

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут"

Міністерство освіти і науки України
Національна металургійна академія України
спеціалізована вчена рада Д 08.084.05

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

АЛТУХОВА ОЛЬГА ВАСИЛІВНА

УДК: 621.565.94:66.045

ДИСЕРТАЦІЯ

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, УДОСКОНАЛЕННЯ ТА
ОПТИМІЗАЦІЯ ПЛАСТИНЧАСТИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ**

Спеціальність 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова
теплоенергетика

144 – теплоенергетика

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ О.В. Алтухова

Науковий керівник – Канівець Георгій Євдокимович, доктор технічних наук,
професор

Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Алтухова О.В. Математичне моделювання, удосконалення та оптимізація пластинчастих теплообмінників. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) по спеціальності 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика (144 – теплоенергетика). Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", спеціалізована вчена рада Д 08.084.05 при Національній металургійній академії України, Дніпро, 2021.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливого науково-практичного завдання: оптимізація пластинчастих теплообмінників і вдосконалення методів їх розрахунку і оптимізації. У дисертації запропоновано нову методику автоматичного інтервального розрахунку пластинчастого теплообмінного апарату як комплексу теплообмінних поверхонь з використанням фрактального підходу. Ця методика дозволяє досягти підвищення точності теплового розрахунку до 10%, особливо для теплообмінників з невеликою кількістю пластин. Методика повністю автоматична і може бути використана у програмах оптимізації пластинчастих теплообмінників. Створено програму оптимізації пластинчастого теплообмінного обладнання для різних задач розрахунку, типів пластинчастих теплообмінників, з можливістю використання моделей різної точності. Проведено комплексний оптимізаційний розрахунковий експеримент для маслоохолоджувачів турбін з витратою мастила 10-250 кг/с, теплообмінників системи опалення потужністю 100-2000 кВт, регенераторів понадкритичного CO₂ циклу потужністю 1-15 МВт, підігрівачів повітря системи знеліднення газової турбіни потужністю 1-20 МВт. Рекомендовано оптимальні конструктивні та режимні параметри для цього обладнання. Встановлено, що пластинчасті теплообмінники ефективніше кожухотрубних по економічних критеріях для всіх діапазонів вищезазначених установок.

Визначено актуальні щодо сучасного рівня цін на метал та енергоносії швидкості теплоносіїв (води та мастила) в каналах пластинчастих теплообмінників, ці рівні швидкостей значно нижчі, ніж вважалося досі, і становлять 0,2 м/с для води та 0,35 м/с для мастила. Встановлено, як зміняться оптимальні швидкості при зростанні цін на метал або електроенергію. Рекомендоване рівняння для визначення оптимальної швидкості води у залежності від цін на метал та енергію, що може також бути використана для розрахунку оптимальної швидкості при використанні дорогих металів. Проведено ранжування незалежних змінних по впливу на результати оптимізації і надано рекомендації щодо порядку і кроку перебору їх, що дозволяє зменшити розмірність задачі оптимізації. Вироблено рекомендації щодо необхідності використання уточнених методів розрахунку.

Ключові слова: пластинчасті теплообмінники, оптимізація, моделювання, уточнений інтервальний тепловий розрахунок, маслоохолоджувачі, опалення, понадкритичний CO₂ цикл, газотурбінна установка, оптимальна швидкість теплоносія.

ABSTRACT

O. Altukhova. Mathematical modeling, improvement, and optimization of plate heat exchangers. - Manuscript.

Thesis for submission of a Candidate's degree in technical sciences under specialty 05.14.06 – «Technical Thermal Physics and Industrial Heat-Power Engineering». National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepr, 2021.

The thesis is devoted to the solution of an important scientific and practical task: optimization of plate heat exchangers and improvement of methods of their calculation and optimization. The thesis proposes a new approach for automatic interval calculation of a plate heat exchanger as a complex of heat exchange surfaces using a fractal approach. This approach makes it possible to achieve an increase in the accuracy of the thermal calculation up to 10%, especially for HEXs with a small number of plates. The approach is fully automatic and can be used in

plate heat exchanger optimization programs. A program for the optimization of plate heat exchangers has been created for various calculation problems, types of plate heat exchangers, with the possibility to use models of different accuracy. An integrated computational optimization experiment has been done for turbine lube oil coolers with 10-250 kg/s oil flow rate, heat exchangers of a heating system with 100-2000 kW transferred heat, regenerators of a supercritical CO₂ cycle with 1-15 MW power, air heaters for an anti-icing system of 1-20 MW gas turbine. Optimal design and operating parameters for this equipment are recommended. It was found that plate heat exchangers are more efficient than shell-and-tube heat exchangers in terms of economic criteria for all ranges of the above-mentioned installations. The fluids velocities (water and oil) in the channels of plate heat exchangers relevant to the current level of prices for metal and energy have been determined; these velocities are significantly lower than it was believed until now and are 0.2 m/s for water and 0.35 m/s for lubrication oil. It has been established how the optimal velocities will change with an increase in prices for metal or electrical energy. An equation is recommended to determine the optimal water velocity depending on metal and energy prices, and can also be used to calculate the optimal velocity when using expensive metals. The independent variables are ranked in terms of their influence on the optimization results and recommendations are given on the order and step of using them, which leads to reduce the dimension of the optimization problem. Recommendations have been developed on the need to use refined calculation methods.

Keywords: plate heat exchangers, optimization, modeling, refined interval heat calculation, lubrication oil coolers, heating, supercritical CO₂ cycle, gas turbine, optimal fluid velocity.

Список публікацій здобувача.

1. Алтухова О.В. Принципы формирования топологий схем тока сред в пластинчатых теплообменных аппаратах химических и других производств. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових*

- праць. Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. Харків, 2014. №28 (1071). С.3–11.
2. Каневец Г.Е., Алтухова О.В. Синтезатор алгоритмов и программ ОКПТО-2014. Структура, область применения, дальнейшие пути совершенствования. *Інтегровані технології та енергозбереження*. Харків, 2014. №4. С.130–133.
 3. Каневец Г.Е., Алтухова О.В. Принципы создания синтезатора алгоритмов и программ оптимизации пластинчатых теплообменных аппаратов. *Енергосбережение. Енергетика. Енергоаудит*. Харьков, 2014. №12. С. 35–39.
 4. Алтухова О.В., Каневец Г.Е. Эффективность пластинчатых теплообменников: комплексный оптимизационный вычислительный эксперимент. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*. Харків, 2017. № 9(1231). С52–56.
 5. Каневец Г.Е., Алтухова О.В., Маврич Е.А. Сравнение эффективности кожухотрубчатых и пластинчатых подогревателей конденсата. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*. Харків, 2019. № 1'2019. С39–42.
 6. Алтухова О.В., Канівець Г.Є. Оптимальні пластинчасті теплообмінники енергетичних установок. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*. Харків, 2020. № 1(3). С.35–41.
 7. Канівець Г. Є., Кошельник О. В., Алтухова О. В., Суїма С. Д. Розробка алгоритму та написання програми оптимізації пластинчастих теплообмінників. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. XIX міжнар. наук.-практ. конф., Ч.I (м. Харків, 01-03 черв. 2011 р.)*. Харків, 2011. С. 240.
 8. Г. Е. Каневец, А. В. Кошельник, О. В. Алтухова, С. Д. Суима, Л. М. Коваленко. Разработка алгоритма оптимизационного расчета пластинчатых теплообменников на основе структурно-модульного подхода. *Енергетика. Екологія. Людина: наукові праці НТУУ «КПІ», ІЕЕ. Київ, 2011. С.126–132.*

9. Г. Е. Каневец, А. В. Кошельник, С. Д. Суима, О. В. Алтухова. Повышение эффективности работы пластинчатых теплообменников путем оптимизации конструктивных и режимных параметров. *Енергетика. Екологія. Людина: наукові праці НТУУ «КПІ», ІЕЕ. Київ, 2011. С.133–138.*
10. Алтухова О.В., Канівець Г.Є. Структура й математична модель синтезу топології схеми току теплоносіїв у пластинчастих теплообмінних апаратах // *Інформаційні технології: наука, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. XX міжнар. наук.-практ. конф., Ч.І (м. Харків, 15-17 травня 2012 р.). Харків, 2012. С.230.*
11. Канівець Г.Є., Суїма С.Д., Кошельник О.В., Алтухова О.В. Розрахунковий експеримент при оптимізації пластинчастого теплообмінника. *Інформаційні технології: наука, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. XX міжнар. наук.-практ. конф., Ч.І (м. Харків, 15-17 травня 2012 р.). Харків, 2012. С.259.*
12. Каневец Г. Е., Алтухова О. В., Суима С. Д. Пилотный синтезатор средств оптимизации промышленных пластинчатых теплообменников. *Математические методы в технике и технологиях ММТТ-25: сб. трудов XXV Междунар. науч. конф.: в 10 т. Т. 10. Секция 12. Волгоград, 2012; Харьков, 2012. С.50–53.*
13. Алтухова О.В., Канівець Г.Є. Методика уточненого розрахунку пластинчастого теплообмінного апарату на основі фрактального підходу. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. XXI міжнар. наук.-практ. конф., Ч.І (м. Харків, 29-31 травня 2013 р.). Харків, 2013. С.261.*
14. Каневец Г.Е., Алтухова О.В. Синтезатор средств оптимизационного вычислительного эксперимента с теплообменным оборудованием различных конструкций и назначения как инструмент повышения эффективности теплообменников муниципальной энергетики. *Муниципальна енергетика: Проблеми, рішення: п'ята міжнар. наук.-техн. конф., 19-20 грудня 2013р. Миколаїв, 2013. С.103–106.*

15. Алтухова О.В., Канівець Г.Є. Універсальна методика автоматичної генерації моделі топології комплексів теплообмінних поверхонь для теплового розрахунку на основі фрактального підходу. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*: тези доп. XXII міжнар. наук.-практ. конф., Ч.V (м. Харків, 21-23 травня 2014 р.). Харків2014. С.252.
16. Каневец Г.Е., Алтухова О.В. Функциональная классификация пластинчатых теплообменников как основа для построения синтезаторов систем их расчёта и оптимизации. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*: тези доп. XXIII міжнар. наук.-практ. конф., Ч.I (м. Харків, 20-22 травня 2015 р.). Харків, 2015. С.269.
17. Каневец Г.Е., Алтухова О.В. Исследование влияния изменения независимых переменных на результаты оптимизации пластинчатых теплообменников. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*: тези доп. XXIV міжнар. наук.-практ. конф., Ч.I (м. Харків, 18-20 травня 2016 р.). Харків, 2016. С.260.
18. Алтухова О.В., Каневец Г.Е. Рекомендации по выбору оптимальных скоростей сред в пластинчатых теплообменниках. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*: тези доп. XXV міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2017, 17-19 травня 2017 р.: у 4 ч. Ч.I.– Харків, 2017. С.244.
19. Алтухова О.В., Каневец Г.Е. Влияние погрешности отдельных расчётов на итоговые результаты расчёта и оптимизации пластинчатого теплообменника. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*: тези доп. XXV міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2017, 17-19 травня 2017 р.: у 4 ч. Ч.I. Харків, 2017. С.243.
20. Nishit Mehta, Olga Altukhova, Abdul Nassar, Leonid Moroz. An Integral Approach to Designing of an Optimized and Reliable Anti-icing System under Off-Design Operating Regimes in a Gas Turbine. *ASME 2019 Gas Turbine India*

Conference. Indian Institute of Technology Madras, Chennai, India. December 5-6, 2019.

21. Moroz L., Pastrokakis V., Yevlakhov V., Altukhova O., Hoisan S. Accurate modeling of heat pump cycles with steam injection in off-design regimes utilizing an integrated approach. *Refrigeration Science and Technology*, IIR Rankine Conference 2020, 2020-July. P.358–372.

22. Leonid Moroz, Maksym Burlaka, Tishun Zhang, Olga Altukhova. Application of digital twin concept for supercritical CO₂ off-design performance and operation analyses. *Proceedings of ASME Turbo Expo 2020. Turbomachinery Technical Conference and Exposition*. GT2020. June 22-26, 2020, London, England, 2020.

ЗМІСТ:

Розділ 1. ОГЛЯД ПЛАСТИНЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ І СИСТЕМ ЙОГО РОЗРАХУНКІВ	19
1.1. Огляд конструкцій пластинчастих теплообмінників та областей їх використання	19
1.2. Узагальнені структури розрахунку теплообмінників	23
1.3. Методики теплових, гідравлічних, конструкторських і економічних розрахунків пластинчастих теплообмінників	25
1.4. Критерії оцінки ефективності теплообмінників	28
1.5. Класифікація та аналіз методів оптимізації обладнання	35
1.6. Розрахунок систем теплообмінників	36
1.7. Огляд існуючих програмних продуктів.....	38
1.8. Конкретизація цілей і завдань наукового дослідження	39
1.9. Висновки по розділу 1	40
Розділ 2. СИСТЕМНІ АСПЕКТИ СИНТЕЗУ АЛГОРИТМІВ РОЗРАХУНКУ І ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕПЛООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВНИХ ЕТАПАХ ЙОГО ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ	41
2.1. Функціональна класифікація пластинчастих теплообмінників різних конструкцій і їх розрахунків	42
2.2. Структурні основи системи розрахунку і оптимізації ПТО	49
2.3. Висновки по розділу 2	54
Розділ 3. ТИПОВІ АЛГОРИТМІЧНІ МОДЕЛІ (РОЗРАХУНКОВІ МОДУЛІ) ДЛЯ ПЛАСТИНЧАСТИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ	55
3.1. Система модулів формування набору вихідних даних	55
3.2. Система модулів конструкторських розрахунків теплообмінників .	56
3.3. Система модулів теплових розрахунків пластинчастих теплообмінників	61
3.4. Система модулів уточнених теплових розрахунків пластинчастих теплообмінних апаратів.....	69

3.4.1. Математична модель передачі тепла в теплообмінному елементі.....	71
3.4.2. Універсальний алгоритм формування топології схеми течіння середовищ в пластинчастому теплообмінному апараті.....	77
3.4.2. Інтервальний тепловий розрахунок: уточнення реальних температур середовищ в елементах.....	91
3.4.3. Валідація методики уточненого інтервального розрахунку ..	97
3.5. Система модулів гідравлічних розрахунків пластинчастих теплообмінників.....	101
3.6. Система модулів економічних розрахунків теплообмінників	102
3.7. Висновки по розділу 3	107
Розділ 4. ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ ЕКСПЕРИМЕНТИ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАСТИНЧАСТИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ ТА ЇХ РЕЗУЛЬТАТИ	109
4.1. Інструмент дослідження: програмний комплекс СПОТО	110
4.1. Основні параметри об'єктів, що аналізуються (вихідні дані для проведення обчислювального експерименту)	112
4.3. Опис проведених обчислювальних експериментів	115
4.3.1. Оптимальні теплообмінники та порівняння економічної ефективності пластинчастих і кожухотрубних теплообмінників, отриманих в результаті оптимізації при однаково широкому діапазоні зміни теплових навантажень і інших режимних параметрів.....	115
4.3.2. Ранжування незалежних змінних за ступенем їх впливу на результати оптимізації ПТО в широкому діапазоні зміни теплових навантажень та інших режимних параметрів	120
4.3.3. Дослідження впливу похибки теплових і гідравлічних розрахунків на похибку основних результатів розрахунків, а також на похибку результатів оптимізації.....	127
4.3.5. Дослідження впливу зміни вартостей енергоносіїв і матеріалів на діапазони оптимальних швидкостей.....	141

4.4. Висновки по розділу 4 150

Висновки по дисертації 152

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 154

ДОДАТКИ..... 166

ВСТУП

Актуальність теми.

Теплообмінні апарати (ТА) є обов'язковим і дуже важливим елементом всіх енергетичних, енерготехнологічних, технологічних, транспортних, комунальних, вугле-, нафто- газодобувних і переробних установок і багатьох інших об'єктів.

Згідно з аналітичним звітом компанії NEXSON GROUP в 2019 році обсяг світового ринку теплообмінників оцінювався в 15,3 мільярдів доларів США. За прогнозами експертів до 2024 року він досягне 20,5 мільярдів доларів, щорічно збільшуючись на 6 відсотків [1].

Якщо застосувати сучасний інструментарій при проектній оптимізації нових і оптимальній заміні діючих теплообмінних апаратів, то можна зменшити зазначені вище витрати на виробництво теплообмінників в середньому на 20-30%, а іноді і в декілька разів. Відповідно, за найскромнішими підрахунками, при використанні цього інструментарію можливо заощаджувати близько 6 мільярдів доларів щорічно.

Наведені факти свідчать про надзвичайну виробничу необхідність розвитку робіт з оптимізації теплообмінників.

Проведення цих робіт ускладнюється тим, що всі теплообмінні апарати розрізняються конструкцією, можливими розмірами (типорозмірами), матеріальним виконанням, складом, властивостями і масою теплоносіїв, їх температурними параметрами, процесами тепловіддачі, різноманіттям схем взаємодії потоків середовищ в апаратах і між апаратами, і багатьма іншими факторами.

Відповідно, при оптимізації розмірність оптимізаційної задачі, тобто число можливих альтернативних варіантів теплообмінників, надзвичайно велике, обчислюється багатьма тисячами. При цьому слід враховувати зростання складності математичних моделей і, відповідно, методів оптимізації при підвищенні вимог до точності оптимізаційних розрахунків і глибини пошуку оптимуму.

Пластинчасті теплообмінники (ПТО) показують високу ефективність в порівнянні з традиційними кожухотрубними в багатьох областях у зв'язку з компактністю, меншою металоємністю, простотою обслуговування. У міру вдосконалення цього виду обладнання можлива заміна їм кожухотрубних теплообмінників (КТО) у все більшій кількості випадків.

Тому в даній роботі розглядається актуальне завдання оптимізації конструктивних і режимних параметрів пластинчастих теплообмінників, що застосовуються в різних енергетичних установках.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами.

Результати дисертаційної роботи використовувались у проектах Міністерства освіти (2010 – 2017 рр): «Розробка теоретичних основ створення енергоефективних теплоутилізаційних комплексів на базі високотемпературних агрегатів з використанням когенераційних технологій», №ДР110U001235, «Підвищення енергоефективності систем скидної теплоти скловарних печей на основі моделювання та оптимізації теплообмінного обладнання» №0113U000423, «Розробка енергоефективних комплексних систем утилізації теплових вторинних енергоресурсів високотемпературних енерготехнологічних процесів» №0115U000523 що виконувалися на кафедрі теплотехніки та енергоефективних технологій НТУ "ХП".

Мета і завдання дослідження.

Метою дослідження є оптимізація конструктивних і режимних параметрів пластинчастих теплообмінників і вдосконалення методів їх розрахунку і оптимізації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести аналіз класифікацій теплообмінних процесів і пластинчастих теплообмінних апаратів, а також методів їх розрахунку, узагальнених структур розрахунку ПТО, їх ієрархію і типові структури, структур і змісту теплового, гідравлічного, конструктивного, економічного і оптимізаційного розрахунків ПТО різних рівнів точності, вибрати або

розробити критерії оцінки ефективності ПТО. При необхідності розробити відсутні методи та моделі.

2. На основі створених структурних основ і модулів теплового, гідравлічного, конструктивного, економічного і оптимізаційного розрахунків ПТО створити програму оптимізації пластинчастих теплообмінників з гофрованими пластинами.

3. Провести оптимізаційний обчислювальний експеримент за допомогою розробленої програми та визначити оптимальні конструктивні та режимні параметри для пластинчастих теплообмінників різних енергетичних установок. Провести порівняння економічної ефективності ПТО і КТО та (по можливості) дати рекомендації щодо ефективних галузей застосування цих апаратів.

4. Оцінити вплив зміни вартості матеріалів та енергії на оптимальні параметри ПТО. Визначити оптимальні швидкості теплоносіїв при нинішніх рівнях цін.

5. Оцінити вплив зміни конструктивних і режимних параметрів на ефективність ПТО. Визначити оптимальний порядок та крок перебору незалежних змінних при проведенні оптимізації.

6. Оцінити вплив точності застосовуваних моделей на результати розрахунку. Визначити, для яких випадків необхідне використання уточнених методів розрахунку.

Об'єкт дослідження – сучасні методи проектування та оптимізації пластинчастого теплообмінного обладнання.

Предмет дослідження – пластинчасті теплообмінники, що використовуються у якості маслоохолоджувачів парових турбін, в системах опалення та інших енергетичних установках.

Методи дослідження.

1. При створенні системи синтезу методів та алгоритмів розрахунку ПТО було використано системний структурно-модульний підхід. У цій роботі він отримав подальший розвиток.

2. У розробленому методі й алгоритмі уточненого розрахунку теплопередачі у системі каналів пластинчастого теплообмінного апарату було використано різноманітні чисельні методи розрахунку систем нелінійних рівнянь.

3. З метою отримання більшого ефекту за рахунок розширення області оптимізації ПТО використано новий, фрактальний метод розрахунку теплової ефективності комплексів теплообмінних поверхонь.

4. Інтегруюча технологія наукового дослідження – розрахунковий експеримент – була використана для оцінювання впливу різноманітних факторів на ефективність роботи ПТО, а також для оцінки впливу локальних та загальних похибок розрахунку на похибку результатів розрахунку і оптимізації ПТО.

5. Чисельне CFD 1 та 3-вимірне моделювання виконане для перевірки адекватності створеної методики уточненого інтервального розрахунку пластинчастого теплообмінника.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше запропоновано використання уточненого інтервального теплового розрахунку в пластинчастому теплообмінному апараті як комплексу теплообмінних поверхонь з використанням фрактального підходу. Це дозволило досягнути підвищення точності результатів теплового розрахунку до 10%. Можливість використання такого підходу підтверджено CFD розрахунками.

2. Вперше встановлено ступінь впливу похибки, допущеної у тепловому та гідравлічному розрахунках теплообмінника, на кінцеві результати його оптимізації. Це є основою доведення необхідності використання уточнених методів розрахунку теплообмінного апарата.

3. Розраховано оптимальні швидкості теплоносіїв у каналах пластинчастого теплообмінника в залежності від рівня цін на електроенергію та метал, та співвідношення між ними. Вперше запропоновано універсальну формулу для визначення оптимальної швидкості води в каналах

пластинчастого теплообмінника з урахуванням цих параметрів. Це дозволило досягнути економії при проектуванні теплообмінників на 20 – 30%, а також значно скоротити пошук їх оптимальної конструкції.

4. Вперше встановлено порядок та шаг перебору незалежних змінних, що забезпечує найшвидший пошук екстремуму критерію оптимальності при проектуванні пластинчастих теплообмінників, що дозволило значно скоротити розмірність задачі оптимізації.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Визначено оптимальні конструкції та режимні параметри пластинчастих теплообмінників для ряду потужностей різних енергетичних установок: маслоохолоджувачі парових турбін з витратою мастила 10-250 кг/с; теплообмінники системи опалення потужностями від 100 до 2000 кВт; регенератори понадкритичного CO₂ циклу потужностями 1-15 МВт; підігрівачі повітря системи знеліднення газотурбінного циклу потужностями 1-20 МВт.

2. Розроблений програмний продукт СПОТО для розрахунку і оптимізації ПТО може бути включений в системи автоматизованого проектування обладнання, він дозволяє проводити розрахункові експерименти та може бути використаний у наукових дослідженнях для пошуку шляхів подальшого удосконалення ПТО. У ньому вперше забезпечено можливість оцінки ефективності ПТО не лише на етапі проектування, але й в процесі експлуатації, модернізації, реконструкції, тобто на всіх етапах життєвого циклу.

3. Результати роботи можуть бути використані при викладанні сучасних ІТ-методів проектування та оптимізації різноманітного теплообмінного обладнання.

Особистий внесок автора.

Виконані дослідження та отримані результати є персональним досягненням здобувача. Безпосередній внесок автора у науковій роботі, а також виконаний у співавторстві, представлено у переліку робіт, опублікованих по темі дисертації.

У роботах [7-9, 12] автором розроблено алгоритм розрахунку та оптимізації ПТО. У роботах [10, 13, 15] автором розроблено уточнену методику розрахунку теплообміну у пластинчастому теплообмінному апараті. У роботі [13] автором сформовано принципи синтезу алгоритмів та програм розрахунку для пластинчастих теплообмінників. Робота [1] виконана здобувачкою самостійно. У роботі [2] здобувачкою зроблено опис створеної нею системи синтезу алгоритмів та програм ОКПТО та аналіз подальших шляхів її розвитку. У роботі [3] проаналізовано специфіку пластинчастих теплообмінників при створенні систем розрахунку. У роботі [16] викладено створені автором основи функціональної класифікації пластинчастих теплообмінників, яку було закладено в основу створеної системи оптимізації. У роботах [4, 5, 11, 17, 18, 19] здобувачкою проведено комплексні оптимізаційні розрахункові експерименти для різних енергетичних установок (маслоохолоджувачі парової турбіни, теплообмінники системи опалення, підігрівачі повітря газотурбінної установки та регенератори понадкритичного CO₂ циклу) та виконано аналіз отриманих результатів, вироблено рекомендації щодо оптимальних швидкостей теплоносіїв, ранжування незалежних змінних при проведенні оптимізації, виконано аналіз впливу похибки окремих розрахунків на кінцеві результати оптимізації. У роботах [20-22] здобувачкою виконано проектну оптимізацію теплообмінного обладнання у газотурбінному циклі із системою знеліднення, циклі теплового насоса та понадкритичному CO₂ циклі.

Апробація результатів дисертації.

Основні положення та результати дисертаційної роботи представлені доповідями на конференціях: «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» 2011–19; «Енергетика. Екологія. Людина», 2011 р; «Математические методы в технике и технологиях», 2012 р; «Муніципальна енергетика: Проблеми, рішення», 2013 р; «ASME 2019 Gas Turbine India Conference», 2019 р; «IIR Rankine Conference», 2020 р; «ASME Turbo Expo», 2020 р.

Публікації.

По темі дисертаційної роботи автором опубліковано 22 друкованих роботи, з них 6 статей у збірниках наукових праць, 16 доповідей та тез доповідей на конференціях.

Структура дисертації.

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних джерел, що включає 102 найменування, додатків.

Основний матеріал викладено на 165 сторінках машинописного тексту, містить 12 таблиць та 30 рисунків.

Робота виконувалась на кафедрі теплотехніки та енергоефективних технологій Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".

Розділ 1. ОГЛЯД ПЛАСТИНЧАСТОГО ТЕПЛООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ І СИСТЕМ ЙОГО РОЗРАХУНКІВ

1.1. Огляд конструкцій пластинчастих теплообмінників та областей їх використання

Пластинчасте теплообмінне обладнання в широкому розумінні – це ефективні теплообмінні об'єкти, в яких теплообмінною поверхнею є пластини різноманітної форми, профілю, з різними пристроями, насадками і т.п., методами інтенсифікації процесів тепловіддачі. Кількість різновидів теплообмінних пластин, що використовуються у світі, на даний момент обчислюється сотнями.

Пластинчасті теплообмінники (ПТО) випускає велика кількість виробників. Серед них фірми «Альфа Лаваль» (Швеція), SWEP (Швеція), GEA (Німеччина), AVR (Данія), Павлоградхіммаш, «Співдружність-Т», УкрНДІхіммаш (Україна), МБК «ОМК-ОБЩЕМАШКОНТРАКТ», «ЭКАМАШ» (Росія) та багато інших.

ПТО в даний час знайшли широке застосування в різних галузях промисловості, на транспорті, в комунальному господарстві, витісняючи в багатьох випадках навіть традиційні кожухотрубні теплообмінники. Як вказується в [2], частка ПТО в хімічній промисловості становить $15 \div 18\%$ всього теплообмінного обладнання, а у нафтопереробній та нафтохімічній вона досягає 50%. З удосконаленням ПТО ці показники будуть підвищуватися.

Створення науки про пластинчасті теплообмінні апарати спиралося на досягнення таких вчених, як Барановський Н.В., Коваленко Л.М., Ястребенецький А.Р., Тарадай А.М., Гуров О.І., Товажнянський Л.Л.

В [3] описується застосування пластинчастих теплообмінників в системах опалення та гарячого водопостачання. У даній роботі описаний

випадок незалежного підключення системи, даються різні схеми включення апаратів, відзначається, що ці теплообмінники працюють в широкому діапазоні зміни навантаження. У завдання цього дослідження входить оптимізація пластинчастих теплообмінників системи опалення за наведеними схемами.

Пластинчасті теплообмінники часто використовуються в системах отримання холоду. Цьому сприяє простота організації в них необхідної схеми течіння середовищ, в т.ч. рециркуляції теплоносія [2, 4].

В [2] також вказується на можливість застосування пластинчастих теплообмінників в якості багатопоточних (теплообмін між чотирма і більше теплоносіями), що досягається за рахунок розвідних колекторів.

В [5] описується застосування апаратів з профільних листів в якості підігрівачів повітря ГТУ, теплоуловлювачів, повітряпідігрівачів котельних установок а також для утилізації тепла технологічних процесів виробництва. В [6] описується їх використання для утилізації теплоти у ORC циклі, та у атомних реакторах [7].

У [8-11] описується використання пластинчастих теплообмінників у харчовій промисловості, у [12] – у сонячній енергетиці (нагрів побутової води), у [13-14] – у понадкритичному CO₂ циклі, у [15] – для утилізації скидної теплоти, у хімічній промисловості [16], у [17] – для авіації.

Тут ми привели окремі приклади застосування ПТО. В цілому, область застосування ПТО дуже широка і вона продовжує розширюватися в міру вдосконалення цього виду обладнання.

Розглянемо описані в літературі класифікації пластинчастих теплообмінних апаратів (ПТА).

Зокрема, відзначимо, що до пластинчастих відносять різні види ТА, причому в різних джерелах наводяться класифікації, відповідні різноманітним класифікаційним ознакам.

Наприклад, в [18] виділені наступні ПТА:

– гладкопластинчасті;

- штамповані пластинчасті (гофровані листи);
- прокатно-зварні (канали для протікання одного з середовищ утворюються при спаюванні або прокатці двох металевих листів), вони часто використовуються як атмосферні випарники;
- пакетні розбірні (складаються з гофрованих пластин, з'єднаних прокладками);
- компактні пластинчасті.

Також до ПТА іноді відносять спіральні апарати.

