q_{M-1} + \dots + Q_m$, ..., $q'_{M-1} = Q_M + Q_{M-1}$, $q'_M = Q_{M+1}$.

С привлечением полученных участковых расходов найдены узловые давления теплообменника. В частности, значение давления на выходе из теплообменника (к входу выходной переемычки) составляет:

$$p_{1'} = p_1 + \rho g h_c - K_v Q_1^\alpha = p_1 + \rho g h_c - K_v r_M^\alpha Q^\alpha.$$

Гидравлические расчёты проводили для квадратичного режима сопротивления [20] с использованием формулы Шифринсона: $\lambda = 0.11(k/D)^{0.25}$, $\alpha = 2$.

Теплофизические показатели системы состоят из теплоёмкости c_p рабочей жидкости, среднего значения теплоотдачи 11 элементов теплоносителя. Температура на входе в теплообменник составляет T_H , а на выходе – T_K , ρQ – массовый расход теплоносителя. Температура теплоносителя гладко меняется по длине дуг, что описывается формулой Шухова [11,16]:

$$T(x) = T_{oc} + (T_H - T_{oc}) \exp\left(-\frac{k_{cp} D_{op}}{c_p \rho Q} x\right).$$

Здесь πD_{op} – площадь наружной поверхности трубопровода на единицу его длины; T_{oc} – температура окружающей среды.

Скачкообразное изменение температуры наблюдается в точках слияния двух потоков с расходами Q_1 и Q_2 и температурой T_1 и T_2 . Тогда среднерасходная температура теплоносителя после слияния определяется по формуле [11]:

$$T_K = \frac{T_1 Q_1 + T_2 Q_2}{Q_1 + Q_2}.$$

Общая потеря тепловой энергии в теплообменнике вычисляется по формуле:

$$Q_{ном} = \rho Q c_p (T_H - T_K).$$

Методы. Пронумеруем узлы верхней дуги через 1, 2, 3, ..., M , $M+1$, а нижней – $1'$, $2'$, $3'$, ..., M' , $(M+1)'$. Сначала определим узловые температуры в верхней дуге (T_1, T_2, \dots, T_M), потом – в нижних узлах вертикальных патрубков (для них входными данными служат узловые температуры верхней дуги), далее – температуры в нижних дугах и в конце – выходная температура T_K .

Узел 1. Расчёт температуры рабочего агента в конце входной перемычки. В ней расход воды составляет Q , осреднённый диаметр внешней поверхности $\dot{D}_p + 2\dot{\delta}_p$, входная температура T_H .

Определим значение коэффициента Шухова для входной перемычки:

$$Sh_p = \frac{k_{cp}\pi(\dot{D}_p + 2\dot{\delta}_p)}{\rho Q c_B}$$

Тогда в узле 1 температура нагретой воды составляет:

$$T_1 = T_{oc} + (T_H - T_{oc}) \exp(-Sh_p \dot{l}_p),$$

где \dot{l}_p – общая длина входной перемычки без учёта местных сопротивлений.

Узел 2. Расход по дуге 12 составляет q_1 . В связи с этим

$$T_2 = T_{oc} + (T_1 - T_{oc}) \exp(-Sh_g l_c),$$

где l_c – длина одной секции; здесь и далее

$$Sh_g = \frac{k_{cp}\pi(D_g + 2\delta_g)}{\rho q_i c_B}$$

Узлы 3..M + 1. В этих узлах пользуемся аналогичной рекуррентной формулой для температуры:

$$T_m = T_{oc} + (T_{m-1} - T_{oc}) \exp(-Sh_g l_g).$$

Для расчёта температуры нагретой воды в нижних концах вертикальных патрубков 1, 2, ..., m, ..., (M + 1) используется единая формула

$$\bar{T}_{m'} = T_{oc} + (T_m - T_{oc}) \exp(-Sh_{vm} h_c),$$

где h_c – высота секции (расстояние между осями верхней и нижней патрубков);

$$Sh_{vm} = \frac{k_{cp}\pi(D_v + 2\delta_v)}{\rho Q_m c_B}$$

Но здесь используются разные значения расхода Q_m по вертикальным патрубкам.