Пластинчасті теплообмінні апарати розрізняють за призначенням:

- ПТА широкого профілю або спеціальні;
- ПТА для житлового будівництва або для промисловості;
- ПТА для технологічних потреб, опалення, гарячого водопостачання, кондиціонування та ін. Прикладів аналогічних класифікацій дуже багато.

Також наводиться класифікація за процесом теплообміну в апараті [2]:

- теплообмін без зміни агрегатного стану робочих середовищ: нагрівачі та охолоджувачі (холодильники);
- теплообмін зі зміною агрегатного стану: конденсатори (дефлегматори) і випарники (кип'ятильники);
- одночасне проведення процесу теплопередачі і інших процесів: реактори, абсорбери, теплообмінники, вбудовані в установки і т.п.

Також розрізняють ПТА за родом робочих середовищ:

- паро-рідинні;
- рідинно-рідинні;
- газо-рідинні;
- газо-газові.

Далі проаналізуємо класифікації конструкцій пластинчастих теплообмінних апаратів.

Наприклад, ГОСТ 15518-87 дає таку класифікацію ПТА [19]:

1. За типами апаратів:

- Р – розбірні з одинарними пластинами,

- РС – розбірні зі здвоєними пластинами (полуразборные),
- Н – нерозбірні.

2. За конструктивним виконанням:

- виконання 1 – на консольній рамі,
- виконання 2 – на двоопорній рамі,
- виконання 3 – на трьохопорній рамі,
- зварна конструкція.

Класифікацію проводять і по ряду інших ознак, зокрема по конструкціях пластин і каналів, кількості ходів або каналів, матеріалах елементів конструкції [3-20].

Наведені класифікації пластинчастих теплообмінників є описовими. Вони незамінні для ручного розрахунку апаратів, так як дають однозначне уявлення про конструкцію апарату, по якій можна вибрати метод розрахунку. Ми ж прагнемо створити універсальний алгоритм, який буде легко поєднуватися з аналогічними алгоритмами розрахунку іншого теплообмінного обладнанні, що вже мають, наприклад, приведеними в [9, 21-26].

Так як класифікація є системною основою створення алгоритмів розрахунку, необхідно розробити функціональну класифікацію, що об'єднує якомога більшу кількість видів пластинчастих теплообмінників.

Найбільш повна функціональна класифікація теплообмінного обладнання, орієнтована на використання при створенні алгоритмів і програм розрахунку теплообмінників, наведена в [21]. Однак ця класифікація не враховує особливості конструкцій пластинчастих теплообмінних апаратів. Тому необхідно розробити аналогічну класифікацію, що враховує ці особливості, але дозволить формувати системи розрахунку та оптимізації ПТО.

1.2. Узагальнені структури розрахунку теплообмінників

Узагальнені структури є найважливішим інструментом, структурно-логічною основою алгоритмічних моделей, алгоритмів і програм усіх видів розрахунку теплообмінників різних конструкцій. Для кожного виду розрахунків вони показують зміст елементів розрахунку і схеми зв'язку між ними. Роботи зі створення системи узагальнених структур розрахунків різного виду для теплообмінного обладнання проводилося в Інституті газу Академії наук УРСР під керівництвом д.т.н. Канівця Г.Є. Є ряд матеріалів його учнів і співавторів, співробітників організацій УРСР, РРФСР, НДР, Польщі та інших країн, в тому числі д.т.н. Зайцева І.Д., д.т.н., проф. Головача І.І., д.т.н. Берліна М.А., д.т.н., проф. Сагану І.І., док. В.Кольбе, проф. Т. Залеського та ін.

Основні вимоги до узагальнених структур сформульовані Канівцем Г.Є. у докторській дисертації [24] і пізніше в монографії [21]. Головні з них:

1. Інваріантність по відношенню до конструкції обладнання і процесів, що протікають в ньому, тому що узагальнена структура містить лише загальний підхід при реалізації даного виду розрахунків для широкого класу об'єктів;

2. Ієрархічність узагальнених структур, тобто структури більш високого рівня включають в себе як елементи структури більш низького рівня, які можуть застосовуватися і окремо.

В [24] і [21] наведена розроблена Г.Є. Канівцем широка ієрархія узагальнених структур. Вона включає:

1. Узагальнені структури термодинамічних розрахунків.
2. Узагальнені структури конструкторських розрахунків. Ця група включає наступні узагальнені структури:
 - формування ряду типорозмірів апаратів;

- конструктивного розрахунку характеристик проточної частини апаратів;

- конструктивного розрахунку характеристик апарату;
- конструктивного розрахунку характеристик теплообмінника.

3. Узагальнені структури теплових розрахунків:

- розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі;
- розрахунку коефіцієнтів ефективності розвинених поверхонь;
- розрахунку термічних опорів відкладень на поверхні теплообміну;
- розрахунку теплопередачі в перерізі поверхні теплопередачі;
- розрахунку функції ефективності теплопередачі при різних схемах взаємодії теплоносіїв;

- розрахунку поверхні теплообміну;
- вибору апаратів і схем взаємодії середовищ в теплообміннику;
- розрахунку тепловтрат і теплопритоків;
- вирішення завдань режимного розрахунку.

Також до цієї групи відносяться універсальні узагальнені структури вирішення завдань теплового розрахунку, а саме:

- теплового (проектного) розрахунку теплообмінника;
- теплового (повірочного) розрахунку теплообмінника;
- теплового (проектно-повірочного) розрахунку теплообмінника.

4. Узагальнені структури гідравлічних розрахунків.

5. Узагальнені структури економічних розрахунків.

6. Узагальнені структури розрахунків при проектуванні.

7. Узагальнені структури оптимізуючих розрахунків. Тут наводиться ряд структур в залежності від цілей оптимізації:

- проектної оптимізації теплообмінників;
- режимної оптимізації теплообмінників;
- оптимальної заміни діючих теплообмінних апаратів;
- оптимальної уніфікації теплообмінного обладнання;
- оптимізації рядів типорозмірів апаратів;

– розрахунку теплообмінних систем.

Наведені вище узагальнені структури можуть застосовуватися для розрахунку будь-яких видів теплообмінного обладнання. Реалізація цих розрахунків для конкретного виду обладнання забезпечується системою змінних модулів.

Необхідно розробити систему узагальнених структур і змінних модулів, аналогічну вже наявним.

1.3. Методики теплових, гідравлічних, конструкторських і економічних розрахунків пластинчастих теплообмінників

У [9, 21-26] досить детально опрацьовані системи змінних модулів для розрахунку кожухотрубчастих теплообмінників, апаратів повітряного охолодження, апаратів типу труба в трубі, випарних апаратів. Розробка змінних модулів для пластинчастих теплообмінних апаратів, придатних для включення в зазначені вище узагальнені структури, також частково проводилася. Наприклад, згадки про уточнених розрахунках схем апаратів є в [26-27]. Однак повної системи модулів для розрахунку пластинчастих теплообмінників до цього моменту створено не було.

Розглянемо існуючі нині методи розрахунку пластинчастих теплообмінників.

Створення науки про пластинчасті теплообмінні апарати в нашій країні почалося в кінці 50-х років. Основний внесок в дослідження процесів теплообміну і течіння в пластинчастих теплообмінних апаратах був внесений такими вченими, як Коваленко Л.М., Барановський Н.В., Ястребенецький А.Р., Рудь С.Л., Тарадай А.М., Товажнянський Л.Л., Капустенко П.А. та ін. Ними були розроблені основні методи розрахунку цього виду обладнання – загальні підходи до розрахунку теплопровідності, тепловіддачі, променистого теплообміну, врахування впливу забруднень теплообмінної поверхні, а також питання течіння рідин і газів в каналах

апаратів, розрахунку гідравлічних опорів, методи оцінки оптимальності спроектованих конструкцій [2-3, 19, 28-29]. У [30] наводяться основні типи та принципи розрахунку компактних теплообмінників, у тому числі РСНЕ теплообмінники. Також створюються нові види теплообмінників, наприклад у [31] наводяться експериментальні дані для розрахунку панельного теплообмінника (РРНЕ). Системно викладений матеріал по широкому спектру моделей теплообміну та течіння у [32-35]. У [36-37] визначено залежності параметрів теплообміну від кута нахилу поверхні гофри.

За змістом розрахунку теплообмінників поділяють на [21]:

- розрахунки міцності,
- конструктивні (компонувальні) розрахунки,
- теплові розрахунки,
- гідромеханічні розрахунки,
- економічні розрахунки.

За способами забезпечення необхідної точності розрахунку їх ділять на [21]

- неінтервальний розрахунок при постійних коефіцієнтах,
- неінтервальний розрахунок з осередненням коефіцієнтів,
- неінтервальний розрахунок з лінеаризацією коефіцієнтів,
- неінтервальний розрахунок при заміні диференціалів різницями,
- інтервальний розрахунок,
- розрахунок з поінтервального лінеаризацією,
- інтервально-ітераційний розрахунок.

Інтервальні розрахунки, які є більш точними, припускають розбиття розглянутого теплообмінного пристрою на кінцеве число інтервалів і розрахунок кожного з них одним з перших 4-х способів.

Наприклад, в [38] наведено приклад розрахунку кожухотрубчастого теплообмінника з перехресним течінням теплоносіїв уточнено. Теплообмінник розглядається як система «мікротеплообмінників». У [39] розглянуто розбивку пластинчастого теплообмінника на

"мікротеплообмінники". Аналогічний метод необхідно розробити для розрахунку пластинчастого теплообмінного апарату для підвищення його точності, але зробити його повністю автоматичним.

В [40] пропонуються моделі для уточненого розрахунку теплообмінника інтервально-ітераційним методом для хімічно реагуючих сумішей. Визначаються розподіл температур сумішей і стінки, концентрацій реагуючих компонентів та ін. для протиточного одноходового кожухотрубчастого теплообмінника. Розрахунок реагуючих сумішей є цікавим (особливо для хімічної промисловості) і складним питанням і в цій роботі не розглядається.

В [41] наведено модель 2Д розрахунку пластинчастого теплообмінника з урахуванням забруднень. Вплив динаміки утворення забруднень аналізується також у [42-45]. 3Д розрахунки пластинчастих теплообмінників наведені, наприклад, у [46] та [47]. Методи чисельного рішення задач теплопровідності та тепловіддачі висвітлені в [48].

Для побудови топології схеми течіння теплоносіїв в пластинчастому теплообмінному апараті в [26] запропоновано алгоритм. Відзначається, що даний алгоритм може бути використаний для уточнених розрахунків апаратів.

В [27] наводиться алгоритм уточненого гідравлічного розрахунку пластинчастого теплообмінника з використанням алгоритму формування схеми течіння теплоносіїв з [26]. Однак, хоч цей алгоритм і може бути застосований для гідравлічного розрахунку апаратів, він непридатний для теплового, який є більш важливим при оптимізації за економічними критеріями ефективності.

Також проводились роботи по створенню методів оцінки оптимальності спроектованих ПТА. В [49] наводяться формули для розрахунку оптимальних швидкостей середовищ в каналах пластинчастих теплообмінних апаратів з гофрованими пластинами, що враховує вплив

теплофізичних властивостей середовищ, теплових, гідромеханічних і геометричних параметрів

$$w_1 = \left(\frac{4 \cdot \Delta P_1 \cdot \varphi \cdot c \cdot \Delta t_{cp} \cdot d_3^{n+0.25} \cdot F_1}{B \cdot B_1 \cdot L_{пп} \cdot \delta t_1 \cdot \rho_1 \cdot Pr_1^{0.32} \cdot Pr_{ст1}^{0.25} \cdot v_1^{n-0.75} \cdot f_1} \right)^{\frac{1}{2.75-n}}. \quad (1)$$

У цій формулі немає врахування економічних величин, що є важливим для економічних умов, що змінились за останні десятиліття, однак вона може бути застосована в алгоритмі оптимізації для знаходження початкового наближення.

У цій дисертації одним із завдань є створення системи модулів конструктивних, теплових, гідравлічних і економічних розрахунків пластинчастих теплообмінників різного рівня точності з використанням описаних вище методів.

1.4. Критерії оцінки ефективності теплообмінників

Формування задачі оптимізації наведено, наприклад, у [50]. При проведенні оптимізації важливо визначити параметр, за яким буде оптимізуватися досліджуваний об'єкт. Цей параметр повинен допускати кількісну оцінку, бути однозначним (кожному набору незалежних змінних має відповідати тільки одне значення критерію оптимальності), бути обґрунтований цілями оптимізації.

В [51] дається розгорнута класифікація параметрів оптимізації (або критеріїв оцінки ефективності) для широкого кола об'єктів. Автори ділять параметри опімізації на наступні основні категорії:

– економічні (прибуток, собівартість, рентабельність, витрати на експеримент);

- техніко-економічні (рентабельність, продуктивність, стабільність, надійність, коефіцієнт корисної дії, довговічність);
- техніко-технологічні (фізичні, механічні, фізико-хімічні та медико-біологічні характеристики продукту, вихід продукції);
- інші (психологічні, естетичні, статистичні).

При оптимізації теплообмінного обладнання найчастіше використовуються такі критерії оптимальності, як дохід [52], собівартість продукції, що випускається [53], прибуток або рентабельність [18], енергетичний критерій Кирпичева, що є відношенням переданого в теплообміннику теплового потоку до роботи нагнітачів, [54]

$$E_k = Q / AL \rightarrow \max, \quad (2)$$

та ін.

В [9] наводяться такі групи критеріїв оптимальності:

1. Енергетичні:

- коефіцієнт утримання тепла

$$\eta_{yt} = Q_B / Q_O = \eta_{по} / \eta_{пв} \rightarrow \max, \quad (3)$$

де $Q_O, Q_B, \eta_{по}, \eta_{пв}$ – теплові потоки і коефіцієнти втрат тепла від середовищ О (що віддає тепло) і В (що сприймає тепло) відповідно;

- коефіцієнт використання тепла

$$\eta_{ит} = Q / Q_{\max} \rightarrow \max, \quad (4)$$

де $Q, Q_{\max}$ – реальний і максимально можливий теплові потоки в теплообміннику;

- критерій Кирпичева (описаний вище, формула(2));

– критерій Глазера (коефіцієнт потужності)

$$\eta_T = Q / N \rightarrow \max, \quad (5)$$

де Q – реальний тепловий потік;

N – потужність нагнітача;

2. Термодинамічні:

– коефіцієнт термодинамічної оборотності (Грассмана)

$$\eta_{TO} = \Delta A_B / \Delta A_O \rightarrow \max, \quad (6)$$

де $\Delta A_O, \Delta A_B$ – приріст працездатності відданого і сприйнятого тепла;

– термодинамічний коефіцієнт Гюї-Стодола

$$\eta_T = 1 - \frac{\Delta A_O + \Delta A_B}{A_O + A_B} \rightarrow \max, \quad (7)$$

де A_O, A_B – працездатність відданого і сприйнятого тепла;

3. Натуральні:

– передане тепло;

– площа поверхні теплопередачі теплообмінника;

– маса теплообмінника;

– об'єм теплообмінника;

– загальна потужність нагнітачів;

– час роботи обладнання між чистками та ін.;

4. Економічні:

– капітальні вкладення K , грн $\rightarrow \min$;

- експлуатаційні витрати $\mathcal{E}$, грн/рік $\rightarrow \min$;
- собівартість передачі тепла C , грн/рік $\rightarrow \min$;
- приведені витрати, грн/рік

$$Z = \mathcal{E} + E_H \cdot K \rightarrow \min, \quad (8)$$

- де E_H – нормативний коефіцієнт економічної ефективності, 1/рік;
- розрахунковий термін окупності T_p , років $\rightarrow \min$;
 - річний економічний ефект, грн/рік

$$\mathcal{E}_r = (C_1 + K_1 \cdot E_{H1}) - (C_2 + K_2 \cdot E_{H2}) \rightarrow \max, \quad (9)$$

або

$$\mathcal{E}_r = (\mathcal{E}_1 + K_1 \cdot E_{H1}) - (\mathcal{E}_2 + K_2 \cdot E_{H2}) \rightarrow \max, \quad (10)$$

- де 1, 2 – індекси двох порівнюваних варіантів;
- коефіцієнт економічної ефективності, 1/рік

$$\mathcal{E}_k = \frac{C - C_k}{K} \rightarrow \max, \quad (11)$$

- де C – оптова ціна випуску продукції, грн/рік;

5. Комбіновані:

- питома матеріалоємність

$$G_Q = G / Q \rightarrow \min; \quad (12)$$

- питома потужність нагнітачів

$$N_Q = N / Q \rightarrow \min; \quad (13)$$

– питома площа

$$F_Q = F / Q = 1 / q \rightarrow \min; \quad (14)$$

– питомий об'єм

$$V_Q = V / Q \rightarrow \min; \quad (15)$$

– маса одиниці площі

$$G_F = G / F \rightarrow \min; \quad (16)$$

– площа одиниці маси

$$F_G = F / G = 1 / G_F \rightarrow \max; \quad (17)$$

– об'єм одиниці площі

$$V_F = V / F \rightarrow \min; \quad (18)$$

– площа одиниці об'єму

$$F_V = F / V = 1 / V_F \rightarrow \max; \quad (19)$$

– маса одиниці об'єму

$$G_v = G / V \rightarrow \max; \quad (20)$$

– об'єм одиниці маси

$$V_G = V / G = 1 / G_v \rightarrow \min; \quad (21)$$

– питома потужність

$$N_F = N / F \rightarrow \min; \quad (22)$$

– питомі приведені витрати

$$3_Q = 3 / Q \rightarrow \min, \quad (23)$$

і

$$3_F = 3 / F \rightarrow \min; \quad (24)$$

– питомі капітальні вкладення

$$K_Q = K / Q \rightarrow \min, \quad (25)$$

і

$$K_F = K / F \rightarrow \min; \quad (26)$$

– ціна одиниці маси

$$\Pi_G = K_{TO} / G \rightarrow \min, \quad (27)$$

де K_{TO} – капітальні вкладення в теплообмінник (без нагнітачів, обв'язки та ін.);

– ціна одиниці площі

$$\Pi_F = K_{TO} / F \rightarrow \min; \quad (28)$$

– питомі експлуатаційні витрати

$$\Xi_Q = \Xi / Q \rightarrow \min, \quad (29)$$

і

$$\Xi_F = \Xi / F \rightarrow \min. \quad (30)$$

В [55] знаходяться оптимальні числа Рейнольдса, відповідні мінімуму питомої ціни споживання.

В [54] вказується на те, що для пластинчастих теплообмінників не завжди діє аналогія Рейнольдса, яка стверджує, що зі збільшенням швидкості теплоносіїв зростає коефіцієнт тепловіддачі, однак спостерігається випереджаюче зростання гідравлічного опору середовища. Авторами пропонується критерій оцінки ефективності ПТО E , що є відношенням коефіцієнта тепловіддачі до питомих енерговитрат на подолання гідравлічних опорів. Вказується, що цей критерій є критерієм оптимізації внутрішніх параметрів каналу.

Для судових теплообмінників (наприклад, охолоджувачів води) критерієм, за яким може проводитися оптимізація, є ваго-габаритні показники [56]. Саме тому пластинчасті теплообмінники можуть виявитися найбільш оптимальними для цього застосування.

Оскільки створюваний нами алгоритм повинен включати якомога більший спектр вирішуваних завдань, то і набір можливих критеріїв оптимальності повинен бути широкий. Тому більшість перерахованих вище критеріїв були включені в алгоритм, вибір же з них найбільш підходящого для поставленого завдання повинен проводитися після ретельного обґрунтування.

Для цілей, поставлених у цій дисертації, найбільш доцільне використання економічних критеріїв, а саме приведених витрат і капітальних вкладень в теплообмінник.

1.5. Класифікація та аналіз методів оптимізації обладнання

Проведення оптимізації передбачає перебір ряду альтернативних варіантів конструкції і / або режимних параметрів теплообмінника і вибір з них найкращого по заданому критерію оптимальності. При цьому значення критерію оптимальності повинне наближатися до екстремуму (мінімуму або максимуму). Таким чином, завдання оптимізації зводиться до задачі пошуку екстремуму функції кількох змінних. При створенні алгоритмів оптимізації теплообмінного обладнання необхідно прагнути вибрати такий метод пошуку екстремуму, який дозволить знайти оптимальний варіант після якомога меншої кількості розрахунків.

В [21] розглядаються такі методи пошуку екстремуму при оптимізації теплообмінного обладнання:

- метод сіток (повний перебір всіх можливих варіантів);
- метод випадкового пошуку (генерація випадкових значень незалежних змінних);

- метод спуску;
- комбінація методів спуску і сіток;
- метод Гаусса-Зейделя;
- метод незалежного спуску з ранжуванням змінних.

Метод повного перебору використовується в цій дисертації при проведенні всіх обчислювальних експериментів для підвищення точності знаходження оптимуму (абсолютний оптимум). Однак, так як цей дослідницький інструмент був розроблений для різних цілей, було необхідно включити в нього і інші методи пошуку екстремуму, що дозволяють знаходити нехай не абсолютним оптимум, але з меншою (допустимою) кількістю переборів. Як буде показано далі, будь-які методи, засновані на методах спуску, незастосовні для розрахунку пластинчастих теплообмінників по створеному алгоритму. Однак може бути застосований комбінований метод, що поєднує в собі метод випадкового пошуку з установкою обмежень по оптимальній швидкості для теплообмінників, що використовують в якості теплоносія воду. Також може бути використаний феноменологічний метод пошуку екстремуму.

Планування оптимізаційних експериментів розглядається в [57], там же наводяться аналітичні та чисельні методи оптимізації. Теорія планування експерименту освітлена також в [51]. Однак ці методи не використовувалися в даній роботі, тому що спочатку стояло завдання провести повний перебір всіх варіантів теплообмінників.

1.6. Розрахунок систем теплообмінників

Часто оптимізація теплообмінників неможлива без оптимізації схеми, в якій цей апарат встановлений. В [58] описується побудова оптимальної характеристики газотурбінного циклу з урахуванням основних показників теплообмінних пристроїв. Тут наголошується, що необхідно встановити оптимальний зв'язок між ступенем регенерації і падінням тиску по трактах.

Це співвідношення повинно давати найбільший ККД газотурбінної установки. У джерелі наведено рішення даної оптимізаційної задачі.

Аналогічний випадок описується в [59], де проводиться оптимізація газотурбінної установки з використанням програми DNA (Dynamic network analysis). Розглядається цикл, в якому в якості регенератора використовується пластинчато-ребристий теплообмінник.

В [2] описана схема пастеризації молока із застосуванням 6-ти пластинчастих теплообмінників, з'єднаних таким чином, що для попереднього нагріву молока використовується теплота готового продукту, який підлягає охолодженню.

В [60-61] вказується на необхідність оптимізації устаткування газопереробних підприємств. Така оптимізація передбачає оптимізацію комплексів теплообмінників. Тут же розповідається щодо реалізації САПР для моделювання подібних систем. При подібному моделюванні також важливо брати до уваги пінч-аналіз, як вказано у [62].

Найбільш значний внесок в розробку теоретичних основ розрахунку і оптимізації хіміко-технологічних систем внесли Кафаров В.В. і його учні [52, 63-64]. Математична модель, проектування, завдання оптимізації таких систем розглянуто також в [65]. Для побудови топологічних моделей хіміко-технологічних систем звичайно використовуються графи [57].

Товажнянський Л.Л., Капустенко П.О. розвинули теорію пінч-аналізу для створення оптимальних теплообмінних систем [66-68]. Серед англomовних джерел можна виділити наступне [69].

Також оптимізацією систем теплообмінників, в тому числі в застосуванні до нафто- і газопереробки, займалися Головач І.І. [22], Канівець Г.Є., Іванова Н.В., Берлін М.А.[60].

Розроблена в цій дисертації система розрахунку може бути в подальшому використана для оптимізації подібних систем.

1.7. Огляд існуючих програмних продуктів

Безперечним лідером на ринку програмного забезпечення для розрахунку теплообмінного обладнання є програма AspenExchanger Design & Rating. Вона дозволяє також розраховувати і системи теплообмінників (AspenHYSYS). У цьому продукті добре опрацьовані методи моделювання хімічних реакцій, є база даних властивостей багатьох речовин. Однак у вільному доступі немає відкритих даних про використовуваних розрахункових моделей, програма поширюється на комерційній основі. На мале число розрахунків може впливати користувач. Не ясно, як проводиться оптимізація. Також немає інтервального розрахунку теплообмінника, що має декілька ходів теплоносіїв, лише інтервальний розрахунок одноходового теплообмінника з розбивкою по довжині пластини.

В [70] описана програма для розрахунку компактних теплообмінників, створена в NREC (Northern research and engineering corporation). На жаль, знайти і протестувати саму програму автору не вдалося.

На ринку комерційних продуктів також з'явилася програма COMSOL, що дозволяє визначати тривимірні температурні поля в елементах конструкцій, проводити тривимірні CFD розрахунки течії середовищ в теплообмінниках. Але вона не може бути застосована для автоматичного перебору великої кількості варіантів конструкцій та режимних параметрів, що необхідно при оптимізації.

Також існує ряд програм, створених виробниками теплообмінного обладнання, що дозволяють проводити розрахунки (в тому числі і оптимізуючі) наданими ними сортаменту. Наприклад, це програма фірми AlfaLaval AlfaSelect, CAS 200, Swep plate heatexchanger calculation program-SHC та ін. Але глибина пошуку оптимуму в цих програмах незначна.

При реалізації синтезатора засобів розрахунку і оптимізації пластинчастого теплообмінного обладнання по можливості враховувались сильні сторони відомого програмного забезпечення

1.8. Конкретизація цілей і завдань наукового дослідження

Метою дослідження є оптимізація конструктивних і режимних параметрів пластинчастих теплообмінників енергетичних установок і вироблення рекомендацій щодо вдосконалення методів і алгоритмів їх розрахунку і оптимізації за допомогою створеної системи синтезу алгоритмів, яка дозволить синтезувати алгоритм розрахунку і оптимізації практично будь-якого пластинчастого теплообмінника на всіх етапах його життєвого циклу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Провести аналіз класифікацій теплообмінних процесів і пластинчастих теплообмінних апаратів, а також методів їх розрахунку.
2. Проаналізувати узагальнені структури розрахунку ПТО, їх ієрархію і типові структури.
3. Виконати аналіз структур і змісту теплового, гідравлічного, конструктивного, економічного і оптимізаційного розрахунків ПТО різних рівнів точності.
4. Вибрати або розробити критерії оцінки ефективності ПТО.
5. Створити функціональні класифікації ПТО і основних видів їх розрахунків.
6. Розробити модулі теплового, гідравлічного, конструктивного, економічного і оптимізаційного видів розрахунків ПТО.
7. Розробити і застосувати методи уточненого теплового розрахунку ПТО.
8. Розробити і застосувати основу теплових розрахунків – методи оцінки теплової ефективності великої кількості основних альтернативних схем взаємодії потоків середовищ в окремих теплообмінних апаратах, а також в теплообмінниках, що складаються з цих апаратів.
9. Розробити програму розрахунку і оптимізації ПТО.
10. Провести оптимізаційний обчислювальний експеримент за допомогою розробленої програми та оцінити:

- вплив зміни конструктивних і режимних параметрів на ефективність ПТО;
- вплив точності застосовуваних моделей на результати розрахунку;
- вплив зміни вартості матеріалів та енергії на оптимальні параметри ПТО.

11. Провести порівняння економічної ефективності ПТО і КТО та (по можливості) дати рекомендації щодо ефективних галузей застосування цих апаратів.

12. Розробити рекомендації щодо використання результатів дослідження на практиці.

1.9. Висновки по розділу 1

У розділі 1 наведено огляд виробленого в світі в даний час пластинчастого теплообмінного обладнання. Проаналізовано стан розрахунків цього виду обладнання, розглянуті основні його методики. Також проведено аналіз застосовуваних критеріїв оптимальності і методів пошуку його екстремуму. Дан огляд існуючих програмних продуктів.

На підставі перерахованого сформульовані мета і завдання дисертаційного дослідження, а саме розробка синтезатора алгоритмів і програм розрахунку і оптимізації пластинчастих теплообмінників, що дозволить провести оптимізацію пластинчастих теплообмінників енергетичних установок і виробити рекомендації щодо вдосконалення алгоритмів їх розрахунку і оптимізації. Також такий синтезатор поповнить вже наявний спектр алгоритмів і програм розрахунку різних видів теплообмінного обладнання (кожухотрубчатого, апаратів повітряного охолодження, апаратів типу труба в трубі, випарних апаратів і ін.) В частині пластинчастих теплообмінників. Він може бути включений в подальшому в структури оптимізації систем теплообмінників.

Розділ 2. СИСТЕМНІ АСПЕКТИ СИНТЕЗУ АЛГОРИТМІВ РОЗРАХУНКУ І ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕПЛООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ РІЗНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВНИХ ЕТАПАХ ЙОГО ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

Синтезатори засобів розрахунку і оптимізації теплообмінного обладнання (далі просто синтезатори) – це алгоритми і програми, що дозволяють генерувати окремі, вузькоспеціалізовані програмні продукти для виконання конкретних розрахунків певного виду обладнання. Т.ч. синтезатор являє собою якийсь універсальний алгоритм і компілятор (в частині реалізації), який об'єднує і погоджує розрахунки широкої області об'єктів × завдань.

Алгоритми і програми розрахунку і оптимізації теплообмінного устаткування є одними з найбільш трудомістких в системах автоматизованого проектування (САПР) і наукових досліджень (АСНИ).

Синтезатори алгоритмів і програм розрахунку і оптимізації теплообмінного устаткування розроблені на основі системного структурно-модульного підходу [21]. Застосування цього підходу дозволяє домогтися ряду переваг у порівнянні з іншими методами.

Значною перевагою є широка гама різновидностей розрахунку. Можливі розвиток, доробка алгоритму без зміни його структури. Алгоритм являє собою систему, відкриту для включення нових модулів. При необхідності проводиться доповнення або заміна модуля без зміни загальної структури алгоритму.

По-друге, застосування даного підходу дозволяє створювати такі алгоритми і програми, які можна супроводжувати і модифікувати без участі авторів, що досягається за рахунок зрозумілості, доступності алгоритму. Дана особливість значно спрощує їх включення в системи автоматизованого проектування і автоматизовані системи наукових досліджень.

Третьою перевагою є можливість агрегування – об'єднання елементів алгоритмів в єдину систему. При цьому забезпечується рішення дворівневої задачі: на верхньому рівні проводиться пошук оптимальних режимних параметрів (окремого елемента або системи в цілому); на нижньому рівні – пошук оптимальних конструктивних параметрів (стосовно до певного елемента системи). Окремі складові елементи алгоритму можна використовувати також як самостійні алгоритми.

2.1. Функціональна класифікація пластинчастих теплообмінників різних конструкцій і їх розрахунків

Серед відомих до теперішнього часу найбільш повної і системної є розрахункова класифікація теплообмінників, запропонована в [21]. Эта классификация охватывает все существующие виды теплообменников. Она взята за основу при создании описанной здесь новой, обобщённой функциональной классификации пластинчатого теплообменного оборудования.

Ця класифікація охоплює всі існуючі види теплообмінників. Вона взята за основу при створенні описаної тут нової, узагальненої функціональної класифікації пластинчастого теплообмінного обладнання.

З безлічі класифікаційних ознак далі виокремлені лише найбільш суттєві, функціональні ознаки, які впливають на структуру, специфіку теплових, конструкторських, гідравлічних, економічних і оптимізують розрахунків. Запропонована функціональна класифікація, заснована на цих ознаках, є розрахунковою, служить цілям кращої організації математичних моделей, є структурною основою систем синтезу алгоритмів і програм розрахунку обладнання і не підміняє відомі, виклад в літературі описові класифікації.

Структуру запропонованої класифікації формують три групи найбільш істотних ознак теплообмінних об'єктів:

1 група. Функціональні ознаки:

1. Спосіб передачі тепла.
2. Поєднання процесів теплообміну в апараті.
3. Характер теплового режиму.

Функціональні ознаки конкретизують область пошуку методів розрахунку процесів теплопереносу для кожної з середовищ: елементарних (теплопровідність, конвекція, випромінювання) і комбінованих (тепловіддача, конвективно-радіаційний, молекулярно-радіаційний, молекулярно-конвективно-радіаційний теплоперенос).

2 група. Конструктивні ознаки:

4. Форма теплообмінного модуля.
5. Тип поверхні, що передає тепло.
6. Конструкція апарату.
7. Структура пристрою, що передає тепло.
8. Конструктивна компоновка апаратів в теплообміннику.
9. Просторове розташування апаратів.

Конструктивні ознаки (2 група) забезпечують коректний вибір окремих, приватних методів розрахунку згаданих вище процесів теплопереносу для кожного з середовищ з області, що конкретизується за допомогою функціональних ознак 1-ї групи. Крім того, за допомогою значень п'яти ознак форми теплообмінного модуля (див. далі) забезпечується конкретизація методів розрахунку коефіцієнта теплопередачі в перерізі теплообмінної поверхні.

3 група. Ознаки схем течіння середовищ:

10. Схема течіння в елементі.
11. Схема течіння в апараті.
12. Схема течіння в теплообміннику.

Ознаки схем течіння середовищ (3 група) використовуються при створенні структури універсальної системи розрахунку теплопередачі в теплообмінних об'єктах з будь-якими, в тому числі найскладнішими, схемами течіння середовищ.

Локальні класифікації теплообмінних об'єктів за ознаками 1, 3, 9 детально описані в роботах [21,23], а класифікація структур пристроїв, що передають тепло, за ознакою 7 приведена в [22]. Нижче описані створені автором інші локальні класифікації, складові узагальненої функціональної класифікації пластинчастого теплообмінного обладнання. При створенні цих класифікацій були використані дані про уже існуючі види пластинчастих теплообмінників різних конструкцій та призначення [29, 37, 71-72] та ін.

Класифікація процесів теплообміну в апараті

1. Процеси з відведенням тепла (від середовища О, що віддає тепло) – шифр ПО:

ПО1. Охолодження (газу, рідини, суспензії, розчину, чистих або індивідуальних речовин, багатокомпонентних сумішей і ін.) Без зміни агрегатного стану.

ПО2. Конденсація індивідуальних речовин.

ПО3. Конденсація багатокомпонентних сумішей.

ПО4. Конденсація паро-газових сумішей.

ПО5. Кристалізація (з розплаву при охолодженні розчинів).

ПО6. Виморожування льоду в рідині.

2. Процеси з підведенням тепла (до середовища В, що сприймає тепло) – шифр ПВ:

ПВ1. Нагрівання (газу, рідини, суспензії, розчину, чистих або індивідуальних речовин, багатокомпонентних сумішей і ін.) Без зміни агрегатного стану.

ПВ2. Кипіння індивідуальних речовин.

ПВ3. Кипіння багатокомпонентних сумішей.

ПВ4. Кристалізація (википання розчинника з розчину).

ПВ5. Плавлення льоду в льодо-рідинній суміші.

Поєднання цих випадків дає 30 варіантів процесів теплопереносу в теплообмінній поверхні (ТП), теплообмінному модулі (ТМ), апараті або теплообміннику. Наприклад, поєднання ПО1 ПВ1 – нагрівач, охолоджувач,

нагрівач-охолоджувач, ПО2 ПВ1 – конденсатор, ПО2 ПВ2 – конденсатор-випарник, ПО1 ПВ4 – елемент випарної установки або кристалізатор (викіпання розчинника з розчину і т.д.).

Класифікація форми теплообмінного модуля (ТМ).

Як було показано вище, теплообмінний модуль – характерна частина поверхні теплообміну. З теплообмінних модулів можна набрати поверхню будь-яких розмірів. Приклади поверхонь пластинчастих теплообмінників наведені, наприклад, у [71]. Форма теплообмінного модуля задається за допомогою п'яти визначників [21]:

1. Форма основної (несучої) поверхні теплообмінного модуля – шифр Ф:

Ф1. Плоска стінка.

Ф2. Вигнута (гофрована) пластина.

Ф3. Пластина паяна з внутрішніми каналами.

Ф4. Інші види пластин.

2. Форма поверхні теплообмінного модуля, що омивається середовищем О – шифр ФО:

ФО1. Гладка поверхня без оребрєння.

ФО2. Шорстка поверхня без оребрєння.

ФО3. Рїзнї фїгурнї поверхнї.

ФО4. Оребрєнї поверхнї:

ФО401. Ребра поперечнї постїйної висоти, що повторюють форму несучої поверхнї.

ФО402. Ребра розрїзнї постїйної висоти, що повторюють форму поверхнї.

ФО403. Ребра поперечнї чотирикутнї.

ФО404. Ребра поперечнї багатокутнї.

ФО405. Ребра поперечнї пластинчастї.

ФО406. Ребра поперечнї їншої форми.

ФО407. Ребра поздовжнї суцїльнї.

ФО408. Ребра поздовжнї розрїзнї.

ФО409. Ребра плавникові.

ФО410. Ребра поздовжні іншої форми.

ФО411. Ребра шипові, розташовані в ряд.

ФО412. Ребра шипові, розташовані в шаховому порядку.

ФО413. Ребра шипові інші.

ФО414. Ребра дровові різні.

ФО415. Інші типи ребер.

3. Форма профілю ребер на поверхні В – шифр РВ:

РО1. Ребра одношарові, прямокутний профіль (або постійної товщини).

РО2. Ребра одношарові, трапецеїдальний профіль.

РО3. Ребра одношарові, еліптичний профіль.

РО4. Ребра одношарові, гіперболічний профіль.

РО5. Ребра одношарові, трикутний профіль.

РО6. Ребра одношарові, інші профілі (перетину).

РО7. Ребра багатошарові, прямокутний профіль.

РО8. Ребра багатошарові, трапецеїдальний профіль.

РО9. Ребра багатошарові, еліптичний профіль.

РО10. Ребра багатошарові, гіперболічний профіль.

РО11. Ребра багатошарові, трикутний профіль.

РО12. Ребра багатошарові, інші профілі (перетину).

4. Форма поверхні теплообмінного модуля, що омивається середовищем В – шифр ФВ: збігається з ФО;

5. Форма профілю ребер на поверхні В – шифр РВ: збігається з РВ.

Форма теплообмінного модуля характеризує вид і форму пластини, а також вид і форму ребер, якщо вони є. Комбінація цих п'яти визначників дає різноманітні форми ТМ і утворених каналів для потоку робочих середовищ. Відзначимо, що наведена класифікація форм дещо ширше існуючого сортаменту ПТО. Це зроблено для легкості об'єднання з аналогічною класифікацією КТО.

Класифікація типу теплообмінної поверхні

Тип поверхні теплопередачі характеризується способом взаємного розташування в ній теплопередаточних елементів, тобто способом компонування поверхні теплообміну:

П1. Одиночний (одиничний) теплопередаточний елемент.

П2. Пакет теплопередаточних елементів.

П3. Інші види поверхні.

Класифікація конструкції теплообмінного апарату.

Конструкція апарату задається чотирма визначниками:

1. Конструктивне обмеження поверхні теплопередачі в апараті – шифр КО:

КО0. Без огорожі. Оточення – природні середовища (повітря та ін., гази, вода та ін., рідини, земля та ін.).

КО1. У трубі (кожусі).

КО2. У коробі, шахті (прямокутного або багатокутного профілю).

КО3. У ванні (для заглибних поверхонь).

КО4. В огороженні з сорочкою.

КО5. В огороженні інших форм.

КО6. У квадратному масиві.

КО7. В інших масивах.

2. Матеріальне виконання теплообмінного апарату:

2.1. Матеріальне виконання пластин – шифр МП:

МП0. Без ознаки.

МП1. Корозійностійка сталь.

МП2. Титан.

МП3. Паладій.

МП4. Вуглецева сталь.

МП5. Нікель.

МП6. Молібден.

МП7. Інші метали.

МП8. Неметалеві матеріали.

2.2. Матеріальне виконання рами – шифр МР:

MP1. Вуглецева сталь.

MP2. Нержавіюча сталь.

2.3. Матеріальне виконання з'єднань – шифр MC:

MC1. Нержавіюча сталь.

MC2. Титан.

MC3. Гума.

MC4. Каучук.

MC5. Інші метали і матеріали.

2.4. Матеріальне виконання прокладок – МПР (в залежності від видів робочих середовищ).

3. Конструктивна організація обтікання поверхні теплообміну з боку середовища, що віддає тепло, (O) – шифр OO:

OO0. Без ознаки.

OO1. Поздовжнє обтікання (уздовж осі елемента, пучка і т.д.) при напірному русі середовища.

OO2. Поперечний обтікання.

OO3. Обтікання під кутом ($\neq 0, 90, 180$).

OO4. Комбіновані випадки обтікання.

OO5. Більш складні випадки обтікання.

OO6. Природна конвекція.

OO7. Зрошення, плівка.

OO8. Інші способи.

4. Конструктивна організація обтікання поверхні теплообміну з боку середовища, що сприймає тепло, (середовище B) – шифр OB: аналогічно OO.

Класифікація конструктивної компоновки апаратів в теплообміннику.

Якщо в теплообміннику кілька апаратів, то вони можуть розташовуватись незалежно, кожен на окремому фундаменті; на етажерці; у вигляді секції (секцій), кожна з яких жорстко пов'язує кілька апаратів; в блоці, тобто жорстко в одному зовнішньому огороженні (кожусі, коробі і т.д.).

Класифікація схем течіння середовищ в теплообміннику, що складається з декількох теплообмінних апаратів, збігається з такою для кожухотрубних апаратів і наведена в [21].

2.2. Структурні основи системи розрахунку і оптимізації ПТО

Розглянемо основні структурні складові синтезаторів розрахунку і оптимізації теплообмінного обладнання.

Структура синтезаторів складається з трьох рівнів, кожен з яких включає в себе складові нижніх рівнів. Ця структура представлена на рис. 2.1. Вона відображає застосований в синтезаторах системний структурно-модульний підхід.

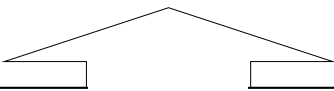
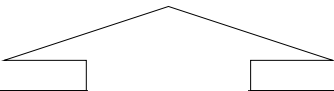
Рівні ієрархії елементів	Характеристика
I рівень Узагальнені структури 	Інваріантні відносно об'єктів розрахунку, залежать від задач розрахунку.
II рівень Загальні підсистеми 	Інваріантні відносно як об'єктів, так і задач розрахунку.
III рівень Змінні модулі	Інваріантні відносно задач розрахунку, залежать від об'єктів розрахунку.

Рисунок 2.1– Ієрархія елементів синтезаторів

Розглянемо цю структуру докладно.

I рівень. Узагальнені структури. Самий верхній рівень ієрархії. Структури цього рівня інваріантні щодо об'єктів розрахунку (тобто дозволяють розраховувати будь-який вид обладнання), проте неінваріантні щодо завдань розрахунку – кожна структура дозволяє проводити тільки один конкретний вид розрахунку (якщо не включає в себе як складову частину іншу узагальнену структуру). Якщо провести аналогію з будівництвом, узагальнена структура представляється архітектурою будівлі. Вона відображає призначення всієї конструкції. Але може набиратися з різноманітних блоків.

II рівень. Структурні блоки. Загальні підсистеми. Проміжний рівень, який об'єднує в собі групу структур, інваріантних щодо об'єктів розрахунку (як і I рівень), проте ці структури також інваріантні і щодо завдань розрахунку. Це обумовлено тим, що структури цього рівня є «будівельними блоками» для узагальнених структур, які з них складаються. Різним розташуванням структурних блоків (різна їх «наборка» в загальну структуру) забезпечується реалізація різних видів розрахунків, однак самі блоки залишаються незмінні в будь-якому з випадків. Це проміжний рівень між узагальненою структурою і набором змінних модулів, його елементи і самі є змінними модулями, однак зберігають ознаки інваріантності щодо об'єктів. Цей рівень відрізняється складною структурою, навіть фрактальною, він складається з великої кількості вкладених структур, кожна з яких також може мати в своєму складі складні структури нижчого рівня. Вони містять тільки найбільш істотні елементи розрахунків, внесення специфіки розрахунку конкретного обладнання здійснюється за допомогою змінних модулів.

III рівень. Змінні модулі. Нижній і найчисленніший рівень. Тут для кожного виду обладнання реалізований окремий змінний розрахунковий модуль, що відображає специфіку конкретного об'єкта (пластинчасті, кожухотрубні теплообмінники, окремі види поверхонь та ін.). Цей рівень інваріантний щодо завдань розрахунку (змінні модулі вбудовуються в будь-яку з узагальнених структур), і неінваріантний щодо об'єктів. Кожен змінний

модуль має своє постійне місце в структурному блоці. На цьому місці може знаходитися тільки один з ряду змінних модулів в конкретному, приватному алгоритмі / програмі. З них можна побудувати однаковий розрахунок різного устаткування: кожухотрубного, пластинчастого або ін.

Узагальнені структури розрахунків теплообмінного обладнання різного призначення і конструкцій розроблені давно і опубліковані вперше в [21].

Структурні блоки, які є загальними як для кожухотрубчастих, так і для пластинчастих теплообмінників, в даній роботі наводиться не будуть. Будуть вказані лише допрацювання і зміни в них, а також специфіка розрахунку пластинчастого теплообмінного обладнання, вложена в змінні модулі. Ці питання будуть висвітлені далі, в розділі 3.

У цій роботі розглядалися 4 види узагальнених структур:

- узагальнена структура повірного розрахунку теплообмінників (БС-ПоР);
- узагальнена структура проектного розрахунку теплообмінників (БС-ПРР);
- узагальнена структура проектної оптимізації теплообмінників;
- узагальнена структура оптимальної заміни теплообмінників.

Перші дві узагальнені структури дозволяють розраховувати тільки один варіант теплообмінника. Розрахунок проводиться при повністю заданих початкових параметрах. Це найбільш прості (фундаментальні) узагальнені структури, які використовуються як основа в подальших, більш складних. 3-тя і 4-та узагальнені структури дозволяють знайти найбільш оптимальний варіант теплообмінника з ряду перебраних. Вихідні дані в них допускають варіювання однієї або декількох незалежних змінних, які можуть бути як конструктивними (конструктивні параметри теплообмінника) так і технологічними (наприклад, одна з температур, витрата середовища або ін).

Узагальнена структура повірного розрахунку теплообмінника.

При повірному розрахунку всі конструктивні і режимні параметри задані. Мета розрахунку: визначити реальне теплове навантаження, яке передає теплообмінник, реальні кінцеві температури теплоносіїв.

При повірочному розрахунку конструкція апарату задана, тому першим йде конструктивний розрахунок, після – тепловий, далі при необхідності гідравлічний і економічний. Результати розрахункового блоку – передане поверхнею теплове навантаження Q , температури теплоносіїв.

Структура повірочного розрахунку приведена в додатку А.1 на рис. А.1.1.

При проектному розрахунку задається необхідне теплове навантаження теплообмінника або необхідні температури і витрати теплоносіїв. Мета розрахунку: визначення необхідної поверхні теплопередачі. Алгоритм цього розрахунку наведено в додатку А.1 на рис. А.1.2.

Проектна оптимізація передбачає перебір результатів проектних розрахунків теплообмінників і вибір з них кращого за заданим критерієм оптимальності.

Алгоритм передбачає введення різних наборів вихідних даних: температур, витрат обох середовищ, теплової потужності або діапазонів зміни цих величин, якщо подібне допускається техпроцесом, наявності та параметрів існуючого обладнання та ін. Залежно від введеного набору вихідних даних формується певний порядок розрахунку. Узагальнена структура проектної оптимізації представлена на рис. А.1.3. додатку А.1.

Узагальнена структура оптимальної заміни теплообмінників включає в себе як складову узагальнену структуру проектної оптимізації. Мета цього розрахунку – визначити оптимальний теплообмінник для заміни вже існуючого. Ця структура приведена на рис. А.1.4 додатку А.1.

У загальному вигляді алгоритм проектної оптимізації, реалізований в процесі синтезу в даній роботі, представлений на рис. 2.2.

Цей алгоритм дозволяє знайти оптимальний варіант, використовуючи різні методи пошуку екстремуму. Блоки 1-6 формують вихідні дані для проведення оптимізації. Блоки 7 і 18, що обмежують оптимізаційну структуру, відповідають за організацію переборів з конкретного методу пошуку екстремуму і задають вихідні дані для

одиночного розрахунку теплообмінника (повний набір вихідних даних, що дозволяє розрахувати один варіант теплообмінника). Всередині оптимізаційної структури знаходиться т.зв. розрахункова структура, що виконує одиничний проектний розрахунок теплообмінника. Детально розрахункова структура буде розглянута в розділі 3.

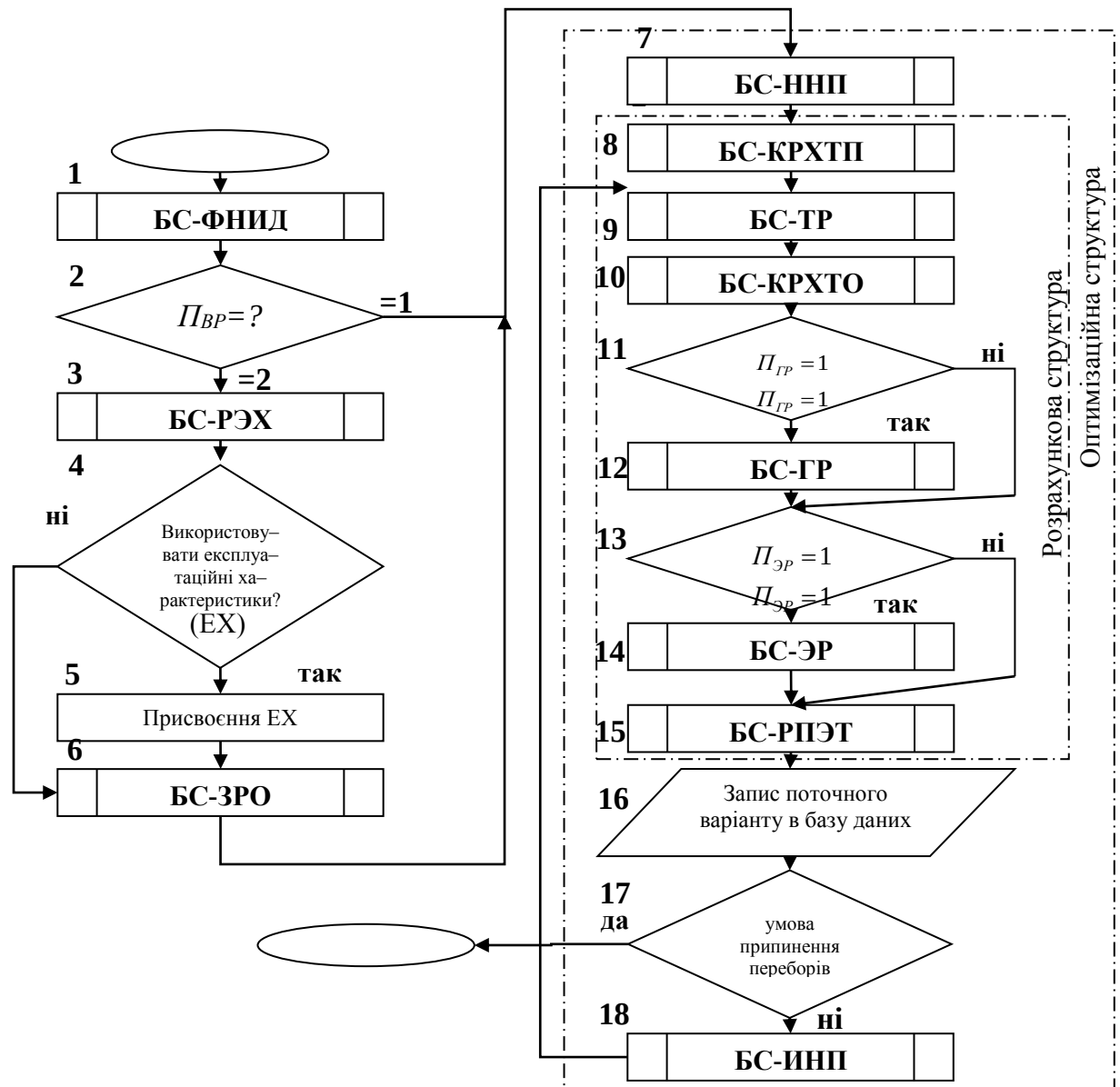


Рисунок 2.2 – Алгоритм проектної оптимізації та оптимальної заміни пластинчастих теплообмінників

2.3. Висновки по розділу 2

Створена узагальнена функціональна класифікація пластинчастих теплообмінних апаратів і теплообмінників, що дозволяє чітко позначити й за допомогою класифікаційних шифрів однозначно ідентифікувати будь-який з них у всій безлічі можливих.

Наявність такої ідентифікації спрощує процес вибору складових (т.зв. модулів, елементів) основних видів розрахунку теплообмінних апаратів:

- конструкторського (основні розміри живого перетину по ходу теплоносіїв, основні розміри і вага складових апарату і т.п.),
- теплового (коефіцієнтів тепловіддачі, термічного опору, коефіцієнту теплопередачі в перерізі поверхні теплообміну і т.п.),
- гідравлічного (лінійні й місцеві гідравлічні опори і т.п.),
- економічного (елементи розрахунку капітальних вкладень в апарат і т.п.).

За рахунок цього істотно спрощується створення інформаційної бази системи синтезу алгоритмів розрахунку пластинчастого теплообмінного обладнання.

Також наводяться основні узагальнені структури, що застосовуються в подальшому для створення синтезатора засобів розрахунку і оптимізації пластинчастого теплообмінного обладнання.

Наведені вище системні аспекти можуть бути використані також і для апаратів інших конструкцій після деякого допрацювання.

Розділ 3. ТИПОВІ АЛГОРИТМІЧНІ МОДЕЛІ (РОЗРАХУНКОВІ МОДУЛІ) ДЛЯ ПЛАСТИНЧАСТИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ

Типові змінні модулі – це будівельні цеглинки, з яких складається наповнення узагальнених структур. Кожен типовий змінний модуль має своє місце в узагальненій структурі або в змінному модулі (блок-схемі) вищого рівня ієрархії. Частина змінних модулів універсальна і не залежить від об'єкта розрахунку (раніше ми назвали їх структурними блоками), частина ж прив'язана до нього. У цьому розділі будуть наведені деякі універсальні змінні модулі, достатні для побудови засобів розрахунку і оптимізації (ЗРО) практично будь-якого об'єкта, а також приватні модулі, що дозволяють зібрати ЗРО для розрахунку і оптимізації пластинчастих теплообмінників.

Модуль формування набору вихідних даних є першим в будь-який узагальненої структурі, він дозволяє сформувати вихідні дані для розрахунку при будь-якому наборі даних, введених користувачем, а також ідентифікувати неправильно введені дані або їх нестачу.

Модулі конструктивного, теплового, гідравлічного і економічного розрахунків є частиною розрахункової структури і ядром будь-якої узагальненої структури. Розглянемо їх.

3.1. Система модулів формування набору вихідних даних

У цю систему входять модулі розрахунку теплового балансу, вибору виду розрахунку, верифікації вихідних даних. У додатку А.2 наведені основні принципи розрахунку теплового балансу і верифікації даних. У розробленому алгоритмі можливе введення будь-якої комбінації вихідних даних, а саме:

- температур і витрат робочих середовищ;
- теплових навантажень по теплообміннику;
- ККД теплообмінника;

- теплові ефекти реакцій в середовищах;
- наявні напори робочих середовищ (або тиск насиченої пари);
- допустимі падіння тиску теплоносіїв.

Залежно від комбінації цих даних формується певний вид розрахунку, в тому числі з проведенням або без оптимізації режимних і / або конструктивних параметрів. При нестачі або надлишку вихідних даних формується повідомлення про помилку.

3.2. Система модулів конструкторських розрахунків теплообмінників

Основна мета програм розрахунку і оптимізації теплообмінників – визначення конструктивних параметрів теплообмінника, здатного забезпечити необхідне теплове навантаження, в тому числі визначення поверхні теплообміну. Оптимізаційна структура перебирає кілька варіантів таких теплообмінників і вибирає найбільш оптимальний по заданому критерію оптимальності. Мета внутрішньої розрахункової структури: проведення повного розрахунку одного варіанта теплообмінника.

Розрахунковий блок проводить повний розрахунок одного варіанту теплообмінника за даними, заданим користувачем або згенерованих в блоках БС-ННП і БС-ІНП.

Тут можливі наступні види розрахунків:

- проектний;
- перевірочний.

Перевірочний розрахунок. Всі конструктивні і режимні параметри задані. Мета розрахунку: визначити реальне теплове навантаження, яке передає теплообмінник, реальні кінцеві температури теплоносіїв.

Проектний розрахунок. Задається необхідне теплове навантаження теплообмінника або необхідні температури і витрати теплоносіїв. Мета розрахунку: визначення необхідної поверхні теплопередачі.

Визначена в ході розрахунку необхідна поверхня може набиратися, наприклад, з:

- а) декількох труб або пластин;
- б) декількох теплообмінних апаратів з дискретною поверхнею;
- в) одного апарату, що складається з певної кількості пластин невизначеного розміру (необхідна поверхня забезпечується розрахунком необхідної поверхні однієї пластини) та ін.

Таким чином, порядок будь-якого проектного розрахунку буде наступним:

- 1) завдання конструкції елемента теплообмінної поверхні, з яких буде набиратися повна поверхня теплообмінника;
- 2) перевірочний розрахунок заданого теплообмінного елемента;
- 3) визначення необхідної кількості таких елементів для передачі заданого теплового навантаження;
- 4) розрахунок кінцевих температур і теплового навантаження, тобто перевірочний розрахунок теплообмінника як комплексу елементарних поверхонь.

У найбільш часто використовуваній структурі проектних розрахунків кожухотрубчастих теплообмінників використовується наступна реалізація цього алгоритму: як елемент поверхні вибирається окрема трубка (задається її діаметр, крок труб, довжина та ін.); визначається необхідна кількість таких трубок або їх довжина; формується конструкція теплообмінного апарату і виконується його перевірочний розрахунок.

В алгоритмі Г.Є. Канівця [21], який покладено в основу даної роботи, як елементарної поверхні виступає теплообмінний апарат, а в результаті розрахунку визначається кількість таких апаратів в теплообміннику.

При розрахунку пластинчастого теплообмінника зазвичай елементарною поверхнею вибирається одна пластина, а теплообмінник формується як набір таких пластин, здатний передати задане теплове навантаження. При цьому схема течіння середовищ в такому теплообміннику

може бути складною, тобто кількість каналів, на яке дробиться кожен із теплоносіїв при проходженні через теплообмінник, може змінюватися, наприклад, мати вигляд $Cx \frac{2+2+2}{4+3}$. Як видно, в даній схемі течіння середовищ (далі СТС) другий теплоносіє розділяється спочатку на 4, а після на 3 паралельних каналів. З урахуванням сталості перетину каналів, виходить, що при зміні числа каналів швидкість теплоносія змінюється, що вимагає застосування більш точних і, відповідно, більш складних методів теплового розрахунку. У зв'язку з цим основним принципом формування СТС в розробленому алгоритмі є сталість числа каналів по ходу робочих середовищ.

У даній роботі був обраний принцип, аналогічний формуванню елементарної поверхні в алгоритмі Г.Є. Канівця, проте в її якості обраний не теплообмінний апарат, а так званий типовий пакет пластин.

Деякі характерні схеми струму середовищ в пластинчастих теплообмінних апаратах (ПТА) при різних комбінаціях числа паралельних потоків цих середовищ наведені на рис. 3.1.

Наведені схеми відображають не повну кількість пластин в апараті, а типовий пакет пластин (ТПП) – мінімальний набір пластин, який формує схему з даним числом каналів по 1-му та 2-му середовищах за умови сталості числа каналів по ходу течіння середовища.

Повна кількість пластин в апараті може бути більше або дорівнювати числу пластин в типовому пакеті пластин і має бути йому кратною (без урахування 1-ї крайньої пластини). На одній рамі апараті може розміщуватися кілька ТПП.