Переходим к расчёту узловых температур в нижних дугах. Заметим, что в звеньях $M(M + 1)$, $(M + 1)(M + 1)'$, $(M + 1)'$ M' расход теплоносителя одинаковый: $Q_{M+1} = q_{(M+1)'} = q_{M+1}$.

К узлу M' справа поступает нагретая вода с расходом Q_{M+1} и температурой

$$\dot{T}_{M'} = T_{oc} + (T_{(M+1)'} - T_{oc}) \exp(-Sh_{v(M+1)'} h_g).$$

Здесь и далее пользуемся обозначением:

$$Sh_{vm'} = \frac{k_{cp}\pi(D_g + 2\delta_g)}{\rho q_{m'} c_B}$$

В связи со слиянием потоков с расходами Q_M и Q_{M+1} средняя температура нагретого агента в начале дуги $M'(M - 1)'$ составляет:

$$\dot{T}_{M'} = \frac{Q_M \bar{T}_{M'} + Q_{M+1} \dot{T}_{M'}}{Q_M + Q_{M+1}} = \frac{Q_M \bar{T}_{M'} + Q_{M+1} \dot{T}_{M'}}{q'_M}$$

Аналогичная формула получается для узловых температур воды в узлах $m = (M - 1)', \dots, 1'$:

$$T_{m'} = \frac{Q_m \bar{T}_{m'} + q_m \dot{T}_{m'}}{q_{m-1}},$$

для использования которой сначала необходимо найти $\bar{T}_{m'}$.

В частности, на выходе из узла $1'$ средняя температура воды составляет:

$$T_{1'} = \frac{Q_1 \bar{T}_{1'} + q_1 \dot{T}_{1'}}{Q}$$

Осталось определить значение температуры воды, которая поступает в «обратку» – нижнюю магистраль:

$$T_K = T_{oc} + (T_{\nu} - T_{oc}) \exp(-Sh_p l_p),$$

где l_p – длина выходной перемычки;

$$Sh_p = \frac{k_{cp} \pi (D_p + 2\delta_p)}{\rho Q c_B}.$$

Представленный алгоритм легко реализуется в виде программы расчёта, где используются известные участковые расходы.

Основной интерес представляют узловые температуры воды и, особенно, температура на выходе из теплообменника.

В качестве примера ниже приведём значения узловых температур для теплообменника с десятью секциями (рисунок 2), полученные при $T_H = 343.15 \text{ K}$ и $T_{oc} = 340.76 \text{ K}$.

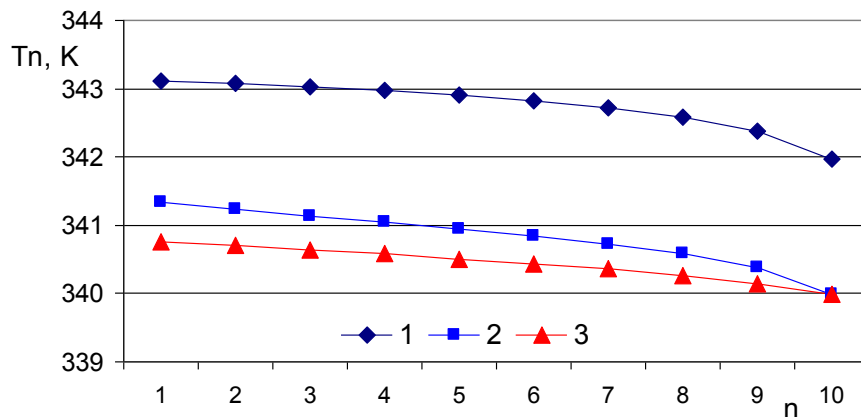


Рисунок 2. Узловые температуры (K) в теплообменнике с десятью секциями 1 – верхней дуги, 2 – на нижнем конце вертикальных патрубков, 3 – нижней дуги

Здесь и далее в графиках цифры 1, 2, 5, 6 соответствуют скорости общего потока в теплообменнике $w = 0.3 \text{ мс}^{-1}$, цифры 3, 4, 7, 8 – скорости 0.4 мс^{-1} ; цифры 1, 3, 5, 7 – температуре окружающей среды $T_{oc} = 293.15 \text{ K}$, а цифры 2, 4, 6, 8 – 298.15 K ; цифры 1-4 коэффициенту теплоотдачи $k_{cp} = 7.5 \text{ Вт м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, а цифры 5-8 – $17.5 \text{ Вт м}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Характер изменения температуры рабочего агента по верхней дуге – убывающий. Но здесь проявляется особенность формулы Шухова: с уменьшением расхода жидкости становится ощутимым изменение температуры нагретой воды. Также ощутимые изменения температуры воды наблюдаются по вертикальным патрубкам.

Несмотря на то, что скорость жидкости больше чем в горизонтальных патрубках, большие значения внешней поверхности на погонный метр и длины их приводили к такому результату. В результате в нижнем крайнем узле теплообменника температура теплоносителя принимает своё наименьшее значение. В нижней дуге по направлению потока температура практически равномерно возрастает, что объясняется слиянием потоков из вертикальных патрубков к потоку нижней дуги.

Следующие три рисунка представляют обобщённую информацию для восьми вариантов расчёта.

Значения температуры в узлах верхней дуги (рисунок 3) служат входными (граничными) условиями в расчёте перепада температуры теплоносителя по вертикальным патрубкам. Значения температуры теплоносителя в нижних концах вертикальных патрубков в зависимости от числа секций теплообменника представлены на рисунке 4. Более интенсивное падение температуры в конце теплообменника также объясняется меньшим расходом теплоносителя в последних секциях.

Более равномерное увеличение температуры теплоносителя по направлению потока наблюдается в узлах нижней дуги (рисунок 5). При $n = 15$ значения температуры для рассматриваемых вариантов повторяет результат рисунка 1. К узлу $n = 14$ поступает теплоноситель как слева, так и сверху. На выходе из узла $n = 14$ температура теплоносителя представляет среднерасходную этих потоков. Значение температуры при $n = 1$ представляет конечную температуру теплоносителя в теплообменнике с 15 секциями.

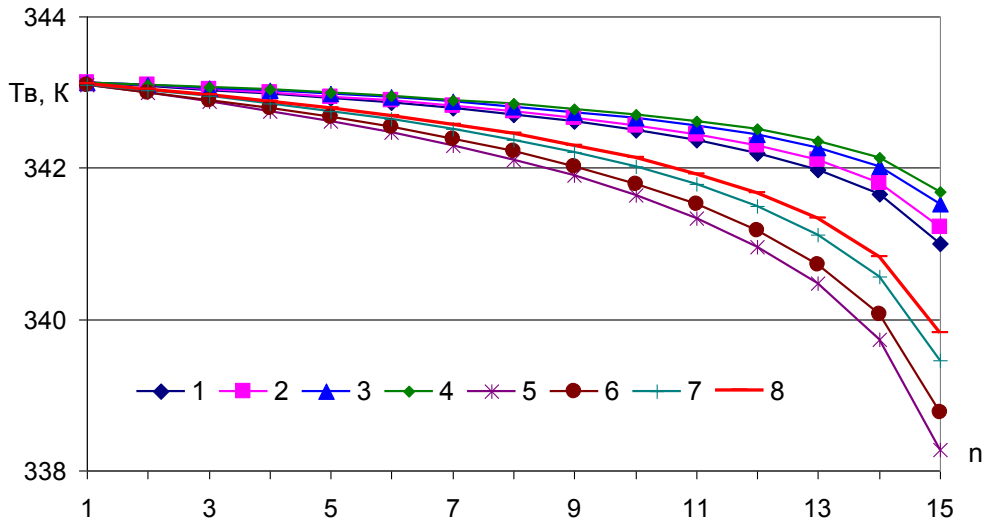


Рисунок 3. Значения температуры теплоносителя в узлах верхней дуги теплообменника с 15 секциями (обозначения смотрите в тексте)