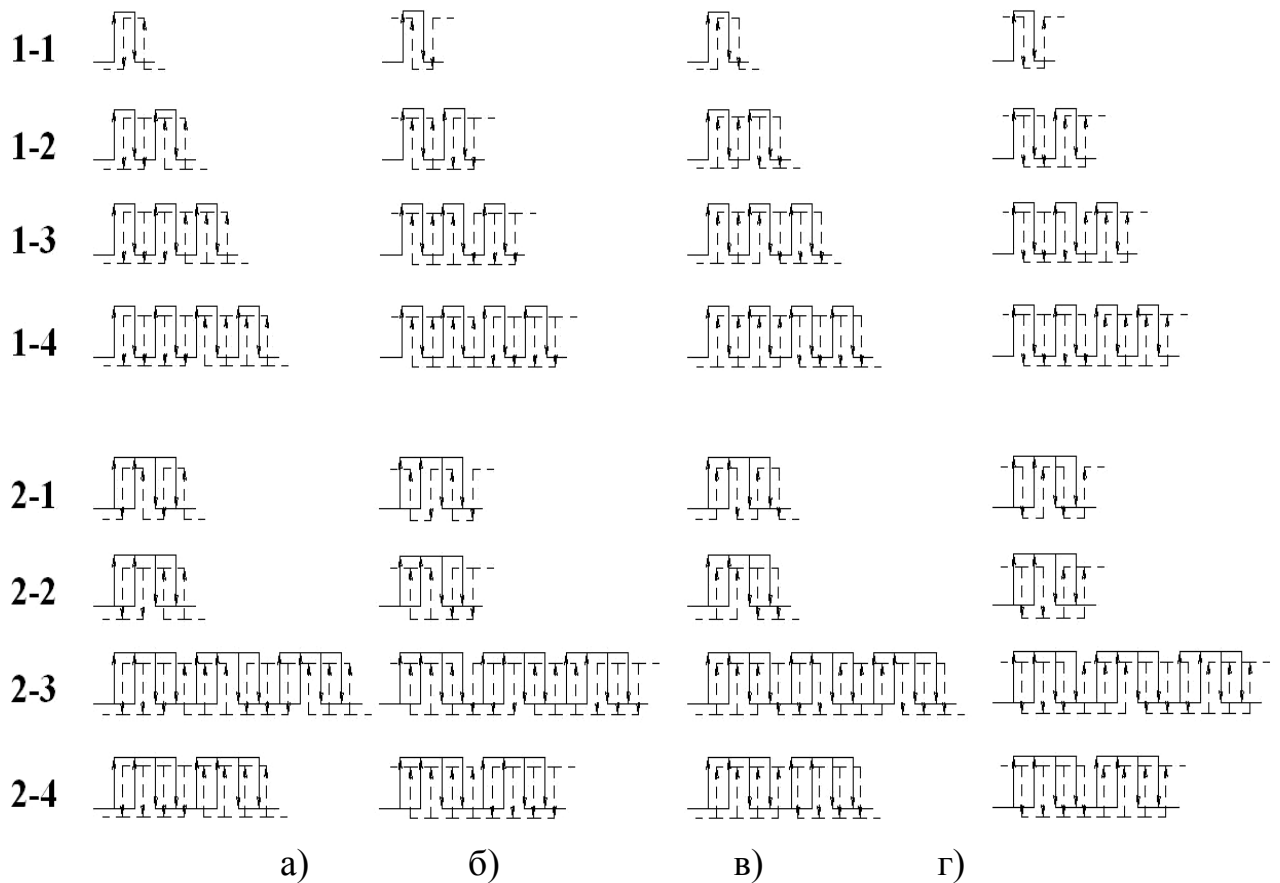


Рисунок 3.1 – Схеми течіння середовищ в ПТА (цифрами позначено кількість каналів по 1-му та 2-му теплоносіях): а) загальний протиток, вхід середовищ з одного боку; б) загальний протиток, вхід середовищ з різних сторін; в) загальний прямоток, вхід середовищ з одного боку; г) загальний прямоток, вхід середовищ з різних сторін.

Кількість каналів (а також кількість пластин) в ТПП:

$$N_{\text{кан}\Sigma} = 2 \cdot n_1 \cdot N_{\text{ход1}} = 2 \cdot n_2 \cdot N_{\text{ход2}}, \quad (31)$$

де $N_{\text{ход1}} = \frac{n_2}{D}$, $N_{\text{ход2}} = \frac{n_1}{D}$ – кількість ходів по 1-му та 2-му середовищам відповідно;

D – найбільший спільний дільник чисел n_1 та n_2 ;

звідки

$$N_{\text{кан}\Sigma} = N_{\text{плТПП}} = 2 \cdot \frac{n_1 \cdot n_2}{D}; \quad (32)$$

загальна кількість пластин в ТА:

$$N_{\text{плТА}} = n_{\text{ТПП}} \cdot N_{\text{плТПП}} + 1, \quad (33)$$

де $n_{\text{ТПП}}$ – кількість ТПП в апараті.

При наявності в теплообміннику більше одного апарату вони розміщуються за певною схемою. При проектуванні найчастіше їх розміщують паралельно або послідовно по обох теплоносіях.

В [21] наведено універсальний метод фрактального розрахунку комплексів теплообмінних апаратів, що дозволяє безітераційно визначати ефективність майже будь-якої схеми течіння середовищ в комплексі апаратів.

У розробленому алгоритмі реалізована можливість розрахунку 6-ти схем комплексів апаратів (рис. 3.2).

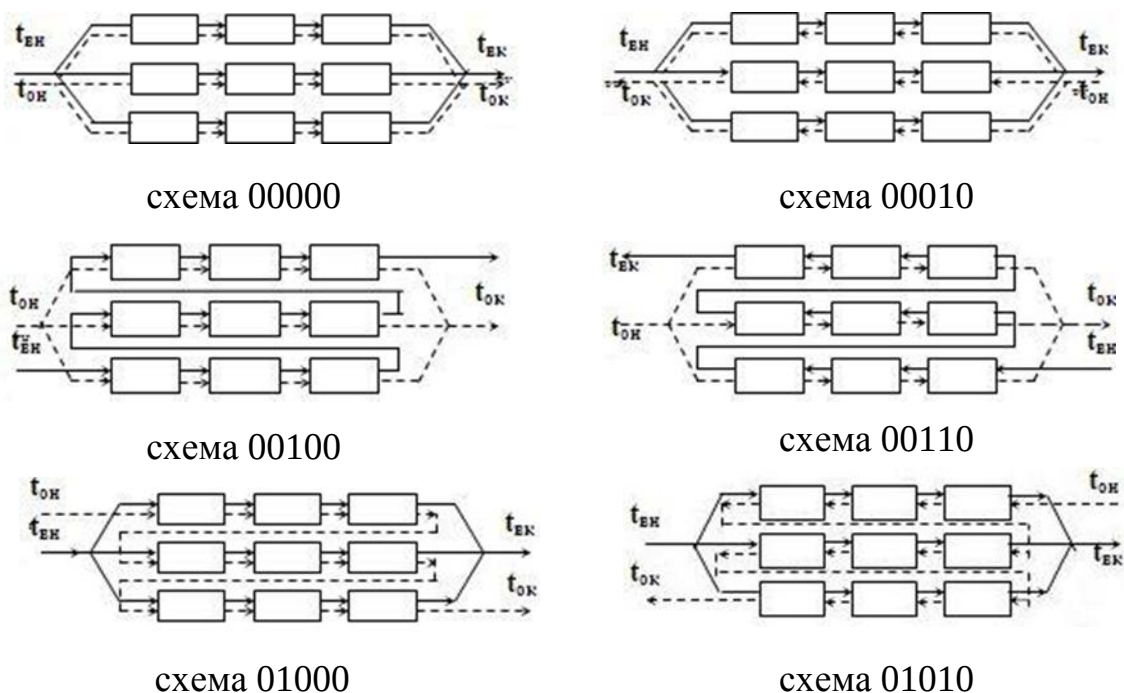


Рисунок 3.2 – Схеми комплексів апаратів

В позначенні шифру схеми 2-а цифра – ознака реверсу середовища О, 3-тя – ознака реверсу середовища В, 4-а – ознака протиточності в першому, починаючи від t_{OH} , ряду комплексу апаратів.

3.3. Система модулів теплових розрахунків пластинчастих теплообмінників

В основу алгоритму теплового розрахунку пластинчастих теплообмінників взятий аналогічний за призначенням алгоритм теплового розрахунку кожухотрубних теплообмінників, розроблений Г.Є. Канівцем. Окремі алгоритми його наведені в [21]. У цьому розділі будуть описані тільки ті змінні модулі, які розроблені в даній дисертаційній роботі, відмінні від уже наявних і характерні для розрахунку пластинчастих теплообмінників. Методи розрахунку тепловіддачі наведені у [2, 32, 36, 39, 73-74].

Тепловий розрахунок в перерізі включає розрахунок швидкостей теплоносіїв, специфічний для пластинчастих теплообмінних апаратів. Блок-схеми цих розрахунків наведені на рис. А.3.1. додатку А.3.

Швидкість теплоносія для і-го середовища визначається за формулою

$$w_i = \frac{G_i}{\rho_i \cdot f_1 \cdot N_{\text{кані}} \cdot U_i}, \quad (34)$$

де G_i – витрата теплоносія, кг/с;

ρ_i – щільність теплоносія, кг/м³;

f_1 – проходний перетин каналу, м²;

$N_{\text{кані}}$ – кількість каналів, на які розбивається теплоносій;

U_i – кількість рядів апаратів, на які розбивається теплоносій.

Блок-схема розрахунку коефіцієнта теплопередачі аналогічно такій самій для кожухотрубчатого апарату, тільки розрахунок коефіцієнта

теплопередачі проводиться для плоскої поверхні, а не для циліндричної, по формулі

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_o} + \frac{1}{\alpha_b} + \frac{\delta}{\lambda} + R_o + R_b}, \quad (35)$$

де α_o, α_b – коефіцієнти тепловіддачі по стороні середовищ О та В відповідно, Вт/(м²·К);

δ – товщина стінки, м;

λ – коефіцієнт теплопроводності стінки, Вт/(м·К);

R_o, R_b – термічні опори забруднень по стороні теплоносіїв О і В відповідно, м²·К/Вт.

Блок-схеми розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі для середовищ О і В наведені в додатку А на рис. А.3.2 і А.3.3, зокрема при нагріванні-охолодженні і конденсації наведені на рис. А.3.4 і А.3.5 відповідно.

Методика розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі взята з [19]. Наведемо основні її залежності.

Коефіцієнт тепловіддачі визначається через число Нуссельта Nu по залежності

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_3}, \quad (36)$$

де λ – коефіцієнт теплопроводності теплоносія, Вт/(м·К);

d_3 – еквівалентний діаметр каналу, м.

При відсутності фазового переходу критерій Нуссельта визначається за формулою

$$Nu = C \cdot Re^n \cdot Pr^m \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{ct}} \right)^{0.25}, \quad (37)$$

де Re – критерій Рейнольдса, визначений за еквівалентним діаметром каналу;

$Pr, Pr_{ст}$ – критерії Прандтля для рідини, розраховані для температури середовища і температури стінки відповідно;

C, n, m – коефіцієнти, що залежать від типу пластини і режиму течіння – ламінарний або турбулентний (наведені в додатку А.4).

При конденсації критерій Нуссельта розраховується по залежності

$$Nu = C_k \cdot Re^{n_k} \cdot Pr^{m_k}, \quad (38)$$

де C_k, n_k, m_k – коефіцієнти, що залежать від типу пластини (наведені в додатку А.4).

Однак коли температурний напір $\leq 10^\circ$, коефіцієнт тепловіддачі розраховується по формулі

$$\alpha = 1,15 \cdot \sqrt[4]{\frac{q \cdot \rho \cdot \lambda^3 \cdot k^{np} \cdot r}{v \cdot L_{II} \cdot (\bar{t}_O - t_{сгО})}}, \quad (39)$$

де q – питоме теплове навантаження на 1 м^2 поверхні теплообміну, Вт/м^2 ;

d_o, L_{II} – геометричні параметри пластини, м;

k^{np} – коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$;

r – прихована теплота пароутворення, Дж/кг .

Критерій Рейнольдса у формулі (38) визначається за рівнянням

$$Re = \frac{q \cdot L_{II}}{r \cdot \rho \cdot v}. \quad (40)$$

Розрахунок кількості переданої в апараті теплоти здійснюється за загальною схемою течіння середовищ в апараті (прямоток або протиток). Для

розрахунку кількості переданої теплоти в комплексі апаратів використовується фрактальний метод розрахунку, докладно описаний в [21]. Цей метод дозволяє проводити безітераційний розрахунок ефективності комплексу теплообмінних поверхонь шляхом послідовного розрахунку ефективностей пар або рядів теплообмінних елементів.

Алгоритми розрахунків ефективностей елементів, рядів і комплексів, а також кінцевих температур, зберігаються в тому ж вигляді, що і для кожухотрубних теплообмінників [21], за винятком описаного нижче доповнення.

Основна ідея фрактального розрахунку полягає у послідовному формуванні ефективностей теплообмінників за допомогою поетапного об'єднання окремих теплообмінних поверхонь у пари, ряди та комплекси. Декотрі основні залежності (але далеко не всі, використані у алгоритмі) наведено нижче.

Пара – послідовне, паралельне чи перехрестне з'єднання двох теплообмінних поверхонь (ТП). Кожна з цих поверхонь ТП1 та ТП2 у свою чергу може складатися з елементів, пар, рядів та комплексів, що відрізняються один від одного декількома факторами: схемою течії середовищ СТ, типорозміром ТР, конструкцією, ефективністю процесів теплопереносу. З них самим простим випадком є пара елементів. У загальному випадку теплообмінні поверхні, що входять у пару, відрізняються значеннями ефективності теплопередачі Е1 та Е2. Пары ТП представляють собою виродження ряду ТП при кількості ТП у ряді $n_p=2$. Існують також пари однакових ТП як виродження ряду однакових.

Математичною моделлю процесу теплопередачі у парі ТП є система рівнянь теплового балансу та теплопередачі у вигляді

$$A_n = \frac{1}{R_n} = \frac{G_{on} c_{on} \eta_{non}}{G_{en} c_{en} \eta_{nen}} = \frac{\delta t_{en}}{\delta t_{on}} = \frac{t_{вкл} - t_{внп}}{t_{онп} - t_{окп}}, \quad (41)$$

$$E_n = \frac{P_n}{A_n} = P_n R_n = \frac{t_{онп} - t_{окп}}{t_{онп} - t_{внп}} = \frac{\delta t_{он}}{\Delta t_{макс,п}} = \frac{Q_n}{Q_{макс,п}} = \frac{k_n F_n}{G_{он} c_{он} \eta_{нон}} \cdot \frac{\Delta t_{ср,п}}{\Delta t_{макс,п}}. \quad (42)$$

Тут індекс n позначає належність до пари ТП.

Ефективність теплопередачі пари теплообмінних поверхонь E_p залежить від типу пари. Наприклад, послідовне з'єднання різних ТП, загальна протитечія (протиточне з'єднання ТП середовищами)

$$E_n = \frac{E_1 + E_2 - E_1 E_2 (A_2 + 1)}{1 - E_1 E_2 A_2}. \quad (43)$$

Послідовне з'єднання однакових ТП, загальний протиток (протиточне з'єднання ТП середовищами)

$$E_n = \frac{2E - E^2 (A + 1)}{1 - E^2 A}. \quad (44)$$

Ряд – послідовно-паралельне з'єднання двох або більше теплообмінних поверхонь (елементів, пар елементів, рядів або комплексів), а також їх різноманітних поєднань. Математична модель процесу теплопередачі у ряді аналогічна такій у парі.

Для розрахунку ефективності теплопередачі E_p рядів з n_p теплопередаючих поверхонь ТП, що складаються, наприклад, з елементів, використовують наступні формули. Послідовне з'єднання різних ТП (теплообмінними поверхнями можуть бути елементи, пари, ряди та комплекси ТП), загальний прямоток (прямоточне з'єднання ТП середовищами),

$$E_p = \sum_{i=1}^{i=n_p} E_i \prod_{j=1}^{j=i-1} [1 - E_j (A_j + 1)]. \quad (45)$$

Послідовне з'єднання різних ТП, загальний протиток

$$E_p = \frac{\sum_{i=1}^{i=n_p} \frac{E_i}{1-E_i} \prod_{j=1}^{j=i-1} \frac{1-E_j}{1-E_j A_j}}{1 + \sum_{i=1}^{i=n_p} \frac{E_i A_i}{1-E_i A_i} \prod_{j=1}^{j=i-1} \frac{1-E_j}{1-E_j A_j}}. \quad (46)$$

Паралельне з'єднання різних ТП, загальний прямоток, діляться обидва середовища

$$E_p = \sum_{i=1}^{i=n_p} m_{oi} E_i, \quad (47)$$

де $m_{o1}, \dots, m_{oi}, \dots, m_{on_p}$ – коефіцієнти розподілу середовища, що віддає тепло

$$\left(\sum_{i=1}^{i=n_p} m_{oi} = 1 \right).$$

Загальне перехрестне з'єднання різних ТП у ряді, ділиться середовище, що віддає тепло

$$E_p = \sum_{i=1}^{i=n_p} m_{oi} E_i \prod_{k=1}^{k=i-1} (1 - E_k A_k). \quad (48)$$

Комплекси – регулярне (послідовно-паралельне або перехрестне) або нерегулярне (довільне) з'єднання трьох або більше теплообмінних поверхонь ТП (елементів, пар, рядів або комплексів). а також будь-якої їх комбінації.

На практиці найбільш розповсюджені регулярні комплекси 00000, 00010 та частково – комплекси 00100, 00110, 01000, 01010, 00200, 00210, 02000, 02010.

Ефективність теплопередачі комплексів 0 (00000, 00010) та 1 (00100, 00110)

$$E_{\kappa} = \frac{1 - \left(1 - E_p \cdot A_p\right)^{\frac{U_o}{U_a}}}{\frac{U_o}{U_B} \cdot A_p}. \quad (49)$$

Ефективність теплопередачі комплексів 1 (01000, 01010)

$$E_{\kappa} = 1 - \left(1 - E_p\right)^{\frac{U_B}{U_o}}. \quad (50)$$

Ефективність теплопередачі комплексів 00200 та 00210 при непарному U_o

$$E_{\kappa} = \frac{1 - (A_p \cdot E_{p1})^{\frac{U_o+1}{2}} \cdot (1 - A_p \cdot E_{p2})^{\frac{U_o-1}{2}}}{A_p \cdot U_o}. \quad (51)$$

Ефективність теплопередачі комплексів 00200 та 00210 при парному U_o

$$E_{\kappa} = \frac{1 - (1 - A_p E_{p1})^{\frac{U_o}{2}} \cdot (1 - A_p \cdot E_{p2})^{\frac{U_o}{2}}}{A_p \cdot U_o}. \quad (52)$$

Ефективність теплопередачі комплексів 02000 та 02010 при непарному U_B

$$E_{\kappa} = 1 - (1 - E_{p1})^{\frac{U_B+1}{2}} \cdot (1 - E_{p2})^{\frac{U_B-1}{2}}. \quad (53)$$

Ефективність теплопередачі комплексів 02000 та 02010 при парному U_B

$$E_{\kappa} = 1 - (1 - E_{p1})^{\frac{U_B}{2}} \cdot (1 - E_{p2})^{\frac{U_B}{2}}. \quad (54)$$

Хоча це досить рідкісний випадок, але може виявитися, що в теплообмінному апараті функція водяних еквівалентів $A_p = 1$. Тоді в блок-схемі розрахунку теоретичного числа ТПП в ряду комплексу формула визначення числа апаратів в ряду теплообмінника $n = \frac{\ln \alpha_1}{\ln \alpha_2}$ не має вирішення,

виникає невизначеність виду $\left\| \frac{0}{0} \right\|$. Значення n в цьому випадку визначаємо,

вирішивши невизначеність

$$n = \lim_{A_p \rightarrow 1} \frac{\ln \frac{1 - \Phi_{\text{ЭР}}}{1 - A_p \cdot \Phi_{\text{ЭР}}}}{\ln \frac{1 - \Phi_{\text{ЭЭ}}}{1 - A_p \cdot \Phi_{\text{ЭЭ}}}} = \left\| \frac{0}{0} \right\|. \quad (55)$$

Використовуючи правило Лопіталя, отримаємо:

$$n = \lim_{A_p \rightarrow 1} \frac{\left(\ln \frac{1 - \Phi_{\text{ЭР}}}{1 - A_p \cdot \Phi_{\text{ЭР}}} \right)'}{\left(\ln \frac{1 - \Phi_{\text{ЭЭ}}}{1 - A_p \cdot \Phi_{\text{ЭЭ}}} \right)'} = \frac{\Phi_{\text{ЭР}}}{\Phi_{\text{ЭЭ}}} \cdot \frac{\Phi_{\text{ЭЭ}} - 1}{\Phi_{\text{ЭР}} - 1}. \quad (56)$$

В алгоритм розрахунку n була додана гілка, що починається з перевірки виконання умови $A_p = 1$, в разі виконання умови кількість ТПП розраховується за формулою (56), в іншому випадку виконується звичайний розрахунок.

Цей розрахунок аналогічний представленим у англійській літературі, наприклад у [75] наведено розрахунок пластинчастого теплообмінника з використанням схожого підходу, але для обмеженої кількості схемних рішень, тобто не є універсальним.

3.4. Система модулів уточнених теплових розрахунків пластинчастих теплообмінних апаратів

Наведена вище методика теплового розрахунку пластинчастого теплообмінника спирається на ряд припущень, зокрема:

- про незмінність теплофізичних властивостей теплоносіїв по всій довжині поверхні теплообміну,
- про незмінність коефіцієнта теплопередачі,
- про відсутність впливу схеми течіння середовищ всередині апарату (розрахунок проводиться за загальною схемою течіння середовищ – прямотоці або протivotоці).

У ряді випадків при розрахунку теплообмінного апарату ці припущення можуть привести до серйозної похибки. Тому актуальним завданням є розробка моделей уточненого розрахунку пластинчастих теплообмінних апаратів.

Нашим завданням було створити моделі, що дозволяють автоматично визначати топологію будь-якого пластинчастого теплообмінного апарату і формувати алгоритм розрахунку саме для неї.

У [39] описано загальний підхід до розрахунку складних схем течіння теплоносіїв як до розрахунку ряду "мікротеплообмінників". Однак наведений метод не є автоматичним, що необхідно для побудови засобів оптимізації теплообмінного обладнання.

В рамках цього дисертаційного дослідження розроблені моделі двох рівнів:

- при незмінному коефіцієнті теплопередачі по довжині поверхні теплообміну,
- при перемінному коефіцієнті теплопередачі з урахуванням залежності властивостей середовищ від температури.

Розрахунок складається з двох окремих, які не впливають одна на одну, частин: формування топології схеми течіння середовищ і власне розрахунок параметрів потоків по ділянках розбивки.

Для формування топології розроблена універсальна для всіх випадків модель, а ось визначення параметрів потоків може проводитися по-різному – чисельне рішення системи рівнянь методом послідовних наближень, методом Гаусса-Зейделя або методом Ньютона на вибір.

Отже, застосування уточненої методики розрахунку відкриває ряд можливостей

1. Найбільш важлива з них – це здешевлення теплообмінників і зниження енерговитрат при їх експлуатації за рахунок зменшення необхідного коефіцієнта запасу. Необхідність введення цього запасу пов'язана з необхідністю компенсації можливої похибки розрахунку. Отже, з її зменшенням можливо і зменшення запасу, що значно поліпшить результати оптимізації.

2. Можливість проведення нестандартних розрахунків, що вимагають поелементного урахування умов теплообміну, а також конструктивних параметрів поверхонь теплообміну. Так в [76] описаний випадок, що вимагає розрахунку апарату, набраного з різних типів пластин.

3. Запобігання попадання при розрахунку в зону нереальності роботи апарату (наприклад, коли температура гарячого теплоносія виявляється нижче температури холодного).

4. Відхід від необхідності введення різних емпіричних коефіцієнтів, можливість використання аналітичних рівнянь без поправок і обмежень.

Мета створення уточненої методики: домогтися врахування специфіки схеми течіння середовищ і зміни умов теплообміну при розрахунку ПТА щоб підвищити його точність.

Створена модель дозволяє проводити уточнений перевірочний розрахунок. Однак із застосуванням ітерацій (а в деяких випадках і без них)

можливо рішення і завдань проектного розрахунку. Саме цей вид розрахунку необхідний при проведенні оптимізації.

3.4.1. Математична модель передачі тепла в теплообмінному елементі

Для складання математичної моделі необхідно визначитися, що представляє собою ПТА. Це деяка система відокремлених теплообмінних поверхонь (окремих пластин), об'єднаних в складну схему двома середовищами – що віддає (О) і сприймає тепло (В). Це аналогічно комплексу апаратів, де окремі елементи (апарати) об'єднані в складну схему течіння середовищ.

Теплообмінний елемент. Модель процесу передачі тепла в ПТА.

Розглянемо детально модель передачі тепла всередині пластинчастого теплообмінного апарата. Прі побудові моделі почнемо розгляд з схем з паралельним струмом середовищ як найбільш складних. Далі розглянемо можливі спрощення.

Загальна модель процесу передачі тепла. Отже, на рис.Рисунок представлена схема течіння середовищ в апараті, в якому середовище, що віддає тепло, (О) розбивається на 4 паралельні потоки, а середовище, що сприймає тепло, (В) – на 3.

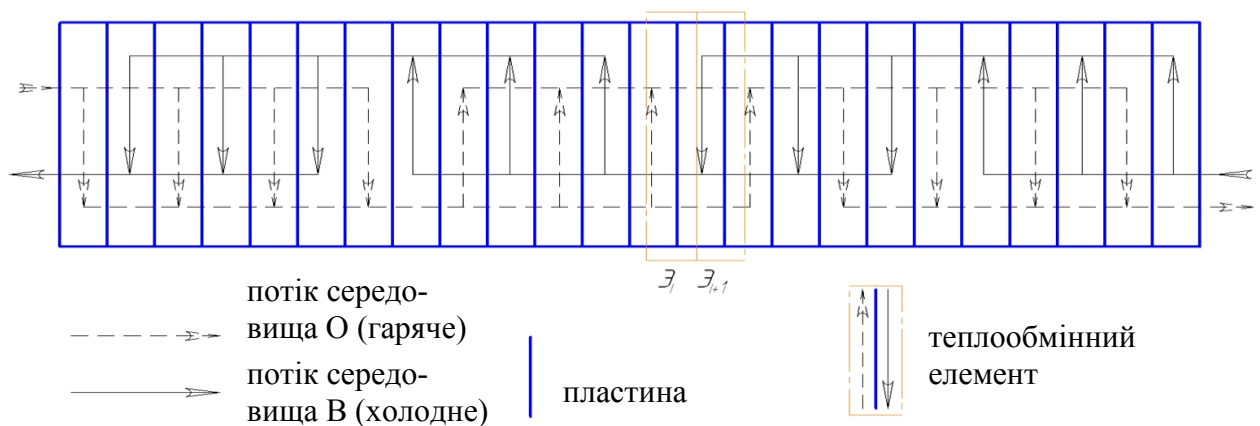


Рисунок 3.3 – Приклад схеми течіння середовищ в ПТА і основні її елементи

Потік середовища – це частина загальної витрати середовища через апарат, що проходить між 2-ма сусідніми пластинами.

Основні елементи цієї схеми: потоки середовищ О і В (позначені суцільною і пунктирною лініями), а також пластини і їх сполучення (показані потовщеними лініями).

Кожну з пластин омиває середовище О з одного боку і середовище В – з іншого. Можна умовно уявити весь теплообмінний апарат як набір певної кількості самостійних умовних теплообмінних апаратів, що складаються з однієї пластини і двох потоків середовищ, що омивають її. Такий умовний теплообмінний апарат ми назвемо теплообмінним елементом. Кожен з них матиме елементарну схему течіння: прямоточну або протиточну. Знаючи кожен з цих елементарних схем, а також послідовність їх з'єднання, можна провести уточнений розрахунок всього апарату. Складність полягає в тому, що навколишнє середовище, що проходить між двома сусідніми пластинами, буде одночасно належати до різних теплообмінних елементів. Необхідно встановити певну межу між ними. Провівши аналогію між теплообмінним елементом і теплообмінним апаратом, виведемо основний принцип його формування: в теплообмінному елементі не повинен бути присутнім теплообмін з сусідніми елементами, отже повинно бути відсутнім перенесення тепла на границях елементів.

Теплообмінний елемент (ТЕ) – це частина ТА, що включає пластину і частини потоків середовищ О і В, що її омивають, причому ці частини відділені таким чином, що через кордони теплообмінного елемента передача тепла відсутня.

Ця межа поділу сусідніх теплообмінних елементів являє собою вісь теплообміну.

Вісь теплообміну – це умовна площа, що розділяє потік середовища, через яку відсутнє перенесення тепла $q = 0$.

Схематично вісь теплообміну представлена на рис.3.4.

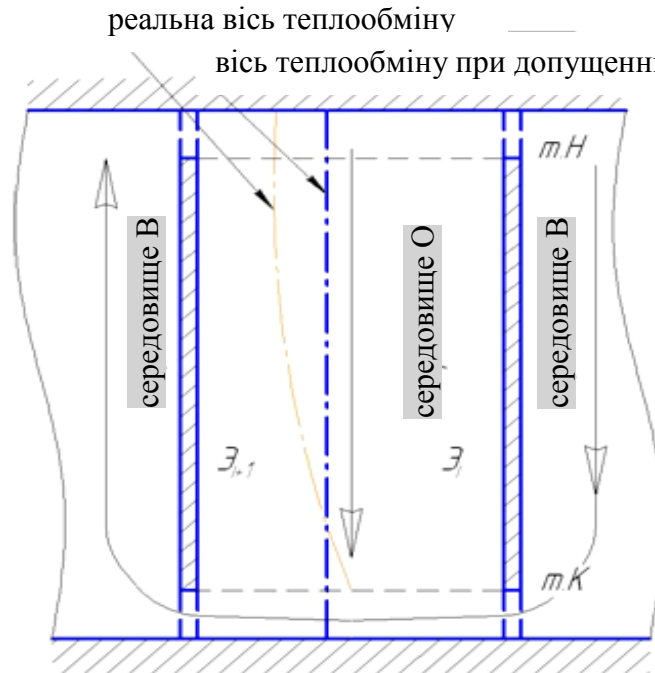


Рисунок 3.4 – Модель передачі тепла в теплообмінних елементах

Для спрощення взята плоска стінка, однак вона може бути також і складної форми.

Для чіткого розуміння необхідно розрізняти поняття потоку середовища і потоку середовища в елементі. Потік середовища являє собою частину середовища, що проходить між двома пластинами. Потік середовища в елементі – це частина потоку середовища, що відноситься до певного теплообмінного елементу. На рис. 3.4 бачимо потік середовища O, що відноситься до 2-х теплообмінних елементів. Тут сума потоків середовища O в сусідніх елементах є загальний потік середовища. На відміну від неї, потоки середовища В у цих елементах не складаються в загальний потік.