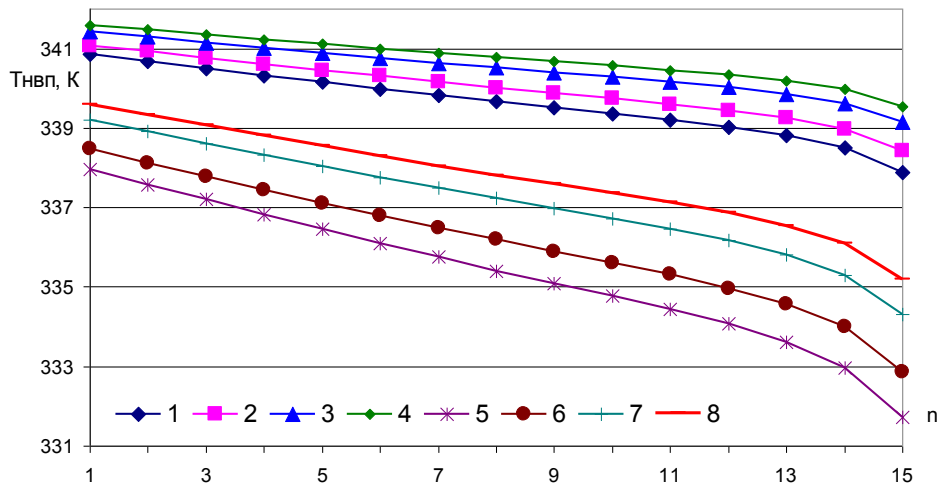


Рисунок 4. Значения температуры теплоносителя к подходу к нижнему концу вертикальных патрубков теплообменника с 15 секциями (обозначения смотрите в тексте и рисунке 3)

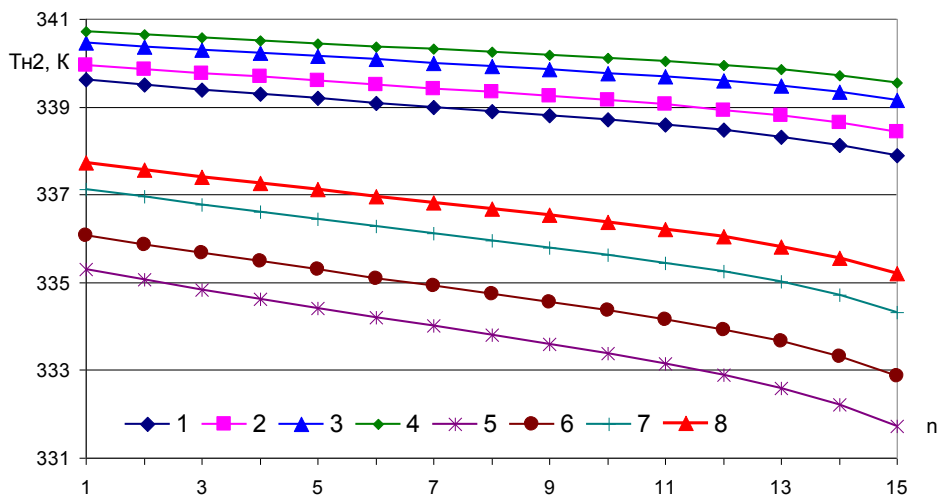


Рисунок 5. Значения узловых температур в нижней дуге теплообменника

На рисунке 6 приведены изменения выходной температуры теплоносителя в зависимости от числа секций теплообменника для вариантов 1-8. Они указывают на то, что:

а) с увеличением значения осредненного коэффициента теплоотдачи интенсифицируется процесс теплоотвода (этого можно достигать также увеличением площади контакта с теплоносителем, теплообменника и воздуха);

б) при меньших расходах также наблюдается увеличение теплоотвода;

в) отопительный процесс является саморегулируемым: с возрастанием температуры окружающей среды уменьшается теплоотдача теплоносителя.

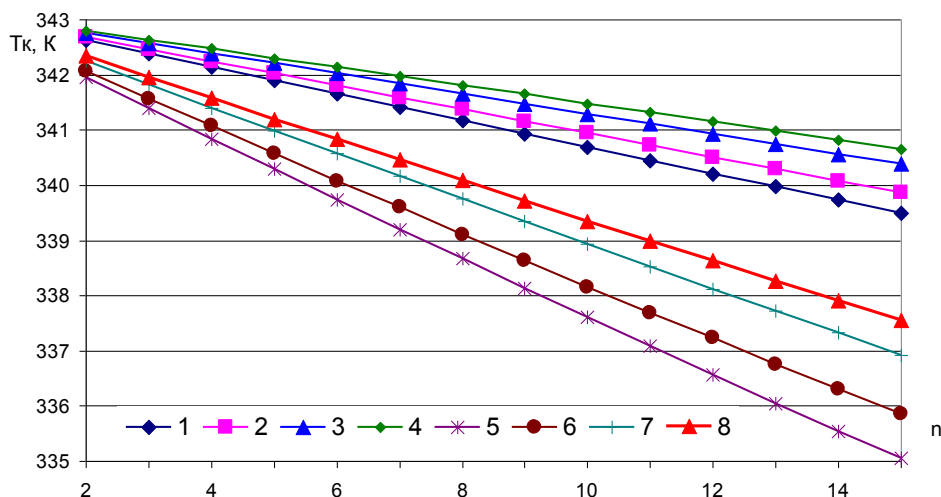


Рисунок 6. Значения температуры теплоносителя на выходе из теплообменника в зависимости от числа секций в теплообменнике

Эти суждения подтверждаются также графиками рисунка 7, где представлены результаты вычислительного эксперимента по общей потере тепла через теплообменник с n секциями при перечисленных выше восьми вариантах исходных данных.

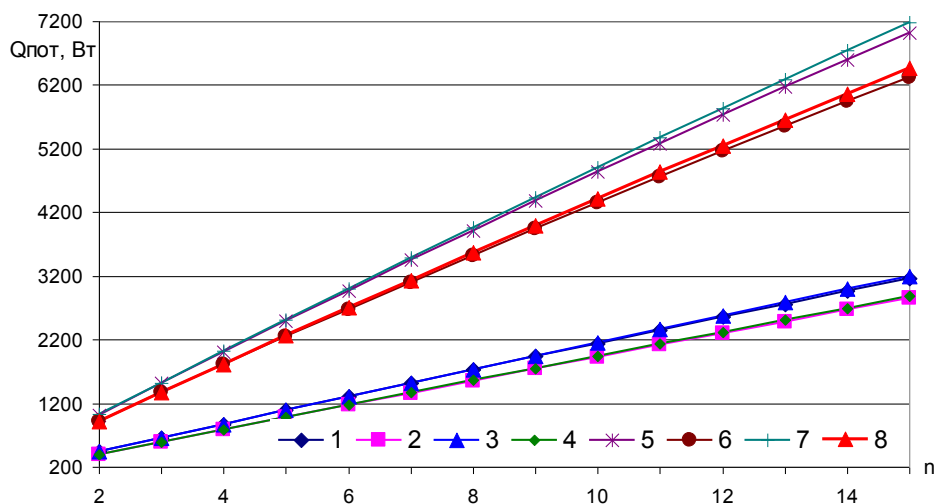


Рисунок 7. Общая потеря тепла по восьми вариантам вычислительного эксперимента в зависимости от числа секций в теплообменнике

Заключение. Резюмируя результаты работы, отметим, что разработаны алгоритм и программа теплового расчёта многосекционного теплообменника при известных дуговых расходах теплоносителя. Для путевого перепада температуры теплоносителя использована формула Шухова, а для слияния потоков – среднерасходная температура слиющихся потоков.

С использованием разработанной программы проведён вычислительный эксперимент для квадратичного режима сопротивления для различных значений количества секций теплообменника и определены дуговые расходы, узловые температуры и давления в зависимости от многочисленных исходных параметров объекта.

Выявлено, что с увеличением количества секций, а также при удалении от входа в теплообменник расходы по вертикальным патрубкам убывают. Наименьшая температура в

теплообменнике образуется в нижней части дальней секции. С увеличением значения осреднённого коэффициента теплоотдачи и с уменьшением расхода теплоносителя интенсифицируется процесс теплоотвода (этого можно достигать также увеличением площади контакта с теплоносителем, теплообменника и воздуха). Доказано, что отопительный процесс является саморегулируемым: с возрастанием температуры окружающей среды уменьшается теплоотдача теплоносителя.