Отже, потік середовища в елементі – це частина потоку середовища, що відтіята віссю теплообміну і водночас відноситься до конкретного теплообмінного елементу.

Насправді реальна вісь теплообміну не обов'язково являє собою плоску площину. Це може бути деяка вигнута поверхня, відстань від якої до пластин

змінюється в залежності від зміни температурного поля середовищ О і В при проходженні через елемент.

Вісь теплообміну, про яку ми будемо говорити в подальшому, прийнята виходячи з припущення про незмінність температур середовищ О і В у межах одного теплообмінного елемента.

Розглянемо докладніше суть цього припущення. На рис. 3.4 представлена схема 2-х сусідніх ТЕ, в яких середовище О проходить паралельно, середовище В – послідовно. В межах одного ТЕ середовище О проходить від точки Н до точки К, що є крайніми точками теплообмінних поверхонь. Є наявність теплообміну із середовищем В через пластину. Виходячи з цього, є очевидним той факт, що $t_O^{т.Н} \neq t_O^{т.К}$, причому $t_O^{т.Н} > t_O^{т.К}$. Крім того, взаємодіючи з тим же середовищем В, але через іншу пластину (сусідній ТЕ), середовище О також охолоджується. Температурний графік середовищ О і В схематично зображено на рис. 3.5. Точне визначення зміни температур при проходженні їх через ТЕ – досить складне завдання і в даній моделі не розглядається.

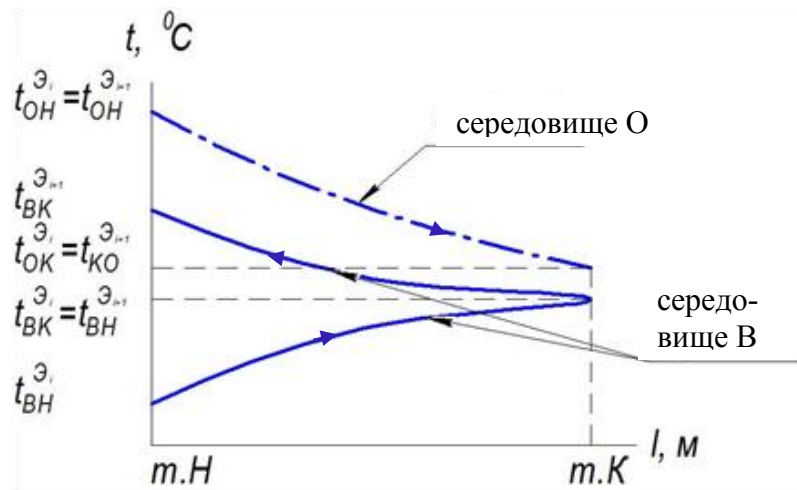


Рисунок 3.5 – Графік зміни температур середовищ при проходженні 2-х сусідніх теплообмінних елементів $\mathcal{E}_i$ та $\mathcal{E}_{i+1}$

На графіку показані зміни температури теплоносіїв О (штрихпунктирна лінія) і В (суцільна лінія) в межах 2-х сусідніх теплообмінних елементів.

Середовище О представляє собою в цих елементах один потік, тому середня його температура по потоку падає рівномірно. Середовище В проходить послідовно спочатку через елемент Θ_i (праворуч на рис. 3.4 стор. 73), потім через елемент Θ_{i+1} (зліва на рис. 3.4). При цьому температура його в i -му елементі підвищується від точки Н до точки К. В момент переходу середовища В з елемента i в елемент $i+1$ температуру його вважаємо незмінною (довжина пластин значно перевищує відстань між ними, тому втрати в місці стику пластин настільки незначні, що ними можна знехтувати). Далі проходячи в елементі $i+1$ від точки К до точки Н середовище В також нагрівається.

Отже, ми маємо 2 сусідніх ТЕ з різними елементарними схемами течіння середовищ: прямоток в елементі i та протитечія в елементі $i+1$.

У т. Н температура середовища В однакова в елементах i та $i+1$. Отже, потік тепла від середовища О буде однаковий в обох напрямках, а вісь теплообміну буде знаходитися в центрі потоку.

У т. Н температура середовища В в елементі i більше, ніж її температура в елементі $i+1$. Отже, передача тепла до елемента i буде переважати, і вісь теплообміну буде зміщена в бік елемента $i+1$.

Все це стосується реальної осі теплообміну. Однак вести обчислення таким чином досить складно, тому приймемо допущення про незмінність температури середовищ при проходженні ними теплообмінного елемента. Тоді температура середовища В в i -му ТЕ в точках К і Н буде дорівнювати, як і в елементі $i+1$ $\bar{t}_B^{\Theta_i} = 0,5 \cdot (t_{BK}^{\Theta_i} + t_{BH}^{\Theta_i})$, а $\bar{t}_B^{\Theta_{i+1}} = 0,5 \cdot (t_{BK}^{\Theta_{i+1}} + t_{BH}^{\Theta_{i+1}})$.

У цьому випадку вісь теплообміну середовища О являтиме собою площину, зміщену до елемента з більшою температурою середовища В, і навпаки: вісь теплообміну середовища В – площину, зміщену до елемента з меншою температурою середовища О.

Нами було розглянуто варіант з паралельним течінням середовищ в елементах. При перехресному течінні модель буде аналогічна, тому що зміною температури в елементі ми нехтуємо.

Можливі спрощення моделі

Можливим спрощенням моделі може бути розташування осі теплообміну строго по центру потоку для всіх елементів апарату. Цей варіант можливий, тільки якщо температури обох теплоносіїв у всіх елементах апарату залишаються незмінними. Це може мати місце в двох випадках:

1. Обумовлено конструкцією апарату: в випадках, коли має місце елементарна схема течіння середовищ – ПТА одноходовий по обом середовищам. В цьому випадку спостерігаємо загальну схему течіння середовищ для всього апарату, застосування уточненого розрахунку не потрібно.

2. Обумовлено обраним методом розрахунку: при розрахунку з постійними умовами теплообміну у всіх елементах ПТА.

Можливі уточнення моделі

Побудована модель передбачає ККД апарату 100%: теплообмін кінцевої пластини з навколишнім середовищем відсутній. Проте насправді це не так. Для уточнення моделі можливе введення ще 2-х крайніх ТЕ, в яких теплообмін відбувається між середовищами О і В і навколишнім середовищем. Однак тоді отриманий комплекс буде являти собою теплообмінну систему, що дещо ускладнить її розрахунок. У ній братиме участь вже не 2 теплоносія, а 3: середовище О, середовище В, навколишнє середовище (повітря).

На рис. 3.6 показано, як будуть виглядати крайні теплообмінні елементи $T_{Э_{нач}}$, $T_{Э_{кон}}$. Тут показаний варіант з накладенням ізоляції на ПТА – теплообмін з навколишнім середовищем через подвійну стінку. $q_{пот}$ – тепловий потік через крайню пластину, або втрати в навколишнє середовище з одного боку апарату

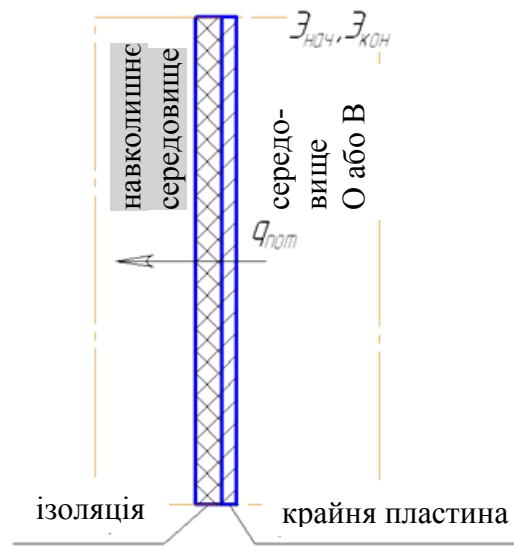


Рисунок 3.6 – Схема теплообміну через крайню пластину з навколишнім середовищем

Крім того, існують аналогічні втрати в місцях стику пластин. Цими втратами ми знехтували при побудові моделі, тому що площа стику пластин, де присутній контакт їх з навколишнім середовищем, незрівнянно малий у порівнянні з площею самої пластины.

Можна також застосувати методи інтервального розрахунку по довжині пластины, наприклад, описані в [77] чи [41], аж до CFD розрахунку течії теплоносіїв у каналах. Описаний нижче підхід дозволить автоматизувати розрахунок будь-якого теплообмінного апарату з будь-якою складною топологією, що необхідно для проведення оптимізації.

3.4.2. Універсальний алгоритм формування топології схеми течіння середовищ в пластинчастому теплообмінному апараті

Для автоматичного розрахунку будь-який з можливих конструкцій пластинчастого теплообмінного апарату необхідна можливість однозначного опису схеми течіння середовищ в цьому апараті.

Схема течіння середовищ (СТС) – взаємний напрямок руху середовищ в структурній одиниці (комплексі апаратів, апараті або його частини).

До елементарних схем течіння середовищ відносяться:

1. паралельне течіння:
 - а) протиток;
 - б) прямоток;
2. перехресний струм.

Перераховані схеми можуть бути як загальними схемами течіння в апараті, так і локальними схемами для елемента. Наприклад, при загальному протитотоці в апараті при уточненому розгляді схема може містити кілька прямоточних і протиточних елементів, або всі її елементи – перехресне течіння. Приклади наведені на рис. 3.7.



Рисунок 3.7 – Приклади схем паралельного течіння середовищ в ПТА

Отже, виходячи з визначення топології теплообмінних комплексів, наведеного в [23], сформулюємо наступне визначення: топологія схеми течіння середовищ в ПТА – однозначний опис схеми течіння середовищ в ПТА, що визначає порядок з'єднання ТЕ, їх індекс протиточності і частку загального потоку середовища в елементі.

Топологія буде залежати не тільки від конструкції апарату, але також і від його температурного режиму. Це пов'язано з тим, що формування ТЕ залежить від теплового потоку – вісь теплообміну матиме різне положення при різних температурних і гідравлічних режимах апарату тієї ж конструкції.

Топологія містить інформацію про:

- а) з'єднання елементів в ПТА – порядку проходження кожного з середовищ через елементи;
- б) індексі протиточності кожного елемента;

в) коефіцієнт розподілу середовищ – частці від загального потоку середовища, що проходить через елемент.

Перші два елементи топології однозначно задаються конструкцією апарату.

Складність визначення третього елемента топології полягає в тому, що потік середовища в елементі визначається шляхом ітерацій, що включають елементи як конструктивного, так і теплового розрахунків. Оскільки неможливо одразу визначити температури середовищ в кожному елементі, то неможливо дізнатися і кількість переданого в ньому тепла. Вісь теплообміну, яка є границею ТЕ, таким чином, не має конкретного положення.

Отже, розробки потребують принципи формування елементів топології, а також принцип уточнення коефіцієнтів розподілу середовищ.

Опис топології схеми течіння середовищ зручно робити у вигляді розподільних матриць суміжності для кожного з середовищ (О і В). Матриці заповнюються значеннями коефіцієнтів розподілу середовищ і відображають з'єднання елементів середовищами. Індеси протиточності слід формувати окремо.

Позначимо поняття, що використовуватимемо далі. Число паралельних каналів по і-му середовищу – кількість потоків, на які дробитися середовище в ПТА.

Далі для позначення СТС будемо вказувати 2 числа: кількість каналів по середовищах О і В відповідно.

Принцип заповнення розподільних матриць суміжності наведено в [23].

Матриця є квадратною.

В елементи матриці (на перетині стовпців і рядків) записуються чисельні значення коефіцієнта розподілу середовища. Визначення елемента матриці $[a, b]$: a (горизонтальний рядок) – номер ТЕ, в який входить середовище, b (вертикальний стовпець) – номер ТЕ, з якого виходить середовище. У кожен елемент записується значення коефіцієнта розподілу

середовищ для ТЕ, в який входить середовище (за значенням а). Якщо середовище в апарат не входить, елемент матриці залишається нульовим.

Крім номерів елементів в матриці існують стовпець і рядок під номером 0. Вони відображають вхід в апарат і вихід з нього. Для горизонтального рядка цей елемент є останнім (вихід з апарату), для стовпця – першим (вхід в апарат).

Розподільні матриці суміжності для схем 1-4 і 2-3 в апараті представлені на рис. 3.8 і 3.9 відповідно.

середовище О									
из \ в	1	2	3	4	5	6	7	8	0
0	1								
1		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$						
2				$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$				
3				$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$				
4						$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$		
5						$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$		
6								1	
7								1	
8									1

середовище В									
(протиток: рух справа наліво)									
из \ в	1	2	3	4	5	6	7	8	0
0	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	
1									1
2									1
3									1
4									1
5									1
6									1
7									1
8									1

середовище В									
(прямоток: рух зліва направо)									
из \ в	1	2	3	4	5	6	7	8	0
0	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	
1									1
2									1
3									1
4									1
5									1
6									1
7									1
8									1

Рисунок 3.8 – Розподільні матриці суміжності для СТС 1-4

середовище О

з \ В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	0
0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$										
1				$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$						
2				$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$						
3				$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$						
4								$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$		
5								$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$		
6								$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$		
7								$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$		
8												1	
9												1	
10												1	
11												1	
12													1

середовище В (протиток: рух середовища справа наліво)

з \ В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	0
0							$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	
1													1
2													1
3													1
4													1
5													1
6													1
7	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$							
8	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$							
9	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$							
10	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$							
11	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$							
12	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$							

середовище В (прямоток: рух середовища зліва направо)

з \ В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	0
0	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$							
1							$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	
2							$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	
3							$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	
4							$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	
5							$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	
6							$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$	
7													1
8													1
9													1
10													1
11													1
12													1

Рисунок 3.9 – Розподільні матриці суміжності для СТС 2-3

Особливості побудови матриць:

1. Елементи, з'єднані середовищем паралельно, (групи елементів) в розподільній матриці суміжності знаходяться в одному горизонтальному ряду (сума їх коефіцієнтів розподілу середовищ дорівнює 1) і одному вертикальному стовпці. Наприклад, для СТС 1-4 групи складають елементи (1), (2,3), (4,5), (6,7), (8).
2. У побудові груп беруть участь тільки ненульові елементи.
3. Горизонтальні рядки в групі елементів будуть однакові.
4. Порядок заповнення матриць залежить від загальної схеми течіння в апараті (характер руху середовища: від першого елемента до останнього або навпаки – від останнього до першого) і не залежить від характеру введення середовищ на першу пластину.

Подібні матриці наочно описують топологію, вони можуть бути застосовані при ручному розрахунку комплексів, що складаються з невеликої кількості елементів.

У разі уточненого розрахунку ПТА вони мають ряд недоліків. Це, в першу чергу, їх громіздкість. При розрахунку ПТА кількість елементів в ньому, яка дорівнює кількості пластин в апараті, може досягати 860 шт. Стільки ж елементів буде містити матриця і в горизонтальному, і у вертикальному ряду. Причому значення в горизонтальних рядах фактично дублюються. Вони відображають тільки, з яких елементів середовища виходить.

Отже, більш оптимально перейти до іншої форми запису топології СТС, більш компактною, проте відбиває ті ж дані, і повністю і однозначно описує топологію.

Пропонується всі дані, що відображають топологію СТС, вносити в єдину зведену матрицю.

Перший рядок матриці заповнюється значеннями індексу протиточності елементів. Заповнюється один раз і в наступних ітераціях не уточнюється.

Далі докладніше розглянемо, як заповнюється ця матриця.

Автоматична генерація індексів протиточності елементів – це перший етап створення топології СТС в ПТА. Індеси протиточності від теплового режиму апарата не залежать, генеруються один раз і в подальшому уточнення не потребують.

Чергування прямоточних і протиточних елементів у схемі течіння середовищ в ПТА можливо тільки при паралельному течінні середовищ в елементі.

Раніше на рис. 3.1 (стор. 59) були показані приклади характерних типових пакетів пластин. Виділимо наступні істотні ознаки, що характеризують ці схеми.

1. Ознака протиточності в апараті, Π_{Π} :
 - 1.1. Загальний прямоток при з'єднанні середовищами, $\Pi_{\Pi} = 0$.
 - 1.2. Загальний протиток при з'єднанні середовищами, $\Pi_{\Pi} = 1$.
2. Ознака характеру введення середовищ на 1-у пластину, Π_{BC} :
 - 2.1. Середовища вводяться на пластину з одного боку (а і в, рис. 3.1), $\Pi_{BC} = 0$;
 - 2.2. Середовища вводяться на пластину з різних сторін (б і г, рис. 3.1), $\Pi_{BC} = 1$.

Визначення індексу протиточности 1-го елементу послідовності проводиться по рівнянню:

$$p_{\text{ЭТ1}} = |\Pi_{\Pi} - \Pi_{BC}|. \quad (57)$$

Наприклад:

- варіант а рис. 3.1: загальний протиток в апараті ($\Pi_{\Pi}=1$), ввод середовищ з однієї сторони ($\Pi_{BC}=0$), отже $p_{\text{ЭТ1}} = |1-0| = 1$ (перший елемент ряду протиточний);
- варіант б рис. 3.1: $\Pi_{\Pi}=1$, $\Pi_{BC}=1$, $p_{\text{ЭТ1}} = |1-1| = 0$ (прямоток);

– варіант в рис. 3.1: $P_{\Pi}=0, P_{BC}=0, p_{\text{ЭТ1}} = |0 - 0| = 0$ (прямоток);

– варіант г рис. 3.1: $P_{\Pi}=0, P_{BC}=1, p_{\text{ЭТ1}} = |0 - 1| = 1$ (протиток).

Алгоритм формування послідовності груп прямоточних і протиточних елементів представлений в додатку А рис. А.3.4.

Алгоритм формування індексів протиточності ТЕ і заповнення 1-го рядка матриці топології СТС представлений на рис. А.3.3.

Далі стоїть завдання автоматичної генерації груп елементів по середовищах О і В. Необхідно створити алгоритми, що дозволяють генерувати послідовність груп елементів, через які рухаються середовища.

В [21, с. 151-156] розглянуті топології теплообмінних комплексів і принципи їх опису, що і буде взято за основу генератора, що розробляється.

Раніше нами були розглянуті схеми течіння середовищ в ПТА і генерація індексів протиточності окремих його елементів. У зазначених схемах одним з параметрів, що визначаються, була кількість каналів, на які розділяється середовище в апараті. Цей параметр важливий і для формування розглянутих послідовностей.

Однак зазначимо, що число потоків, на які розбивається середовище, рухаючись через елементи, не дорівнює числу каналів течіння середовища в апараті. Крім того, це число може змінюватися по ходу середовища. Це пов'язано з особливістю формування ТЕ, а саме формальним розчленуванням потоку на два між двома теплообмінними елементами (двома пластинами). Таким чином в ТЕ направляється два потоки теплоносіїв О і В (що віддає і сприймає тепло), що представляють собою частини потоків в каналах.

Отже, будь-яку схему течіння в ТПП (типовий пакет пластин), що представляє собою послідовність прямоточних / протиточних елементів, можна привести в вигляді набору елементів.

Нижче на рис. 3.10 представлені схеми течіння середовищ в ТПП і відповідні їм схеми потоків через елементи.

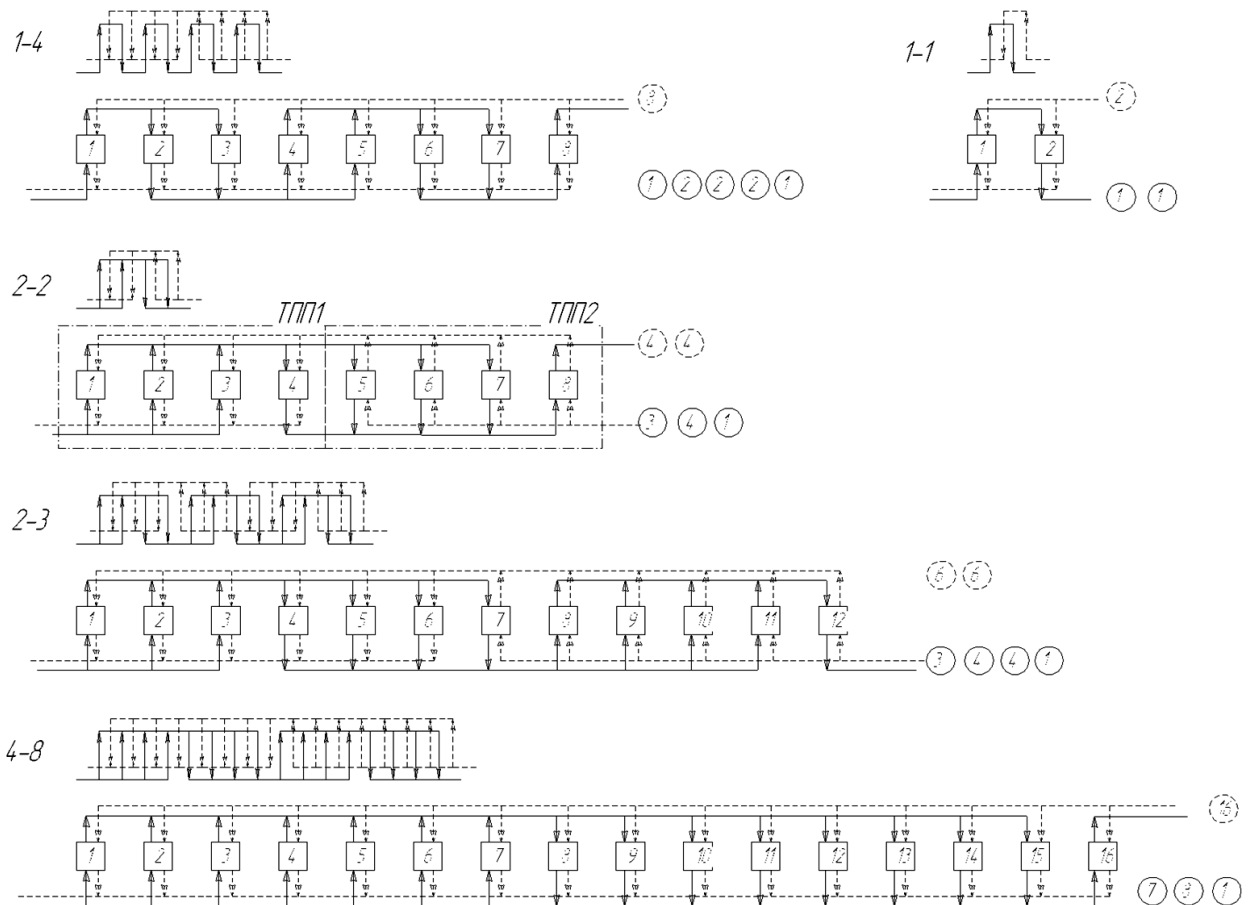


Рисунок 3.10 – Схеми течіння середовищ через елементи

На рис. 3.10 позначення схеми – це два числа, наприклад 1-4, 2-2, цифри в яких позначають кількість каналів по першому і другому середовищах. Перше середовище на схемах позначена суцільною лінією, друга – пунктиром. Це відноситься до всіх позначень середовищ на рисунку. Перша схема передає число каналів в ТПП, друга – число потоків через елементи. Елементи представлені у вигляді квадратів з відповідним номером всередині. Числа в кружочках означають кількість потоків, на які ділиться теплоносій при проходженні через елементи (по першому середовищі і по другому суцільною лінією і пунктиром відповідно). На рисунку наведені схеми каналів пар ТПП, схеми потоків окремих ТПП (крім схеми 2-2, на якій зображені два сусідніх ТПП, виділені окремо)

Особливості схем (рис. 3.10):

1. Число потоків, на які розбивається середовище при проходженні через елементи: $n_{\text{поті}} = 2 \times n_{\text{кані}}$. Відмінність складає середовище, яке омиває крайню пластину.

2. За рахунок того, що крайня пластина не бере участі в теплообміні, число потоків в першій від краю групі становить $2 \times n_{\text{кані}} - 1$.

3. Остання пластина не бере участі в теплообміні, тому останній елемент відсікається по ходу як першого, так і другого середовища.

4. Виходячи з пунктів 1-3: по кожному з середовищ проходження його через елементи починається з розбиття на $2 \times n_{\text{кані}} - 1$ потоків з боку, де це середовище омиває крайню пластину, і далі розбивається на $2 \times n_{\text{кані}}$ потоків.

5. Число потоків по одному середовищу не залежить від числа по іншому.

6. Формування послідовності проходження середовищ через елементи не залежить ні від загальної СТС в ПТА, ні від характеру введення середовищ на першу пластину.

На підставі зазначених особливостей можливо побудувати алгоритм генерації послідовності проходження середовищ через елементи (він представлений на рис. А.3.6 в додатку А).

Домовимося спочатку, що відлік елементів починається з боку, де крайню пластину омиває перше середовище, що є середовищем О.

Алгоритм дозволяє згенерувати 2 послідовності кількостей елементів у групах потоків по середовищах О і В.

Далі необхідно заповнити матрицю топології СТС в частині порядку проходження середовища через групи. Ми маємо 2 послідовності чисел, що відображають кількість елементів в групах потоків по обох середовищах: $n_{\text{пто}}$ (кількість груп – $n_{\text{пто}}$) і $n_{\text{пів}}$ ($n_{\text{пів}}$). Особливість заповнення матриці полягає в тому, що навколишнє середовище в апараті може рухатися в різних напрямках – зліва направо або справа наліво.

Прийmemo, що 1-е середовище (О) завжди рухається зліва направо ($\rightarrow$).

2-е середовище (В), рухається по різному в залежності від загальної схеми течіння середовищ в апараті:

- при загальному протівотоці (ознака $\Pi_{\Pi} = 1$) – справа наліво ($\leftarrow$);
- при загальному прямотоці (ознака $\Pi_{\Pi} = 0$) – зліва направо ($\rightarrow$).

Від цього залежить порядок внесення груп елементів в матрицю: прямий або зворотній. При прямому порядку перший елемент матриці ставитися до першої групи потоків, при зворотньому – до останньої.

Алгоритм генерації груп потоків (заповнення матриці груп потоків по середях О і В) показаний на рис. А.3.5 в додатку А.

Блок-схема заповнення матриці груп потоків (шифр БС-3МГП) представлена на рис. А.3.7 в додатку А.

Автоматична генерація коефіцієнтів розподілу середовищ – це третій і останній етап генерації топології СТС в ПТА.

Коефіцієнти розподілу середовищ О і В вносяться в 4-ий і 5-ий рядки матриці відповідно.

Спочатку вносяться попередні значення коефіцієнтів розподілу середовищ (КРС), після проведення теплового розрахунку ці значення уточнюються, перевіряється похибка в порівнянні з прийнятими раніше значеннями і, при перевищенні допустимої похибки, розрахунок повторюється.

При попередньому заповненні матриці приймаємо наступний коефіцієнт розподілу k-го середовища (О або В) в j-му ТЕ, що належить до i-ї групи потоків:

$$\varphi_{k\varnothing_j} = \frac{1}{2 \cdot N_{\text{канк}}} \quad (58)$$

Такий поділ середовищ прийнято тому, що вважаємо, що середовище розділяється в рівних частинах між усіма паралельними каналами і ділитися

чітко навпіл всередині каналу між елементами. Друге припущення згодом буде уточнено.

Алгоритм заповнення матриці попередніми значеннями коефіцієнтів розподілу середовищ представлений на рис. А.3.8 в додатку А.

Значення коефіцієнтів розподілу середовищ в кожному елементі в процесі розрахунку уточнюються в залежності від переданих теплових потоків.

На рис. 3.11 показані схематично і теплові потоки в елементах.

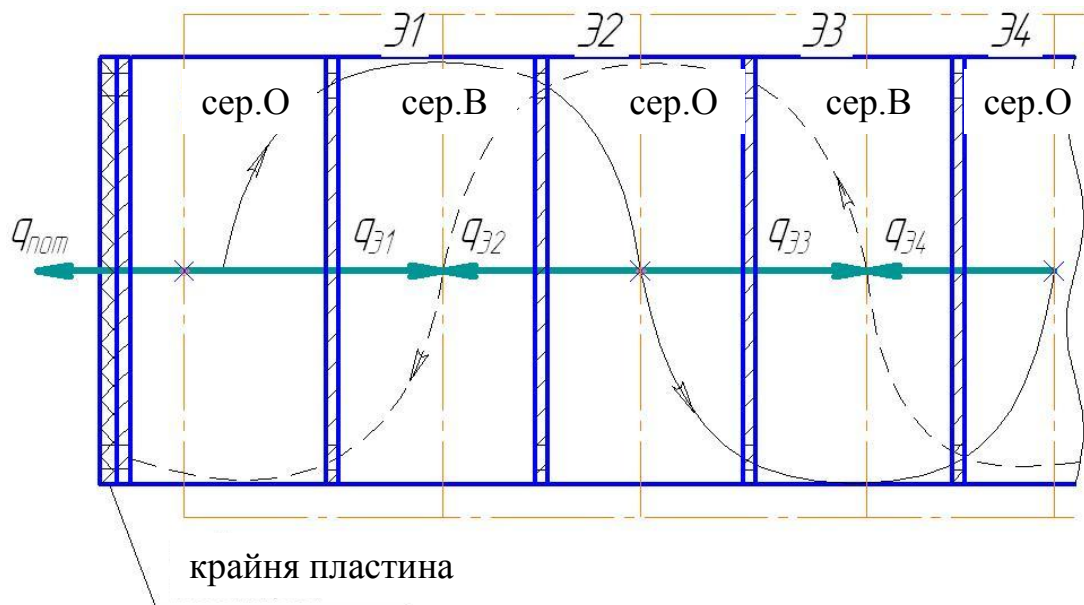


Рисунок 3.11 – Теплові потоки в елементах

Тут $q_{Э1}, q_{Э2}, q_{Эj}$ – теплові потоки в елементах 1, 2, j; $q_{пот}$ – тепловий потік через крайню пластину (втрати), при переформування ВРХ може не враховуватися.

Відношення теплових потоків в сусідніх елементах, з'єднаних одним потоком середовища, дорівнює відношенню коефіцієнтів розподілу цього середовища в цих елементах.