Разработанный алгоритм расчёта отдельного теплообменника можно использовать при разработке алгоритма расчёта двухниточной сети отопления.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Исаев С.И., Кожин И.А. и др. Теория теплообмена. Под ред. А.И. Леонтьева. – М.: Высшая школа, 1979. – 495 с.
2. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М., 1957. – 420 с.
3. Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: В 2-х т. Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – С. 728 (1-й том 392 с.).
4. Пасконов В.М., Полежаев В.И., Чудов Л.А. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена. – М.: Наука, 1984. – 288 с.
5. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.
6. Юдаев Б.Н. Теплопередача. Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1973. – 360 с.
7. Формалев В.Ф., Кузнецова Е.Л., Рабинский Л.Н. Взаимодействие импульсного источника тепловой энергии с анизотропным пространством, теплофизические характеристики которого зависят от температуры // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. Вып. 11. Ч. 1. – С. 289-299.
8. Тихонов А.М., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Наука. – 1977. – 736 с.
9. Цой П.В. Системные методы расчета краевых задач теплопереноса: Прямые и обратные задачи нестационарной теплопроводности и термоупругих напряжений. Гидродинамика и теплообмен в каналах сложного профиля / 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 568 с.
10. Nana A. Mbroh, Justin B. Muniyakazi. A fitted operator finite difference method of lines for singularly perturbed parabolic convection–diffusion problems // Mathematics and Computers in Simulation, 2019. No 165 (39). – P. 156-171.
11. Миркин А.З., Усиньш В.В. Трубопроводные системы. – М.: Химия, 1991. – 256 с.
12. Басараб М.А. Численно-аналитический метод решения двумерных задач естественной конвекции в замкнутых полостях // Математическое моделирование и численные методы, 2014, № 1. – С. 18–35.
13. Тихомиров К.В., Серегеенко Э.С. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция: Учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 480 с.
14. Акбасов А.Р. Разработка интеллектуальной системы управления тепловыми сетями города: Дисс... док-ра PhD. – Алматы, Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, 2011. – 115 с.
15. Novitsky N.N., Alekseev A.V., Grebneva O.A., Lutsenko A.V., Tokarev V.V., Shalaginova Z.I. Multilevel modeling and optimization of large-scale pipeline systems operation // Energy, Volume 184, 1 October 2019, Pages 151-164 <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.070>
16. Евдокимов А.Г., Тевяшев А.Д., Дубровский В.В. Моделирование и оптимизация потока распределения в инженерных сетях. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1990. – 468 С. 88-127.
17. Зверева Т.В., Челинцев С.Н., Яковлев Е.И. Моделирование трубопроводного транспорта нефтехимических производств. – М.: Химия, 1987. – 176 с. стр. 90-93.
18. Штеренлихт Д.В. Гидравлика: Учеб. пособие для ВУЗов. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 351 с.
19. Рахимов А.Х., Хужаев И.К. Уточнение формул Шухова и Адамова для закачивающей скважины // Вестник ТашГТУ, 2006, № 2. – С. 9-15.
20. Хужаев И.К., Садуллаев Р., Арифжанов А.Ш. Об управлении процессами транспортировки сжимаемых и несжимаемых сред по параллельным трубопроводам // Автоматизация в промышленности – Москва. – №6, 2008. – С.19-20.

21. Jumayev J., Shirinov Z., Kuldashv H. *Computer simulation of the convection process near a vertically located source*// *International conference on information Science and Communications Technologies (ICISCT) 4-6 november. 2019. Tashkent. Conference Proceedings.* pp.635-638.

22. Наврузов К., Бегжанов А.Ш., Жумаев Ж., Шарипова Ш.Б. *Математическое моделирование гидродинамического сопротивления в колебательном потоке вязкоупругой жидкости*// *Известия вузов. Математика.* 2023, № 8, с.45-55.

23. Жумаев Ж., Авезов А.А. *Естественная конвекция между двумя вертикально расположенными стержнями*// *BuxDU ilmiy axboroti*, 2023, № 10, 54-59 betlar.

24. Jumayev J., Fatulloeva M.N. *Manbasiz turli materialli bir o'lchovli sohalarda issiqlik tarqalishini sonli o'rganish*// *BuxDU ilmiy axboroti*, 2023, № 9, 35-43 betlar.