Наприклад, для елементів 1-го і 2-го, що мають спільний потік середовища В:

$$\frac{\varphi_{B\vartheta 1}}{\varphi_{B\vartheta 2}} = \frac{q_{\vartheta 1}}{q_{\vartheta 2}} = \frac{k_{\vartheta 1} \cdot \Delta t_{cp\vartheta 1}}{k_{\vartheta 2} \cdot \Delta t_{cp\vartheta 2}}, \quad (59)$$

де $\varphi_{B\vartheta 1}, \varphi_{B\vartheta 2}$ – коефіцієнти розподілу середовища В у елементах 1 і 2 відповідно, долі одиниці;

$q_{\vartheta 1}, q_{\vartheta 2}$ – питомі теплові потоки в елементах 1 і 2 відповідно, Вт / м²;

$k_{\vartheta 1}, k_{\vartheta 2}$ – коефіцієнти теплопередачі в елементах 1 і 2 відповідно, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}$;

$\Delta t_{cp\vartheta 1}, \Delta t_{cp\vartheta 2}$ – середні температурні напори в елементах 1 і 2 відповідно, К.

У співвідношенні використовуються значення питомих теплових потоків через те, що поверхні теплопередачі у всіх елементах апарату однакові і рівні площі пластини.

Отже, виходячи зі співвідношення (59) і прийнявши, що середовище розділяється рівномірно між усіма каналами, коефіцієнти розподілу середовищ для нашого прикладу:

– для непарного елемента

$$\varphi_{B\vartheta 1} = \frac{q_{\vartheta 1}}{(q_{\vartheta 1} + q_{\vartheta 2}) \cdot N_{\text{канВ}}}, \quad (60)$$

– для парного елемента

$$\varphi_{B\vartheta 2} = \frac{q_{\vartheta 2}}{(q_{\vartheta 1} + q_{\vartheta 2}) \cdot N_{\text{канВ}}}. \quad (61)$$

Алгоритм заповнення матриці топології СТС уточненими коефіцієнтами розподілення середовищ представлений на рис. А.3.9 в додатку А.

Представлені вище алгоритми припускають визначення КРС без урахування теплообміну з навколишнім середовищем через крайню пластину – тобто без урахування втрат.

При необхідності їх розрахунок можна ввести в алгоритм. При цьому в частині формування коефіцієнтів розподілу середовищ змінитися тільки принцип їх формування для першого і останнього елементів. Там, де приймалося, що весь потік середовища в каналі ставитися до одного елемента (до першого для середовища О і останнього для середовища В), необхідно аналогічним чином врахувати розподіл цього потоку. Тоді, для, наприклад, першого елемента КРС обчислюється так

$$\varphi_{OЭ1} = \frac{q_{Э1}}{(q_{пот} + q_{Э1}) \cdot N_{канО}}. \quad (62)$$

3.4.2. Інтервальний тепловий розрахунок: уточнення реальних температур середовищ в елементах

Отже, сформульовані основні принципи розрахунку, розроблені основні елементи алгоритму. Наступний етап – створення загальної методики розрахунку та зведеного алгоритму.

Аналогічну модель було представлено у [78]. Але вона не повністю автоматична, та не дає змоги безітераційно "згортати" систему, як буде показано далі.

Залежно від завдань розрахунку, необхідно сформувати 2 різних алгоритму:

- а) для проведення перевірного розрахунку апарату;
- б) для проведення проектного розрахунку апарату.

Різниця цих розрахунків полягає в кінцевому результаті: для перевірного розрахунку підсумок – кількість переданої в апараті теплоти,

кінцеві або початкові температури теплоносіїв; для проектного – необхідна поверхня теплообміну (кількість ТПП, з яких її необхідно набрати).

Проведення проектного розрахунку при розрахунку зі змінними умовами теплообміну можливо тільки шляхом ітерацій через перевірочний розрахунок. Це пов'язано з неможливістю точної оцінки поверхні теплопередачі: при різних умовах теплообміну теплове навантаження, що передається однаковими конструктивно, але різними з точки зору температурних режимів ТПП, буде змінюватися.

Розглянемо обидва варіанти розрахунків.

У розглянутих далі розрахунках не враховується теплообмін крайньої пластини з навколишнім середовищем.

У загальному вигляді порядок перевірочного розрахунку матиме такий вигляд:

1. Формування індексу протиточності кожного ТЕ (рядок 1 матриці топології СТС).
2. Формування послідовності груп елементів, через які проходять середовища – завдання порядку проходження середовищ через елементи (рядки 2 і 3 матриці).
3. Формування попередніх коефіцієнтів розподілу середовищ: спочатку приймається рівномірний розподіл потоків середовищ між елементами (рядки 4 і 5 матриці).
4. Поелементний тепловий розрахунок та уточнення коефіцієнтів розподілу середовищ і температур в елементах.
5. Перевірка точності розрахунку: при значенні загальної похибки нижче заданої розрахунок вважаємо закінченим, в іншому випадку розрахунок повторюється з п.4.

Алгоритм повірочного розрахунку наведено в додатку А, рис.А.3.1.

Проектний розрахунок включає як складову розрахунок перевірочний і приведений в додатку А на рис. А.3.2.

Поелементний тепловий розрахунок передбачає ітераційний розрахунок системи рівнянь, що складається з 4-х рівнянь для кожного теплообмінного елемента.

Система рівнянь формується з рівнянь для кожного теплообмінного елемента:

- теплопередачі,
- теплового балансу по середовищам О і В,
- коефіцієнта розподілу середовищ О і В.

Рівняння теплопередачі для і-го елемента має вигляд

$$q_{Ki} = k_i \cdot F_i \cdot \Delta t_{cpi}, \quad (63)$$

де k_i – коефіцієнт теплопередачі і-го елемента,

F_i – поверхня тепловіддачі і-го елемента, дорівнює поверхні однієї пластини,

Δt_{cpi} – середній температурний напір і-го елемента.

Рівняння теплового балансу для і-го елемента для середовища О

$$q_{Oi} = \bar{C}_{pOi} \cdot (t_{OH_i} - t_{OK_i}) \cdot G_O \cdot \varphi_{Oi}, \quad (64)$$

и для середовища В

$$q_{Bi} = \bar{C}_{pBi} \cdot (t_{BK_i} - t_{BH_i}) \cdot G_B \cdot \varphi_{Bi}, \quad (65)$$

де $\bar{C}_{pOi}, \bar{C}_{pBi}$ – середня теплоємність середовища О і В відповідно в і-му теплообмінному елементі.

Рівняння розрахунку коефіцієнтів розподілу середовищ φ_{Oi} і φ_{Bi} наведені вище формули (60) и (61).

У розробленому алгоритмі реалізовано 3 методи розрахунку системи рівнянь [79]:

- а) методом послідовних наближень,
- б) методом Гаусса-Зейделя,
- в) методом Ньютона.

Метод послідовних наближень реалізується в такий спосіб.

1. Визначаються попередні значення незалежних змінних.
2. Для кожного теплообмінного елемента за попередніми температурами розраховується тепловий потік q_{ki} по рівнянню (63).
3. По формулам (60) і (61) розраховуються значення коефіцієнта розподілу середовищ φ_{oi} для кожного теплообмінного елемента.
4. Аналогічно розраховується φ_{bi} .
5. Розраховується t_{oki} за рівнянням (64) через q_{ki} і φ_{oi} .
6. Розраховується t_{bki} за рівнянням (65) через q_{ki} і φ_{bi} .
7. Уточнюються початкові температури середовищ в елементах.
8. При кінцевій похибці розрахунку більше допустимої розрахунок повторюється з п.1.

Інші два методи (Гаусса-Зейделя і Ньютона) потребують чисельного рішення системи рівнянь.

Розмірність системи рівнянь і кількість невідомих

$$n = 4 \cdot (N_{\text{пла}} - 2) = 4 \cdot n_{\text{э}}, \quad (66)$$

де $N_{\text{пла}}$ – загальна кількість пластин в теплообмінному апараті,

$n_{\text{э}}$ – кількість елементів комплексу.

Система рівнянь має вигляд

$$F(x) = \begin{cases} f_1(x_1, \dots, x_n) = \frac{q_{K1} - q_{O1}}{\min(q_{K1}, q_{O1})} = 0, \\ \dots \\ f_{n\mathcal{O}}(x_1, \dots, x_n) = \frac{q_{Kn\mathcal{O}} - q_{On\mathcal{O}}}{\min(q_{Kn\mathcal{O}}, q_{On\mathcal{O}})} = 0, \\ f_{n\mathcal{O}+1}(x_1, \dots, x_n) = \frac{q_{O1} - q_{B1}}{\min(q_{O1}, q_{B1})} = 0, \\ \dots \\ f_{2n\mathcal{O}}(x_1, \dots, x_n) = \frac{q_{On\mathcal{O}} - q_{Bn\mathcal{O}}}{\min(q_{On\mathcal{O}}, q_{Bn\mathcal{O}})} = 0, \\ f_{2n\mathcal{O}+1}(x_1, \dots, x_n) = \frac{\varphi_{O1} - \varphi_{O1}(q_K)}{\min(\varphi_{O1}, \varphi_{O1}(q_K))} = 0, \\ \dots \\ f_{3n\mathcal{O}}(x_1, \dots, x_n) = \frac{\varphi_{On\mathcal{O}} - \varphi_{On\mathcal{O}}(q_K)}{\min(\varphi_{On\mathcal{O}}, \varphi_{On\mathcal{O}}(q_K))} = 0, \\ f_{3n\mathcal{O}+1}(x_1, \dots, x_n) = \frac{\varphi_{B1} - \varphi_{B1}(q_K)}{\min(\varphi_{B1}, \varphi_{B1}(q_K))} = 0, \\ \dots \\ f_{4n\mathcal{O}}(x_1, \dots, x_n) = \frac{\varphi_{Bn\mathcal{O}} - \varphi_{Bn\mathcal{O}}(q_K)}{\min(\varphi_{Bn\mathcal{O}}, \varphi_{Bn\mathcal{O}}(q_K))} = 0, \end{cases} \quad (67)$$

де $\varphi_{Oi}(q_K), \varphi_{Bi}(q_K)$ – рівняння розрахунку коефіцієнта розподілу середовищ О і В відповідно (60) і (61) при підстановці в якості теплового потоку в елементі q_{Ki} .

Невідомими в даній системі рівнянь є $x = (t_{OK1}, \dots, t_{OKn\mathcal{O}}, t_{BK1}, \dots, t_{BKn\mathcal{O}}, \varphi_{O1}, \dots, \varphi_{On\mathcal{O}}, \varphi_{B1}, \dots, \varphi_{Bn\mathcal{O}})^T$.

Оскільки всі рівняння в системі $F(x)$ представлені як відносні відхилення (в частках одиниці) даної величини, то її можна також використовувати для оцінки похибки ітерацій для всіх 3-х методів розрахунку.

Метод Гаусса-Зейделя описується, наприклад, в [57] або в [21]. Він передбачає пошук мінімуму функції багатьох змінних. Тому наведену вище систему рівнянь перетворюємо в функцію

$$\Psi(x) = \sum_{i=1}^n f_i^2(x_1, \dots, x_n). \quad (68)$$

Так як дана функція невід'ємна, її мінімум $\Psi(x) = 0$ досягається в точці, що є рішенням системи рівнянь.

Послідовність розрахунку буде наступною.

1. Завдання початкового наближення незалежних змінних.
2. Розрахунок коефіцієнтів теплопередачі і теплоємність середовищ О і В для кожного теплообмінного елемента.

3. $i = 1$

4. Збільшення i -ї незалежної змінної в $(1 + \varepsilon/100)$ разів, де ε – необхідна точність розрахунку.

5. Розрахунок $\Psi(x)$. Якщо значення функції зменшилось в порівнянні з попереднім кроком, повернення до п.2, в іншому випадку перехід до наступного кроку.

6. Зменшення i -ї незалежної змінної в $(1 - \varepsilon/100)$ разів.

7. Розрахунок $\Psi(x)$. Якщо значення функції зменшилось в порівнянні з попереднім кроком, повернення до п.5, в іншому випадку збільшення x в $(1 + \varepsilon/100)$ разів і перехід до наступного кроку.

8. Якщо $i < n_{\Sigma}$, збільшення i на 1 та перехід до п.3.

9. Перерахунок початкових температур в елементах.

10. Якщо не досягнута необхідна точність розрахунку – перехід до п. 2.

Наведений вище метод на кожній ітерації має допущення про незмінність коефіцієнта теплопередачі, теплоємність і початкові температури середовищ О і В у елементах.

Метод Ньютона реалізується в такий спосіб.

1. Присвоєння лічильнику ітерацій значення $k = 1$.
2. Завдання початкового наближення незалежних змінних $x^{(k)}$.

3. Розрахунок коефіцієнтів теплопередачі і теплоємність середовищ O і B для кожного теплообмінного елемента.

4. Знаходження значень незалежних змінних для наступного наближення як

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} - W^{-1}(x^{(k)}) \cdot F(x^{(k)}), \quad (69)$$

де $W(x^{(k)})$ – матриця Якобі для k -го приближення незалежних змінних, що визначається як

$$W(x) = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1(x)}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n(x)}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_n(x)}{\partial x_n} \end{pmatrix}. \quad (70)$$

5. Перерахунок початкових температур в елементах.

6. Якщо не досягнута необхідна точність розрахунку – збільшення лічильника ітерацій $k = k + 1$ и перехід до п. 2.

Розроблений уточнений метод дозволяє проводити розрахунок з інтервалом в одну пластину. Однак для підвищення точності розрахунку можна також поглибити цю модель і провести інтервально-ітераційний розрахунок теплообміну по довжині пластини.

Для спрощення моделі можна також використовувати фрактальний підхід для розрахунку ефективностей груп елементів.

3.4.3. Валідація методики уточненого інтервального розрахунку

Адекватність результатів розробленої методики підтверджено розрахунками у одно- та тривимірному солверах на моделі

маслоохолоджувача з 13-ма пластинами Р-0,6. Вихідні дані розрахунку: температура мастила на вході 60°C , температура води на вході 15°C , тиск обох середовищ 5 бар, массова витрата мастила 1 кг/с, води – 2 кг/с. Загальна схема течіння в апараті – протиток.

Валідація в одновимірному солвері проводилась в програмі AxSTREAM NET (SoftInWay). Результати зображено на рис. 3.12. Тут сині елементи моделюють канали для проходу середовищ, жовті – матеріал пластин, сірі моделюють тепловіддачу між рідиною та стінкою. Кожний канал та пластину розбито на 10 частин по довжині для підвищення точності результату.

Валідація в тривимірному солвері проводилась в ANSYS. Подібний розрахунок описано в [46, 80]. Як зазначено у [47], нинішніми комп'ютерними засобами змодельовати повністю пластинчастий теплообмінник з гофрованими пластинами неможливо, тож у даній роботі було прийняте спрощення і пластини вважались плоскими. У [47] також визначено, що похибка розрахунку від такого спрощення допустима, та все ж при розрахунку в інших програмах (одновимірному солвері та розроблений у дисертаційній роботі моделі) також було прийняте припущення про те, що пластина є плоскою. Це враховувалось за допомогою використання відповідної моделі розрахунку критерія Нусельта. Цей підхід можна вважати допустимим також і тому, що валідувались моделі врахування схеми течіння середовищ, а не моделі розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі. Результати представлені на рис. 3.13.

В обох солверах як граничні умови задавались: сталі температура і тиск середовищ у вхідних перетинах теплообмінного апарату, стала витрата теплоносія у вихідному перетині. Температури у вихідних перетинах розраховувались солверами.



Рисунок 3.12 – Результати моделювання пластинчастого теплообмінника в 1Д солвері

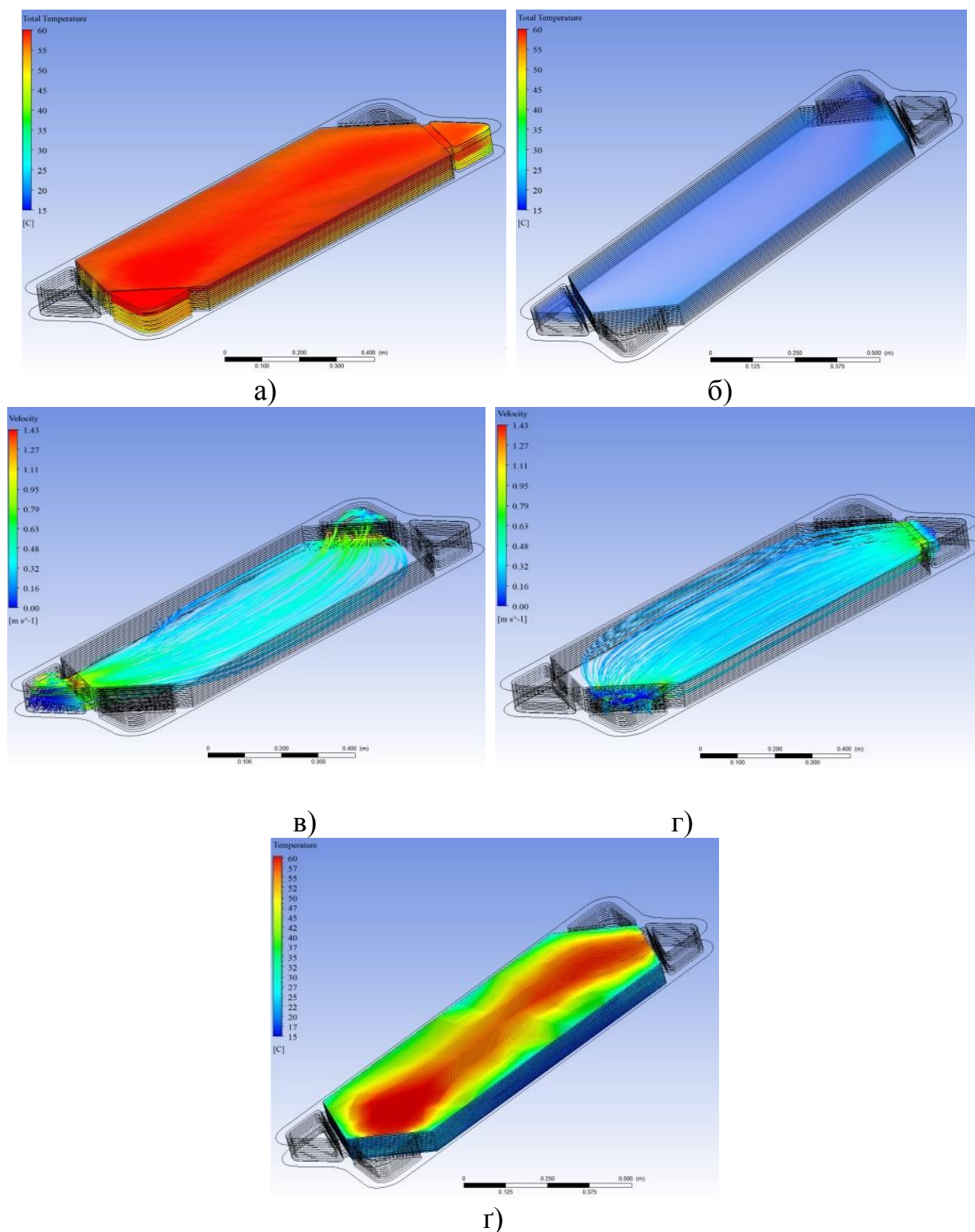


Рисунок 3.13 – Результати моделювання пластинчастого теплообмінника в 3Д солвері: а) розподіл повних температур горячого теплоносія (мастило); б) розподіл повних температур холодного теплоносія (вода); в) та г) струйки току холодного та горячого теплоносіїв відповідно; г) температури поверхонь теплообміну

Порівняння результатів проводилось по кількості переданої теплоти. 3Д розрахунок показав результат 22,564 кВт, це значення взято як найточніше, з ним будемо зрівнювати інші результати. Уточнений розрахунок, наведений в даній дисертаційній роботі, показав результат 18,147 кВт, що на 19,6% менше, ніж при 3Д розрахунку. 1Д розрахунок показав результат 29,471 кВт, що на 30,6% більше, ніж у 3Д розрахунку. Таким чином, ці результати відхиляються у різні сторони від 3Д розрахунку. Це пояснюється прийнятими допущеннями. При одномірному розрахунку закладалось припущення про ідеальне перемішування середовища всередині каналів пластинчастого теплообмінного апарату. В уточненому методі, наведеному в цій дисертаційній роботі, приймалось припущення, що середовище в каналі не перемішується зовсім, тобто один шар потоку передає теплоту одній прилеглої теплообмінній пластині, а другий – іншій. Як показав тривимірний розрахунок, істина посередині. Тож виходячи з того, що розроблений уточнений метод дає не більшу похибку, аніж уточнений 1Д розрахунок, дає похибку в сторону зменшення теплового потоку, до того ж є повністю автоматичним, можна вважати доцільним його використання при побудові засобів оптимізації пластинчастого теплообмінного обладнання.

3.5. Система модулів гідравлічних розрахунків пластинчастих теплообмінників

Методика гідравлічного розрахунку пластинчастого теплообмінного апарату також приведена в [19, 73, 81].

Коефіцієнт загального гідравлічного опору для середовища, в якій не відбувається фазовий перехід, розраховується за рівнянням

$$\zeta = \frac{C}{Re^n}, \quad (71)$$

де C і n – коефіцієнти, що залежать від типу пластини (наведені в додатку А.4).

Гідравлічний опір всіх пакетів пластин в апараті, Па

$$\Delta P_{\text{ТА}} = \xi \times \frac{L_{\Pi}}{d_{\text{э}}} \times \rho \times \frac{w^2}{2} \times n_{\Pi\text{А}} \times N_{\text{ход}}, \quad (72)$$

де $L_{\Pi}, d_{\text{э}}$ – приведена довжина каналу і еквівалентний діаметр каналу для даного типу пластини.

Якщо швидкість середовища в штуцері $w_{\text{шт}}$ не перевищує 2,5 м/с, то його гідравлічним опором нехтують, в іншому випадку воно розраховується за рівнянням

$$\Delta P_{\text{штА}} = \frac{\rho \times w_{\text{шт}}^2}{2} \times 1,5. \quad (73)$$

При наявності фазового переходу гідравлічним опором тракту нехтують.

Потужність нагнітача (кВт) визначається за рівнянням

$$N = \frac{G \cdot \Delta P}{1000 \cdot \rho \cdot \eta_{\text{Н}}}, \quad (74)$$

де $\eta_{\text{Н}}$ – ККД насоса, долі од.

3.6. Система модулів економічних розрахунків теплообмінників

Принципи економічного розрахунку пластинчастого теплообмінника аналогічні принципам для розрахунку кожухотрубчасті, наведеного, наприклад, в [21].

Капітальні вкладення в теплообмінник, крім вартості самих теплообмінних апаратів, враховують також вартість обв'язки, фундаменту і металоконструкцій, монтажу а також транспортних і заготівельно-складських витрат.

Ціна теплообмінного апарату розраховується за формулою

$$\Pi_{\text{ТА}} = n_{\text{ПЛ}} \cdot \Pi_{\text{ПЛ}} \cdot k_{\text{МАТ}} + \Pi_{\text{РАМ}}, \quad (75)$$

де $n_{\text{ПЛ}}$ – кількість пластин в апараті, шт;

$\Pi_{\text{ПЛ}}$ – ціна однієї пластини, грн/шт;

$k_{\text{МАТ}}$ – коефіцієнт вартості матеріалу пластини, який визначається як вартість одиниці маси даного матеріалу до вартості одиниці маси сталі КП-08;

$\Pi_{\text{РАМ}}$ – ціна рами апарату.

Вартість елементів теплообмінника була розрахована за допомогою апроксимації по каталогах фірм-виробників пластинчастого теплообмінного обладнання. Вартість матеріалів пластин також розрахована по каталогах.

Вартість монтажу апарату розраховується як відсоток від вартості самого апарату

$$C_{\text{МА}} = \Pi_{\text{ТА}} \cdot k_{\text{МА}}, \quad (76)$$

де $k_{\text{МА}}$ – коефіцієнт питомої вартості монтажних робіт як частка ціни теплообмінного апарату, долі од.

Капітальні вкладення в апарат з урахуванням монтажу, грн

$$K_{\text{АО}} = k_{\text{ТЗС}} \cdot \Pi_{\text{ТА}} + C_{\text{МА}}, \quad (77)$$

де $k_{\text{тзс}}$ – коефіцієнт збільшення ціни апарату за рахунок транспортних і заготівельно-складських витрат, долі од.

Ціна теплообмінника без урахування монтажу, грн

$$\Pi_{\text{ТО}} = \Pi_{\text{ТА}} \cdot (n_{\text{ТОЗО}} + n_{\text{РА}}), \quad (78)$$

де $n_{\text{ТОЗО}}$ – кількість апаратів в теплообміннику з урахуванням запасу і округлення, шт;

$n_{\text{РА}}$ – кількість резервних апаратів, шт.

Капітальні вкладення в обв'язку теплообмінника (засувки, трубопроводи, опори тощо з урахуванням вартості їх монтажу), грн

$$K_{\text{ОТО}} = \Pi_{\text{ТО}} \cdot k_{\text{ОТО}}, \quad (79)$$

де $k_{\text{ОТО}}$ – коефіцієнт питомої вартості обв'язки апарату як частки ціни теплообмінника, долі од.

Капітальні вкладення в металоконструкції теплообмінника, грн

$$K_{\text{МКТО}} = \Pi_{\text{ТО}} \cdot k_{\text{МКТО}}, \quad (80)$$

де $k_{\text{МКТО}}$ – коефіцієнт питомої вартості металоконструкцій як частки ціни теплообмінника, долі од.

Капітальні вкладення в фундамент теплообмінника, грн

$$K_{\text{ФТО}} = \Pi_{\text{ТО}} \cdot k_{\text{ФТО}}, \quad (81)$$

де $k_{\text{ФТО}}$ – коефіцієнт питомої вартості фундаменту як частки ціни теплообмінника, долі од.

Загальні капітальні вкладення в теплообмінник

$$K_{TO} = K_{AO} \cdot (n_{TOZO} + n_{PA}) + K_{OTO} + K_{MKTO} + K_{ФТО}. \quad (82)$$

Капітальні вкладення в нагнітач середовища О, грн

$$K_{HO} = k_{HO} \cdot N_{HOЭ}^{-n} \cdot N_O^{n+1} \cdot k_{KHO} \cdot (1 + k_{HO}), \quad (83)$$

де k_{HO} – коефіцієнт питомої вартості транспортних, заготівельно-складських витрат, фундаменту, монтажу нагнітача середовища О та ін. робіт як частки ціни нагнітача середовища О.

Капітальні вкладення в нагнітач середовища В K_{HB} розраховуються аналогічно.

Загальні капітальні вкладення включають капітальні вкладення в теплообмінник і нагнітачі

$$K = K_{TO} + K_{HO} + K_{HB}. \quad (84)$$

Експлуатаційні витрати включають витрати на теплоносії і енергію для їх перекачування, відрахування на амортизацію, поточні та капітальні ремонти теплообмінника і нагнітачів.

Річні витрати на середовище О, грн/рік

$$Z_{CO} = G_O \cdot Ц_O \cdot \tau \cdot 3,6, \quad (85)$$

де $Ц_O$ – ціна середовища О, грн/т;

τ – час роботи обладнання на рік, час/рік.

Затрати на середовище В (Z_{CB}) розраховуються аналогічно.

Загальні річні витрати на теплоносії

$$Z_c = Z_{co} + Z_{cv}. \quad (86)$$

Витрати на енергію для роботи нагнітача середовища О, грн/рік

$$Z_{\varepsilon o} = N_o \cdot \Pi_{\varepsilon o} \cdot \tau, \quad (87)$$

де $\Pi_{\varepsilon o}$ – вартість енергії на привід нагнітача середовища О, грн/кВт·год.

Витрати на енергію для нагнітача середовища В $Z_{\varepsilon v}$ розраховуються аналогічно.

Загальні річні витрати на енергію для роботи нагнітачів, грн/рік

$$Z_{\varepsilon} = Z_{\varepsilon o} + Z_{\varepsilon v}. \quad (88)$$

Річні відрахування на амортизацію, поточні та капітальні ремонти, утримання теплообмінника, грн/рік

$$Z_{to} = K_{to} \cdot k_{to}, \quad (89)$$

де k_{to} – коефіцієнт відрахувань на амортизацію, поточні та капітальні ремонти, утримання теплообмінника.

Те ж для нагнітача середовища О, грн/рік

$$Z_{ho} = K_{ho} \cdot k_{ho}. \quad (90)$$

Для нагнітача середовища В ці відрахування (Z_{hv}) розраховуються аналогічно.

Річні експлуатаційні витрати на теплообмінник, грн/рік

$$\mathfrak{E}_{\text{ТО}} = \mathfrak{Z}_{\text{ТО}} + \mathfrak{Z}_{\text{С}}. \quad (91)$$

Річні експлуатаційні витрати в нагнітач середовища О, грн/рік

$$\mathfrak{E}_{\text{НО}} = \mathfrak{Z}_{\text{НО}} + \mathfrak{Z}_{\text{ЭО}}. \quad (92)$$

Аналогічно розраховуються річні експлуатаційні витрати нагнітача середовища В $\mathfrak{E}_{\text{НВ}}$, грн/рік.

Річні експлуатаційні витрати на нагнітачі, грн/рік

$$\mathfrak{E}_{\text{Н}} = \mathfrak{E}_{\text{НО}} + \mathfrak{E}_{\text{НВ}}. \quad (93)$$

Загальні річні експлуатаційні витрати, грн/рік

$$\mathfrak{E} = \mathfrak{E}_{\text{ТО}} + \mathfrak{E}_{\text{Н}}. \quad (94)$$

Приведені витрати враховують як капітальні вкладення в теплообмінник, так і експлуатаційні витрати

$$\mathfrak{Z} = \mathfrak{E} + E_{\text{Н}} \cdot K, \quad (95)$$

де $E_{\text{Н}}$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності, 1/рік.

3.7. Висновки по розділу 3

У цьому розділі наведені вперше розроблені алгоритмічні модулі для проведення всіх видів розрахунків ПТО при проектуванні і проектній

оптимізації: конструкційний, тепловий, гідравлічний і економічний.

Розроблені модулі легко агрегуються в уже існуючі системи розрахунку теплообмінного обладнання (кожухотрубчастих теплообмінників, апаратів повітряного охолодження та ін.).

Ядро цих модулів – традиційні тепловий та гідравлічний розрахунки пластинчастих теплообмінних апаратів, загальновідомі і наведені в [2-3, 19, 82].

Також в алгоритмі використовується відомий метод розрахунку регулярних комплексів теплообмінників, наведений в [21, 23] та ін.

Автором вперше розроблені принципи формування топологій схем течіння середовищ в пластинчастих теплообмінних апаратах і запропоновано новий метод і алгоритм уточненого розрахунку пластинчастого теплообмінного апарату як системи теплообмінних елементів, з'єднаних складною схемою течіння середовищ. Також наведено валідацію розробленої методики.

Розроблені принципи побудови топологій СТС апаратів універсальні. В подальшому їх можна застосувати також для формування і розрахунку нерегулярних комплексів, що складаються з окремих апаратів.

Однак ця методика застосовна поки тільки для схем з постійним числом каналів по ходу середовищ. У методику можливо також ввести урахування теплообміну крайньої пластини, автоматичний вибір оптимальної теплоізоляції та ін.

Як показує досвід проведення обчислювальних експериментів, кратність числа каналів по 1-му середовищу числу за іншою (причому чим ближче найбільший спільний дільник (НСД) до максимального з них тим краще) забезпечує менше число пластин в ТПП і, отже, менший необхідний коефіцієнт запасу поверхні. Цей фактор необхідно врахувати при організації переборів варіантів в процесі рішення оптимізаційної задачі.

Розділ 4. ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ ЕКСПЕРИМЕНТИ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАСТИНЧАСТИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ ТА ЇХ РЕЗУЛЬТАТИ

Обчислювальний експеримент – це особливий вид дослідження, що дозволяє встановити різноманітні розрахункові залежності аналізованих об'єктів без проведення дорогого фізичного моделювання.

При розробці засобів розрахунку і оптимізації теплообмінного обладнання в дослідженні та удосконаленні потребують в першу чергу методи пошуку екстремуму критерію оптимальності. Оскільки проведення оптимізації передбачає перебір величезної кількості варіантів, обґрунтоване скорочення цієї кількості є першочерговим завданням.

Крім того, при проведенні розрахунку теплообмінника необхідний обґрунтований вибір точності застосованої моделі розрахунку.

У даній роботі проведені наступні основні види обчислювальних експериментів:

1) порівняння ефективності кожухотрубчастих і пластинчастих теплообмінників для конкретного застосування;

2) ранжування незалежних змінних за ступенем їх впливу на результати оптимізації пластинчастих теплообмінників в широкому діапазоні зміни теплових навантажень і інших режимних параметрів;

3) дослідження впливу похибки теплових і гідравлічних розрахунків на похибку основних результатів цих розрахунків, а також на похибку результатів оптимізації (вплив окремих факторів і сукупності факторів);

4) порівняння похибки при розрахунку із застосуванням моделей різної точності;

5) дослідження впливу зміни економічних величин (вартостей енергоносіїв, матеріалів) на результати оптимізації.

Ранжування незалежних змінних проводиться для розвитку алгоритму і дозволяє визначити, перебір яких змінних дозволяє домогтися більш значущих результатів оптимізації. Змінні, вплив яких незначний у порівнянні

з іншими, можуть перебиратися з великим кроком або НЕ перебиратися зовсім. Також отримана інформація корисна при побудові евристичних алгоритмів пошуку екстремуму критерію оптимальності.

Дослідження впливу похибки розрахунків дозволяє визначити, які з компонентів алгоритму слід допрацьовувати шляхом уточнення отриманих результатів, а які можуть бути використані зі значною похибкою, і це не призведе до істотної похибки результатів.

Обчислювальні експерименти проводяться для теплообмінників різного призначення:

- а) маслоохолоджувачі турбін;
- б) теплообмінники системи теплопостачання;
- в) регенератори понадкритичного CO₂ циклу;
- г) підігрівачі повітря системи знеліднення газотурбінного циклу.

4.1. Інструмент дослідження: програмний комплекс СПОТО

По створеному алгоритму оптимізації пластинчастих теплообмінників ОПТО була написана програма СПОТО. Також в цій програмі реалізований алгоритм оптимізації кожухотрубчатих теплообмінників ОКТО, створений раніше Канівцем Г.Є. і детально описаним в [21]. Алгоритм оптимізації кожухотрубчастого теплообмінника було реалізовано для того, щоб провести порівняння ефективності пластинчастих і кожухотрубчастих теплообмінників по економічним критеріям. Алгоритми повністю аналогічні, тож результати можуть бути зіставлені.

Програму написано на мові VisualBasic з вивантаженням результатів розрахунку в книгу Excel. Також створена програма на мові Java, в ній реалізована тільки оптимізація пластинчастого теплообмінника.

У додатку Б описано desktop-версію програмного комплексу СПОТО.

Для розрахунку властивостей теплоносіїв є вбудовані бази теплофізичних властивостей, а також підключено бібліотеки властивостей

CoolProp [83] и CEA (Chemical Equilibrium with Applications by NASA) [84], що були наявні у вільному доступі. Детальний опис баз з переліком доступних речовин наведено в додатку Б в таблиці Б.1. В онлайн-версії програми немає бази CEA.

В СПОТО можливо проводити одиничні проектні або перевірочні розрахунки пластинчастого і кожухотрубчатого теплообмінників, а також їх проектну оптимізацію. Пошук екстремуму критерію оптимальності реалізований різними методами. Для ПТО реалізовані методи повного перебору всіх варіантів теплообмінників і метод випадкового пошуку. Для КТО реалізовані методи повного перебору, метод випадкового пошуку, метод Гаусса-Зейделя і також комбінація останніх двох методів.

Також для кожного виду теплообмінників реалізовані уточнені перевірочні розрахунки апаратів інтервальним методом. Для кожухотрубчатого апарату був розроблений модуль уточненого розрахунку КТО для повної аналогії алгоритмів ОПТО і ОКТО. Як для пластинчастого, так і для кожухотрубчатого апаратів, рішення системи рівнянь при уточненому розрахунку вирішується за допомогою методів простих ітерацій, Гаусса-Зейделя і Ньютона.

Незалежні конструктивні змінні при проведенні оптимізації:

- можливі типи пластин: P0,2; P0,3; P0,6; PC0,7-1; PC0,7-2; P1,3;
- кількість каналів, на які розбивається кожне з середовищ – це максимальна кількість каналів, на які може розбитись середовище для кожного типу пластин ($N_{канО}, N_{канВ}$): для P0,2 – від 1 до 101 шт; для P0,3 – від 1 до 34 шт; для P0,6 – від 1 до 251 шт; для PC0,7-1 – від 1 до 143 шт; для PC0,7-2 – від 1 до 35 шт; для P1,3 – від 1 до 309 шт;
- кількість рядів апаратів по кожному з середовищ (U_o, U_v) – від 1 до 6 шт.

Критерії оптимальності, за якими проводилась оптимізація у приведених нижче розрахункових експериментах – капітальні вкладення та приведені витрати.

4.2. Основні параметри об'єктів, що аналізуються (вихідні дані для проведення обчислювального експерименту)

Маслоохолоджувачі турбін.

Маслоохолоджувачі використовуються в схемі маслозабезпечення парової турбіни для охолодження нагрітого у підшипниках мастила циркуляційною водою [85-88].

Середовище О – масло МК (теплофізичні характеристики масел для програми взяті з [89-91]). Процес теплообміну – без зміни агрегатного стану (охолодження). Забруднення – масло машинне і трансформаторне $R_o = 0,00015 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$. Початкова температура $t_{\text{ОН}} = 65^\circ \text{С}$, кінцева $t_{\text{ОК}} = 50^\circ \text{С}$. Початкова температура охолоджуючої води $t_{\text{ВН}} = 15^\circ \text{С}$, кінцева знаходиться в процесі оптимізації з інтервала $t_{\text{БК}} = 20 \div 40^\circ \text{С}$ з кроком $\Delta t_{\text{БК}} = 5^\circ \text{С}$.

Теплообмінники системи опалення.

Водо-водяні підігрівачі використовуються для нагрівання води власних потреб на електростанції або в опалювальних системах житлових будинків, що живляться від теплофікаційних установок [39].

Середовища О і В – вода. Процеси теплообміну – без зміни агрегатного стану. Забруднення – вода жорстка. Температурний режим: $t_{\text{ОН}} = 150^\circ \text{С}$, $t_{\text{ОК}} = 70^\circ \text{С}$, $t_{\text{ВН}} = 60^\circ \text{С}$, $t_{\text{БК}} = 90^\circ \text{С}$. Оптимізація режимних параметрів не проводиться.

Підігрівачі повітря системи знеліднення газотурбінного циклу.

Система знеліднення є одним з необхідних елементів газотурбінних установок (ГТУ), що працюють у вологому та холодному кліматі [92-93]. За відсутності цієї системи лід, що може утворитися на вхідному апараті та на лопатках перших ступеней компресора, призведе до погіршення роботи установки, а часто навіть до її поломки.

Система знеліднення підвищує температуру повітря, що всмоктується компресором, за рахунок цього вдається запобігати обмерзанню елементів обладнання. Принцип дії може бути різним: електричний обігрів, підмішення вихлопних газів, підмішення повітря, взятого за компресором, та інше.

У цій дисертаційній роботі розглядається система знеліднення, принцип дії котрої полягає у підмішенні у вхідному тракті повітря, взятого за компресором та додатково підігрітого вихлопними газами ГТУ у теплообміннику. За газотурбінною установкою встановлений котел-утилізатор (HRSG), що дозволяє корисно використати теплоту вихлопних газів у додатковому паротурбінному циклі. Підігрівач повітря підключений паралельно с котлом, витрата газів на нього регулюється за допомогою шиберної заслонки.

Моделювання циклу газотурбінної установки виконувалось у програмі AxCYCLE™. Приклад циклу на 1 МВт наведено на рис. 4.1.

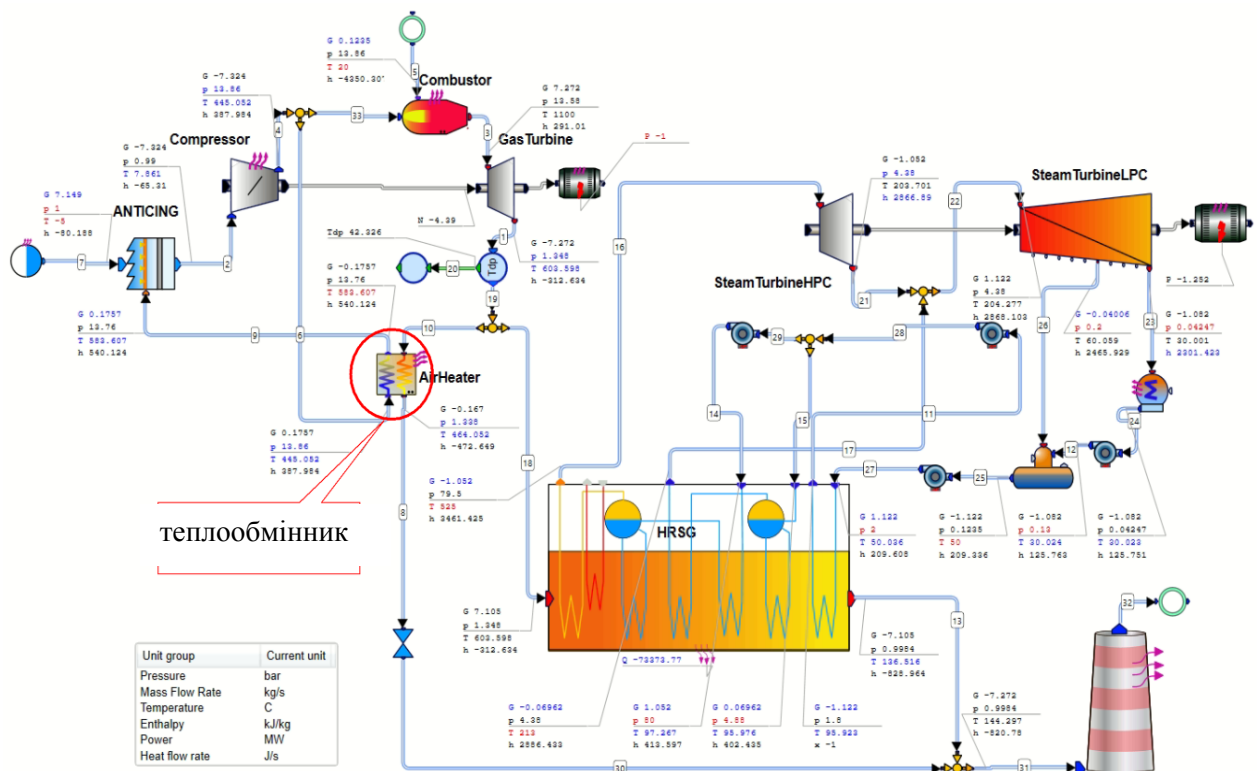


Рисунок 4.1 – Цикл газотурбінної установки з системою знеліднення

У циклі внутрішній ККД компресора 0,79, механічний ККД 0,98, ККД турбіни 0,95, паливо – природний газ. Розрахунок системи знеліднення виконано на параметри довколишнього повітря: температура -5°C , вологість повітря 100 %, водність повітря (густий туман) 1 г/м^3 . Витрата повітря до системи знеліднення визначена з урахуванням 10°C перегріву відносно точки роси.

Пластинчасті регенератори понадкритичного CO_2 циклу

Понадкритичні CO_2 цикли останні роки викликають все більший інтерес у якості циклів енегетичних установок, у тому числі циклів утилізації теплоти газотурбінних установок [94], циклів атомних реакторів [95] та ін. У [13] наведено приклад оптимізації пластинчастого теплообмінника для понадкритичного CO_2 циклу. У [96] зазначено, що при розрахунку теплообмінника, в якому теплоносієм є CO_2 у околкритичній області, необхідно мати на увазі колювання властивостей цієї речовини. Тож у цій області доцільно застосовувати розроблений у дисертаційній роботі уточнений метод розрахунку пластинчастого теплообмінника. Цикли з рекомпресією показують більш високу ефективність, однак потребують деякого ускладнення схеми [97]. Приклад такого циклу потужністю 1 МВт наведено на рис. 4.2.

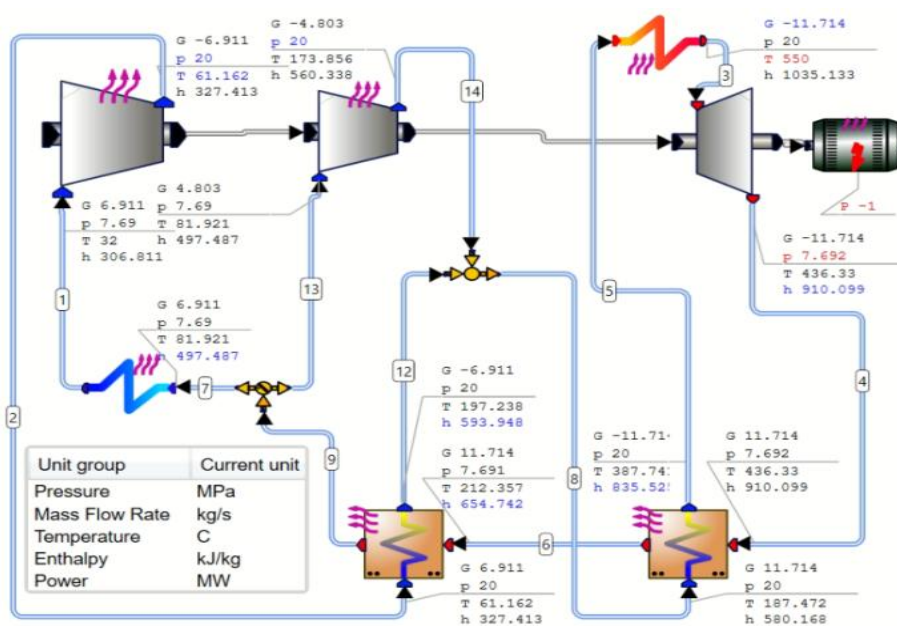


Рисунок 4.2– Понадкритичний CO_2 цикл з рекомпресією

У циклах з рекомпресією необхідно 2 регенератора. Тут можуть використовуватися різні види пластинчастих теплообмінників [98-100]. У зв'язку з високим перепадом тиску у цих теплообмінниках при використанні пластинчастих апаратів необхідно використовувати нерозбірні (паяні) теплообмінники.

Економічні величини.

Ціна електроенергії для приводу нагнетачів теплоносіїв О і В прийнята за станом на квітень 2015 року для промислових споживачів II класу напруги і становить $\Pi_{\text{ээ}} = 1,4011 \text{ грн/кВтч}$.

Ціни теплоносіїв. Ціна основного (цільового) теплоносія приймається рівною нулю, тому що саме для підведення / відведення тепла до нього / від нього призначений теплообмінник, що проектується. Ціна вторинного (обслуговуючого) теплоносія розраховується залежно від його виду та умов використання. Для маслоохолоджувачів турбін використовується охолоджуюча оборотна вода. Розрахунок її вартості наведено в додатку В. Ціна оборотної води – $0,5055 \text{ грн/м}^3$. Для теплообмінників системи опалення використовується теплофікаційна вода, вартість якої $0,2151 \text{ грн/м}^3$ (розрахунок вартості наведено в додатку В).

4.3. Опис проведених обчислювальних експериментів

4.3.1. Оптимальні теплообмінники та порівняння економічної ефективності пластинчастих і кожухотрубних теплообмінників, отриманих в результаті оптимізації при однаково широкому діапазоні зміни теплових навантажень і інших режимних параметрів

Оптимізація була проведена за критеріями оптимальності З (приведені витрати, грн/рік) і К (капітальні вкладення, грн):

– для маслоохолоджувачів для значень витрат масла $G_O=10; 25; 50; 75; 100; 125; 150; 175; 200; 225; 250$ кг/с (перебрано 20 953 206 варіантів реальних конструкцій теплообмінників);

– для теплообмінників системи опалення для потужностей $Q=100; 300; 500; 700; 900; 1200; 1500; 2000$ кВт (перебрано 3 252 928 варіантів реальних конструкцій теплообмінників).

Протоколи оптимізації наведені в додатку Г (протокол 1 пп. 1÷88, протокол 2 пп. 1÷96). Оптимальний тип пластин при оптимізації маслоохолоджувачів для всіх витрат $P_{0,6}$; для теплообмінників системи опалення $P_{0,3}$ (для $Q = 100 \div 500$ кВт) і $PC_{0,7-2}$ (для $Q = 700 \div 2000$ кВт) за обома критеріями оптимальності.

Основні параметри оптимальних пластинчастих теплообмінників наведені в табл. 4.1 та 4.2. Тут і далі $ТИП_{пл}$ – тип пластини, $МАТ_{пл}$ – матеріал пластини, t_{BK} – кінцева температура охолоджуючої води, n_A – кількість апаратів у теплообміннику, F_A – площа поверхні теплообміну апарату, $n_{пл\sum A}$ – загальна кількість пластин в апараті.

Таблиця 4.1 – Оптимальні пластинчасті маслоохолоджувачі

№ п/п	Витрата мастила, кг/с	Оптимальні значення незалежних змінних							Приведені витрати, грн/рік	Параметри оптимального ТО		
		$ТИП_{пл}$	$МАТ_{пл}$	U_O	U_B	$N_{канO}$	$N_{канB}$	t_{BK}		n_A	F_A	$n_{пл\sum A}$
1	10	P 0,6	08-КП	1	1	42	14	35	50 551,91	1	49,8	85
2	25	P 0,6	08-КП	1	2	40	10	35	113 127,41	2	47,4	81
3	50	P 0,6	08-КП	1	2	91	13	40	215 632,07	2	108,6	183
4	75	P 0,6	08-КП	1	2	120	30	35	314 473,40	2	143,4	241
5	100	P 0,6	08-КП	1	3	108	27	40	423 187,43	3	129	217
6	125	P 0,6	08-КП	1	3	132	22	40	525 018,88	3	157,8	265
7	150	P 0,6	08-КП	1	2	235	47	35	629 485,60	2	281,4	471
8	175	P 0,6	08-КП	1	3	185	37	40	743 915,26	3	221,4	371
9	200	P 0,6	08-КП	1	3	210	35	40	848 508,57	3	251,4	421
10	225	P 0,6	08-КП	1	3	240	60	40	948 857,40	3	287,4	481
11	250	P 0,6	08-КП	1	3	228	57	35	1 064 491,75	3	273	457

Таблиця 4.2 – Оптимальні теплофікаційні пластинчасті теплообмінники

№ п/п	Q, кВт	Оптимальні значення незалежних змінних						Приведені витрати, грн/рік	Параметри оптимального ТО		
		ТИП _{пл}	МАТ _{пл}	U _О	U _В	N _{канО}	N _{канВ}		n _А	F _А	n _{пл} ΣA
1	100	P 0,3	08-КП	1	1	2	3	5 662,45	1	3,3	13
2	300	P 0,3	08-КП	1	1	3	5	12 767,77	1	8,7	31
3	500	P 0,3	08-КП	1	1	6	30	21 228,27	1	17,7	61
4	700	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	26 892,01	1	24,5	37
5	900	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	11	32 309,70	1	30,1	45
6	1200	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	40 427,95	1	38,5	57
7	1500	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	11	47 800,19	1	45,5	67
8	2000	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	64 663,20	2	27,3	41

В табл. 4.3 наведені параметри оптимальних кожухотрубних теплообмінників. Тут d_n – зовнішній діаметр труби, D_v – внутрішній діаметр корпусу, M – кількість ходів трубного пучка, $l_{\text{п}}$ – довжина трубки, Ω – відносна висота перегородки, $n_{\text{пл}}$ – кількість перегородок. Як видно з наведених вище таблиць, за критерієм оптимальності «приведені витрати» пластинчасті теплообмінники показують більш високу ефективність.

Таблиця 4.3 – Оптимальні кожухотрубчаті маслоохолоджувачі

№ п/п	Витрата мастила, кг/с	Оптимальні значення незалежних змінних										Параметри ТО	
		U _О	U _В	d_n , м	D_v , м	M, шт	$l_{\text{п}}$, м	Ω	$n_{\text{пл}}$, шт/м	$t_{\text{вк}}$	Приведені витрати, грн/рік	n _А	F _А
1	10	1	1	0,016	0,259	2	6	0	5	40	117 144,95	2	50,6676
2	25	1	1	0,016	0,259	2	6	0	1,11	45	263 825,28	4	101,335
3	50	2	1	0,016	0,259	1	9	0	10	30	455 594,15	4	161,051
4	75	1	1	0,016	0,8	6	4	0,8	3	40	1 116 382,44	2	364,324
5	100	1	1	0,016	0,8	4	4	0,8	5	40	1 358 422,84	2	382,822
6	125	1	2	0,016	0,8	2	4	0,85	2	25	1 581 081,01	2	410,971
7	150	5	5	0,016	0,259	2	6	0	6,66	35	1 531 619,80	20	506,676
8	175	6	6	0,016	0,259	2	6	0	2	35	1 806 692,88	24	608,011
9	200	1	1	0,016	1,2	2	6	0,8	3	30	2 343 083,69	1	729,855
10	225	1	2	0,016	0,8	4	9	0	1,5	40	2 564 498,82	2	861,349
11	250	1	1	0,016	1,2	2	4	0	1	35	2 786 685,96	2	973,14

У результаті оптимізації пластинчастих теплообмінників у якості підігрівачів повітря димовими газами встановлено, що використання їх неможливе без встановлення додаткового димососу. Втрати тиску у теплообміннику або перевищують наявний напір, або для забезпечення такого незначного перепаду тиску необхідна величезна кількість теплообінних апаратів (наприклад, 96 шт. для ГТУ потужністю 1 МВт), що недоцільно з технічної точки зору. Також проведено аналіз декількох схемних рішень з відбором з проміжних ступенів компресора. Але в таких варіантах через низьку щільність повітря та велике теплове навантаження теплообмінника гідравлічний опір по стороні повітря перевищує наявний напір. Тому при використанні пластинчастих теплообмінників доцільніше забирати повітря за компресором.

Для оптимізації встановлено обмеження на максимальну кількість апаратів у теплообміннику 12 шт. При такому обмеженні максимальна потужність ГТУ, що дозволяє використання пластинчастих теплообмінників, складає 5 МВт, при цьому досягаються максимальні розміри теплообмінників. Подальше збільшення потужності ГТУ при наявності обмеження максимальної кількості апаратів призводить до росту швидкостей у каналах теплообмінника і, відповідно, до росту гідравлічних опорів, що робить їх використання недоцільним. Оптимальні пластинчасті підігрівачі для потужностей ГТУ 1, 2, 3, 4, 5 МВт наведено в табл. 4.4. Для всіх варіантів оптимальний тип пластини P1,3.

Таблиця 4.4 – Оптимальні пластинчасті підігрівачі системи знеліднення

№ п/п	$P_{ГТУ}$, МВт	$G_{повітря}$, кг/с	$G_{прод.згор.}$, кг/с	Q , кВт	Оптимальні значення незалежних змінних				Приведені витрати, грн/рік	Параметри ТО		
					U_O	U_B	$N_{канО}$	$N_{канВ}$		n_A	$F_A, м^2$	$n_{пл} \Sigma A$
1	1	0,1757	0,1670	26,73	1	1	15	14	1305323,10	3	544,7	421
2	2	0,3514	0,3341	53,45	1	1	36	32	2529089,36	5	747,5	577
3	3	0,5271	0,5011	80,18	1	1	44	14	3813459,68	6	799,5	617
4	4	0,7028	0,6681	106,91	2	2	36	32	5058178,73	10	747,5	577
5	5	0,8785	0,8352	133,64	4	4	19	14	6381637,84	12	690,3	533

Однак потужність додаткового димососу ненабагато менша втрати потужності установки при відсутності підігрівача повітря. Беручи до уваги той факт, що введення підігрівача повітря у схему є значним її ускладненням, та на протязі періоду експлуатації це обладнання має обслуговуватись (поточний та капітальні ремонти та інше), рішення про доцільність його використання потребує додаткової оптимізації системи в цілому з урахуванням періодичності включення системи знеліднення та тривалості її роботи. Чим менше днів у році з низькою температурою та високою вологістю й туманами, тим менша вірогідність доцільного застосування такого підігрівача повітря. Оптимізація пластинчастих регенераторів для цього циклу проводилась лише по конструктивних параметрах. Результаті для потужностей циклу 1, 3, 5, 10 та 15 МВт наведено у табл. 4.5 та 4.6.

Таблиця 4.5 – Оптимальні пластинчасті регенератори (регенератор 1) понадкритичного CO₂ циклу з рекомпресією

№п/п	P, МВт	G _{гор.CO₂} , кг/с	G _{хол.CO₂} , кг/с	Q, кВт	Оптимальні значення незалежних змінних					Приведені витрати, грн/рік	Параметри оптимального теплообмінника		
					ТИП _{пл}	U _О	U _В	N _{канО}	N _{канВ}		n _А	F _А , м ²	n _{плΣ} A
1	1	11,71	11,71	2991	PC0,7-2	1	1	19	19	156970,64	7	25,9	39
2	3	35,14	35,14	8973	PC0,7-2	1	1	132	88	462644,40	1	685,1	529
3	5	58,57	58,57	14956	P0,6	2	2	220	110	787616,48	4	263,4	411
4	10	117,14	117,14	29912	P1,3	2	2	244	244	1662020,55	4	633,1	489
5	15	175,71	175,71	44869	P1,3	3	3	248	248	2518002,83	6	643,5	497

Таблиця 4.6 – Оптимальні пластинчасті регенератори (регенератор 2) понадкритичного CO₂ циклу з рекомпресією

№ п/п	P, МВт	G _{гор.CO₂} , кг/с	G _{хол.CO₂} , кг/с	Q, кВт	Оптимальні значення незалежних змінних					Приведені витрати, грн/рік	Параметри оптимального теплообмінника		
					ТИП _{пл}	U _О	U _В	N _{канО}	N _{канВ}		n _А	F _А , м ²	n _{плΣ} A
1	1	11,71	6,91	1842	P1,3	1	1	42	18	203059,53	1	326,3	253
2	3	35,14	20,73	5526	P0,6	1	1	234	78	581050,95	3	280,2	469
3	5	58,57	34,56	9210	P0,6	3	1	126	126	673857,45	6	150,6	253
4	10	117,14	69,11	18421	P0,6	3	1	243	243	1348215,73	6	291	487
5	15	175,71	103,67	27631	P1,3	3	1	243	243	2521773,90	6	630,5	487

4.3.2. Ранжування незалежних змінних за ступенем їх впливу на результати оптимізації ПТО в широкому діапазоні зміни теплових навантажень та інших режимних параметрів

Ранжування незалежних змінних – це розташування їх в ряд у порядку впливу на результати оптимізації. Тобто ранжування дозволяє виділити, наскільки сильно зміна незалежної змінної впливає на зміну цільового критерію оптимальності.

Ранжування можливо провести тільки для тих змінних, зміна яких може бути виражено чисельної величиною. Наприклад, можливо провести ранжування при зміні числа каналів по кожній з середовищ, тому що воно виражається числом, але неможливо для зміни матеріалу пластин. У цьому випадку зміна незалежної змінної необхідно виразити якимось чисельним значенням, що впливає на результати розрахунків, наприклад коефіцієнтом теплопровідності матеріалу.

Для отримання результату необхідно по осі абсцис відкласти відносну величину зміни незалежної змінної, а по осі ординат – відносну величину зміни показника ефективності. Відносна величина показника ефективності – це відношення даного показника ефективності до оптимального (найбільше або найменше в залежності від його виду),

$$n_{\text{Пхij}} = \frac{\text{П}_{\text{Эij}}}{\text{П}_{\text{Эопт}}}, \quad (96)$$

де $\text{П}_{\text{Эij}}$ – показник ефективності при j-му значенні i-ї незалежної змінної;

$\text{П}_{\text{Эопт}}$ – показник ефективності в точці оптимуму.

Очевидно, що $n_{\text{Пхij}}$ завжди буде ≥ 1 (рівний одиниці в точці $n_{\text{Пхiопт}}$, де $\text{П}_{\text{Эij}} = \text{П}_{\text{Эопт}}$), якщо оптимальне значення визначається по мінімуму цільової функції ефективності, або ≤ 1 – якщо по максимуму. Т.я. в основному

оптимізація в даній дисертаційній роботі проводилася за економічними показниками, то пошук оптимуму здійснювався по мінімуму витрат.

Відносна величина незалежної змінної є обчислюване в частках одиниці відношення значення незалежної змінної до значення незалежної змінної, яке вона приймає при оптимальному значенні цільової функції:

$$n_{xij} = \frac{x_{ij}}{x_{iopt}}. \quad (97)$$

де x_{ij} – j-е значення i-ї незалежної змінної;

x_{iopt} – оптимальне значення i-ї незалежної змінної.

Інтервал зміни n_{xij} ($0 \div \infty$), причому графік буде мати екстремум в точці n_{xopt} , где $x_{ij} = x_{iopt}$.

Для визначення ступеня впливу незалежної змінної на показник ефективності необхідно побудувати графік залежності n_{pxi} от n_{xi} , і визначити величину нахилу апроксимованої кривої: чим більше кут нахилу, тим більше зміна незалежної змінної впливає на результати оптимізації, і навпаки.

Однак при наявності екстремуму не на одному з кінців кривої, а в центрі, апроксимована крива не відображатиме реального стану речей. В цьому випадку є два шляхи побудови адекватних висновків. Перший – побудова двох апроксимованих кривих для ділянки $[n_{xmin} \div n_{xopt}]$ і $[n_{xopt} \div n_{xmax}]$, а після виведення середнього кута нахилу з урахуванням кількості точок на обох ділянках. Другий – перенос точок з області $[n_{xmin} \div n_{xopt-1}]$ в область $[n_{xopt} \div n_{xmax}]$ симетрично вертикалі, що проведено через точку n_{xopt} . У цьому випадку ми маємо серію точок, що починаються в точці з координатами $[1;1]$ і йдуть в перший квадрант. По цим точкам можлива побудова достовірної апроксимованої залежності в тому випадку, якщо немає сильної різниці між кутом нахилу в областях правіше та лівіше

$n_{x \text{ опт}}$. Для виконання такого переносу необхідно для кожної точки при $n_{xij} < 1$ виконати наступне перетворення

$$n'_{xij} = 2 - n_{xij}, \quad (98)$$

де n'_{xij} – безрозмірна форма незалежної змінної при її розміщенні в області значень $[1; +\infty)$.

Порядок проведення експерименту. Спочатку при заданих вихідних даних (початкових температурах обох середовищ, кінцевій температурі середовища О, витраті середовища О та ін.) Проводиться повна техніко-економічна оптимізація (перебір конструктивних і режимних параметрів) по необхідному цільовим критерієм оптимальності. Далі фіксуються всі значення незалежних змінних рівними оптимальним. При незмінних значеннях інших незалежних змінних значення однієї з них змінюється від мінімуму до максимуму з певним кроком, при цьому фіксуються значення критерію оптимальності при кожній такій зміні. Після цього будується графік апроксимуючої залежності і визначається ступінь впливу зміни незалежної змінної на цільовий критерій оптимальності як кут нахилу цієї залежності до осі абсцис (значення a в рівнянні лінійної апроксимувати залежності виду $n_{\text{ПХ}} = a \cdot n_x + b$). Після цього значення цієї незалежної змінної повертаються до оптимального значення і ранжування проводиться за наступною змінною.

Таблиці з результатами ранжирування наведені в додатку Д.

На рисунках в додатку Е зображено залежність показника ефективності (приведених витрат або капітальних вкладень) від різних незалежних змінних в розмірній і безрозмірній формах. На графіках в розмірній формі всі точки з'єднані суцільною лінією, хоча між ними присутні нереальні варіанти.

Характер залежності приведених витрат та капітальних вкладень від кількості рядів апаратів по обом середовищам U_O , U_B (рис. Е.5 – Е.10, Е.19 –

Е.24) та від кінцевої температури охолоджуючої води для маслоохолоджувачів (рис. Е.13 – Е.14) дозволяють припустити наявність на всьому інтервалі змінних декілька локальних екстремумів. Кожна ділянка з локальним екстремумом (мінімумом) відображає апарати з однаковим типом рами. На різні типи рам можна встановити різну кількість пластин. Тому на графіках можуть бути присутніми 3 локальних оптимуми, що відповідають різним рам: консольній, дво- і трьохопорній.

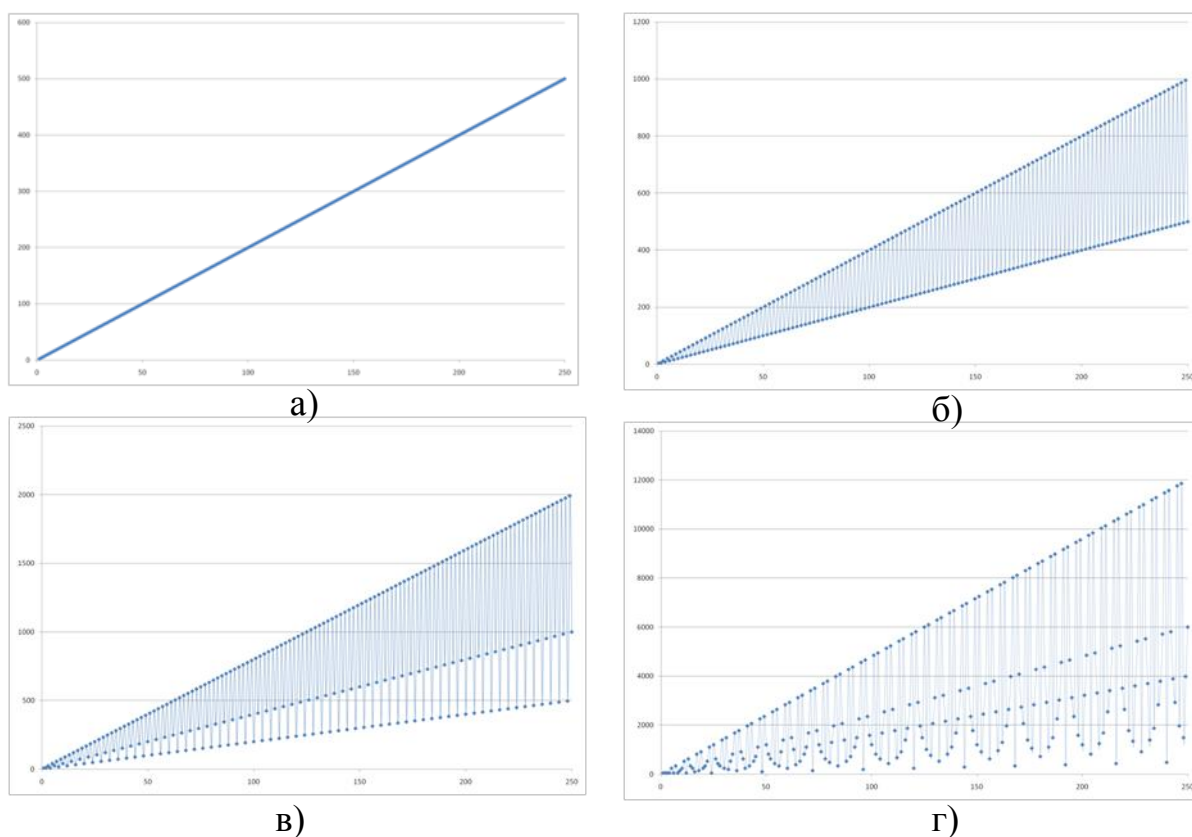


Рисунок 4.3– Залежності числа пластин в ТПП від кількості каналів по одному з середовищ, якщо по другому воно дорівнює відповідно а) 1, б) 2, в) 4, г) 24 шт

Характер залежності критеріїв оптимальності від кількості каналів по обох середовищах надані на рис. Е.1 – Е.4, Е.15 – Е.18. Тут є безліч мінімумів-максимумів. Це пов'язано з обраним шляхом завдання конструкцій теплообмінників в процесі проведення оптимізації, а саме з тим, що при зміні

числа каналів в апараті на 1, кількість пластин в ТПП різко змінюється (розраховується за формулою (32) з стор. 60).

У цьому рівнянні D – найбільший спільний дільник для чисел каналів по середовищам O і B . При ранжируванні перебирається одна незалежна змінна, інші закріплені в значеннях оптимуму. Тому якщо перебираються кількості каналів по середовищу O , то по середовищі B кількість каналів незмінна. У формулі (32) дільник постійно змінюється, і це впливає на збільшення-зменшення кількості пластин в ТПП. Отже, кількість пластин в ТПП буде мінятися, причому розкид цих кількостей буде тим більше, чим більше кількість каналів по обох середовищах. На рис. 4.4 показані для прикладу залежності кількостей пластин в ТПП від кількості каналів по одному з середовищ, якщо по другому кількість каналів незмінна і рівна, відповідно, 1, 2, 4 і 24.

Це, в свою чергу, впливає і на приведені витрати: так як при більшій кількості пластин в пакеті складніше організувати необхідний коефіцієнт запасу поверхні. Наприклад, якщо ТПП містить 8 пластин, а потрібну поверхню можна скласти з 26 пластин, то в апараті буде 4 ТПП (32 пластини), вимушений коефіцієнт запасу поверхні складе 23%. Якщо ж в ТПП буде 4 пластини, необхідне число ТПП в ТО 7, коефіцієнт запасу складе лише 8%. У зв'язку з цим буде коливатися вартість апарату, і, відповідно, приведені витрати або капітальні вкладення, що пояснює характер залежності Z від $N_{\text{кан}}$.

Для визначення ступеня впливу зміни незалежної змінної на зміну показника оптимальності для кожного її значення був розрахований показник ступеня впливу, чисельно рівний усередненому по всіх витратах (навантаженнях) відносно зміни безрозмірної величини показника ефективності в порівнянні з оптимальним варіантом до зміни незалежної змінної – по суті усереднений кут нахилу апроксимуючої прямої. Результати ранжирування незалежних змінних наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Показники впливу зміни незалежної змінної на зміну показника ефективності

а) для маслоохолоджувачів

а.1) показник ефективності – приведені витрати

G _o , кг/с	незалежні змінні						
	t _{БК} , °C	N _{канО} , шт	U _В , шт	N _{канВ} , шт	U _О =U _В , шт	U _О , шт	F _{пл} , м ²
10	1,459	1,636	0,806	1,246	0,800	0,800	-
25	1,440	1,672	0,794	0,931	0,409	0,415	-
50	1,927	0,963	0,902	0,762	1,081	1,067	0,765
75	1,865	1,379	0,858	1,070	1,049	1,042	0,712
100	1,890	1,087	1,351	1,013	1,359	1,097	0,715
125	1,284	1,269	0,891	0,960	0,597	0,948	0,695
150	1,194	1,220	0,780	0,338	0,853	0,384	0,699
175	1,243	1,236	0,892	0,938	0,600	0,940	-
200	1,285	1,170	0,891	0,966	0,935	0,950	0,700
225	1,214	1,292	0,891	0,854	0,605	0,602	0,699
250	1,204	1,295	0,867	0,811	0,933	0,946	0,658
min	1,194	0,963	0,780	0,338	0,409	0,384	0,658
max	1,927	1,672	1,351	1,246	1,359	1,097	0,765
mid	1,455	1,293	0,902	0,899	0,838	0,835	0,705
σ	0,872	0,444	0,241	0,516	0,749	0,650	0,006

а.2) показник ефективності – капітальні вкладення

G _o , кг/с	незалежні змінні						
	t _{БК} , °C	N _{канВ} , шт	N _{канО} , шт	U _О , шт	U _О =U _В , шт	U _В , шт	F _{пл} , м ²
10	2,118	2,567	2,432	0,968	0,967	0,973	2,125
25	2,050	2,473	0,686	0,808	0,806	0,846	-
50	2,596	2,064	1,080	1,124	1,134	1,002	-
75	2,229	1,076	1,308	1,156	1,170	1,014	0,860
100	2,226	0,844	0,903	1,156	1,171	1,012	0,836
125	2,128	2,412	0,838	1,475	1,517	1,256	0,807
150	2,111	2,546	0,829	1,481	1,528	1,258	0,787
175	2,098	0,876	0,827	1,481	1,530	1,252	0,774
200	1,171	1,257	-	0,452	0,439	0,894	0,821
225	1,110	1,761	-	0,997	0,645	0,967	-
250	1,170	2,085	-	0,987	0,625	0,962	-
min	1,110	0,844	0,686	0,452	0,439	0,846	0,774
max	2,596	2,567	2,432	1,481	1,530	1,258	2,125
mid	1,910	1,815	1,113	1,099	1,048	1,040	1,001
σ	2,592	4,711	2,243	0,983	1,497	0,217	1,478

б) для теплообмінників системи опалення

б.1) показник ефективності – приведені витрати

Q, кВт	незалежні змінні					
	F _{пл} , м ²	N _{канВ} , шт	U _О , шт	N _{канО} , шт	U _В , шт	U _О =U _В , шт
100	3,130	0,640	0,886	0,589	0,836	0,835
300	1,778	1,034	0,801	0,762	0,708	0,703
500	1,717	1,159	0,846	0,734	0,788	0,785
700	0,969	1,200	0,846	0,806	0,781	0,781
900	2,874	1,345	0,834	0,561	0,765	0,765
1200	1,734	1,343	0,824	1,048	0,749	0,749
1500	1,098	1,252	0,813	0,768	0,735	0,735
2000	2,578	1,064	0,811	1,006	0,480	0,480
min	0,969	0,640	0,801	0,561	0,480	0,480
max	3,130	1,345	0,886	1,048	0,836	0,835
mid	1,985	1,130	0,833	0,785	0,730	0,729
σ	4,450	0,365	0,005	0,211	0,082	0,081

б.2) показник ефективності – капітальні вкладення

Q, кВт	незалежні змінні					
	F _{пл} , м ²	N _{канВ} , шт	U _О , шт	N _{канО} , шт	U _В , шт	U _О =U _В , шт
100	3,804	0,730	0,995	0,676	0,992	0,992
300	2,452	1,249	0,965	0,907	0,945	0,942
500	1,505	1,538	0,933	1,037	0,917	0,905
700	0,949	1,480	1,000	1,011	1,000	1,000
900	3,661	1,700	0,999	0,673	0,999	0,999
1200	1,630	1,767	0,999	1,224	0,999	0,999
1500	1,017	1,618	0,999	0,965	0,999	0,999
2000	2,316	1,393	0,996	1,160	0,596	0,596
min	0,949	0,730	0,933	0,673	0,596	0,596
max	3,804	1,767	1,000	1,224	1,000	1,000
mid	2,167	1,434	0,986	0,957	0,931	0,929
σ	8,545	0,759	0,004	0,285	0,135	0,135

Тут прочерками позначені випадки, коли для даної витрати реальні варіанти тільки для одного значення незалежної змінної, отже, відстежити зміну цієї змінної неможливо.

У таблиці σ – середньоквадратичне відхилення.

За ступенем впливу на результати оптимізації вищевказані незалежні змінні розташувалися в наступному порядку:

- ✓ для маслоохолоджувачів:
 - по критерію оптимальності приведені витрати: t_{BK} ; $N_{канO}$; U_B ; $N_{канB}$; U_O ; $F_{пл}$.
 - по критерію оптимальності капітальні вкладення: t_{BK} ; $N_{канB}$; $N_{канO}$; U_O ; U_B ; $F_{пл}$.
- ✓ для теплообмінників системи опалення по критеріям оптимальності приведені витрати і капітальні вкладення результати ранжування співпадають: $F_{пл}$; $N_{канB}$; U_O ; $N_{канO}$; U_B .

Отримані результати дозволяють визначити черговість і крок перебору незалежних змінних при реалізації методів пошуку екстремуму. При цьому істотно зменшується розмірність задачі оптимізації.

4.3.3. Дослідження впливу похибки теплових і гідравлічних розрахунків на похибку основних результатів розрахунків, а також на похибку результатів оптимізації

Цей обчислювальний експеримент має на меті виявлення ступеня впливу похибки розрахунку окремих частин алгоритму (окремих видів розрахунків: теплового, гідравлічного та ін.) на загальну похибку всього розрахунку, а також на похибку знаходження оптимуму. Цей обчислювальний експеримент покликаний показати, які елементи розрахунку дають велику похибку в кінці розрахунку і, відповідно, які з них слід уточнювати в першу чергу, а які допустимо проводити по спрощеним методикам.

Введення похибки проводилося за допомогою множення на коефіцієнт корекції, що виражає похибку по відношенню до точного розрахунку, наприклад $k = 0,9$ – похибка 10% в сторону зменшення розрахованої

величини, $k = 0,7$ – 30 % в сторону зменшення, $k = 1,1$ – 10% в сторону збільшення розраховується величини.

Для початку розглянемо на одиничному розрахунку (без проведення оптимізації), яку похибку повного техніко-економічного розрахунку можна отримати при неточності основних його елементів: розрахунку коефіцієнта теплопередачі та гідравлічних опорів по обох середовищах. Таблиці результатів розрахунків наведені в додатку Ж.

Далі на рисунках 4.4-4.7 наведені отримані на підставі зазначених даних залежності розрахованої величини від введеного коефіцієнта коригування для а) маслоохолоджувачів турбін, б) теплообмінників системи опалення. Залежності побудовані в безрозмірних величинах, тому по куту нахилу апроксимованої кривої можна судити про ступінь впливу похибки окремих розрахунків на загальні підсумкові його результати.

З наведених на рисунках графіків можна визначити вплив похибки розрахунку на основні його кінцеві результати (таблиця 4.3).

Таблиця 4.3 – Вплив похибки окремих розрахунків на підсумкові результати розрахунку теплообмінника

Підсумкові результати розрахунку	Ступінь впливу при коригуванні					
	для маслоохолоджувачів			для теплообмінника системи опалення		
	k	ΔP_O	ΔP_B	k	ΔP_O	ΔP_B
Приведені витрати, З	-2,2459	0,1401	0,0096	-1,3517	0,0012	0,0068
Капітальні вкладення, К	-3,0277	0,083	0,0056	-1,8959	0,0007	0,0037
Експлуатаційні витрати, Э	-1,5875	0,1839	0,0127	-0,8774	0,0018	0,0097
Поверхня теплообміну, F	-1,8944	0	0	-1,7462	0	0

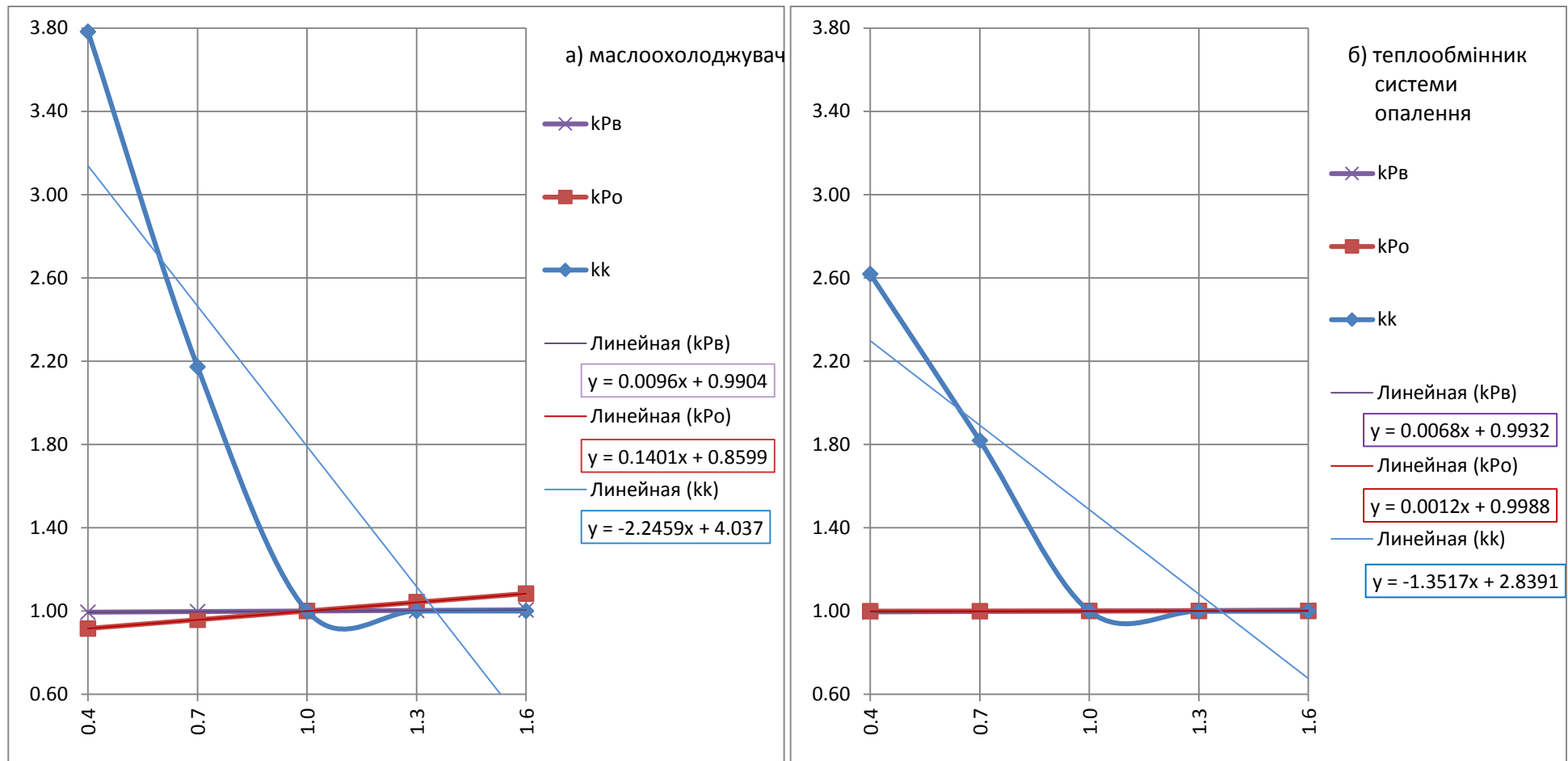


Рисунок 4.4– Усереднені залежності приведених витрат від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічних опорів по середовищам О і В ($k_{\Delta P_o}$, $k_{\Delta P_v}$) в безрозмірному вигляді для а) маслоохладжувачів турбін, б) теплообмінників системи опалення

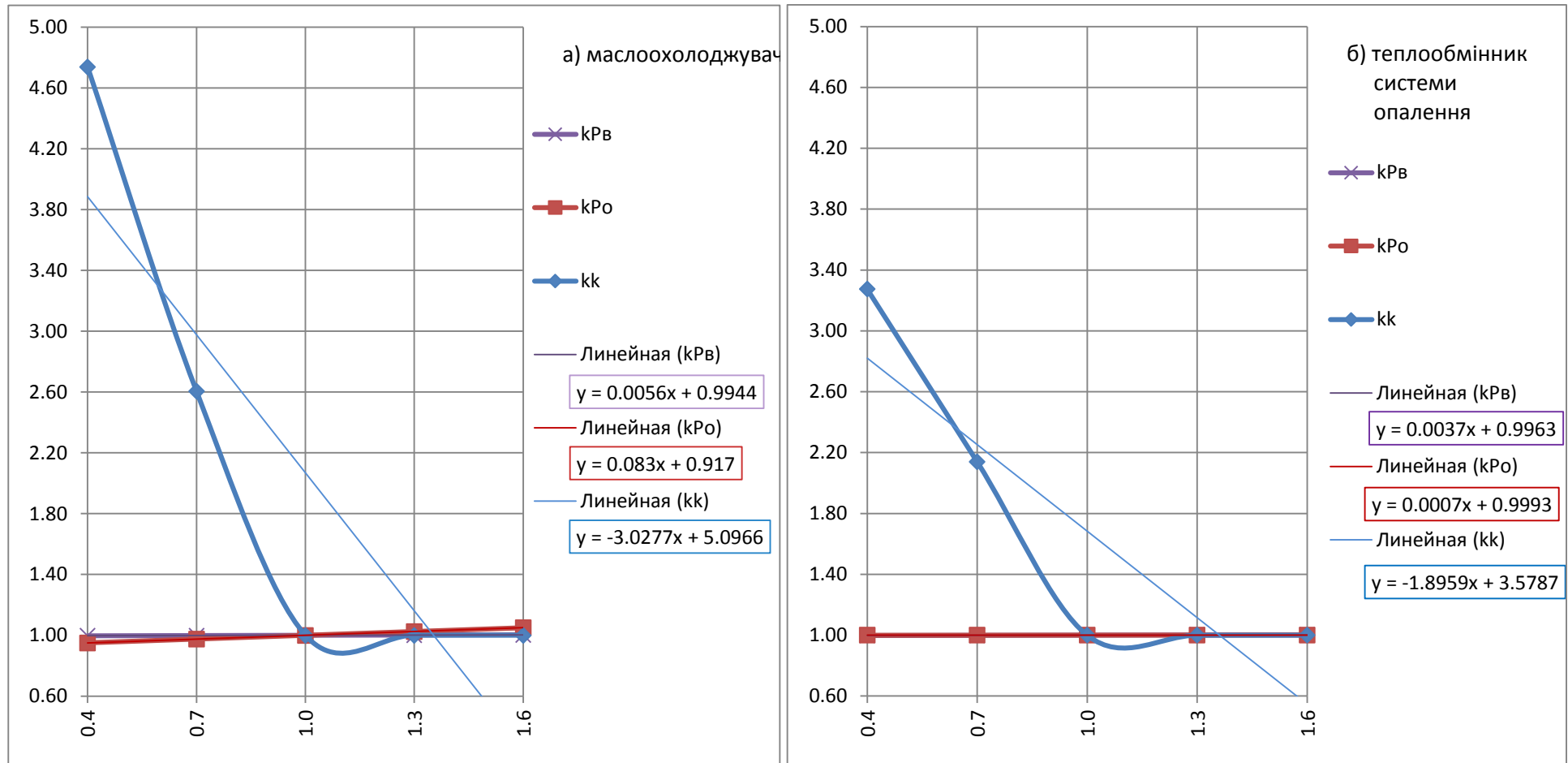


Рисунок 4.5 – Усереднені залежності капітальних вкладень від коефіцієнтів корекції до коефіцієнту теплопередачі (k_k) та гідравлічних опорів по середовищам О і В ($k_{\Delta P_{O}}$, $k_{\Delta P_{В}}$) в безрозмірному вигляді для а) маслоохладжувачів турбін, б) теплообмінників системи опалення

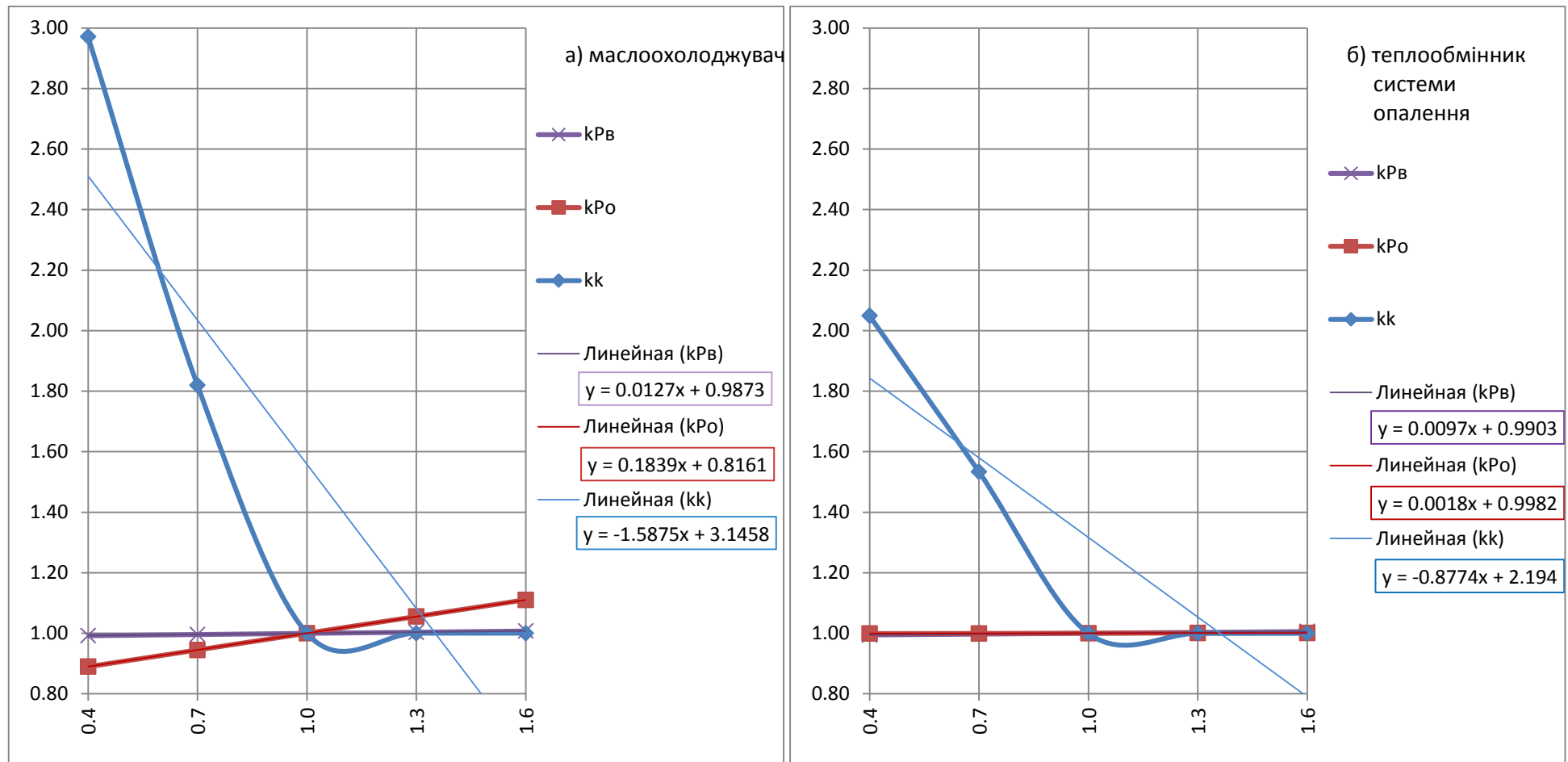


Рисунок 4.6 – Усереднені залежності експлуатаційних витрат від коефіцієнтів корекції до коефіцієнту теплопередачі (k_k) і гідравлічних опорів по середовищам О і В ($k_{\Delta P_o}$, $k_{\Delta P_v}$) в безрозмірному вигляді для а) маслоохладжувачів турбін, б) теплообмінників системи опалення

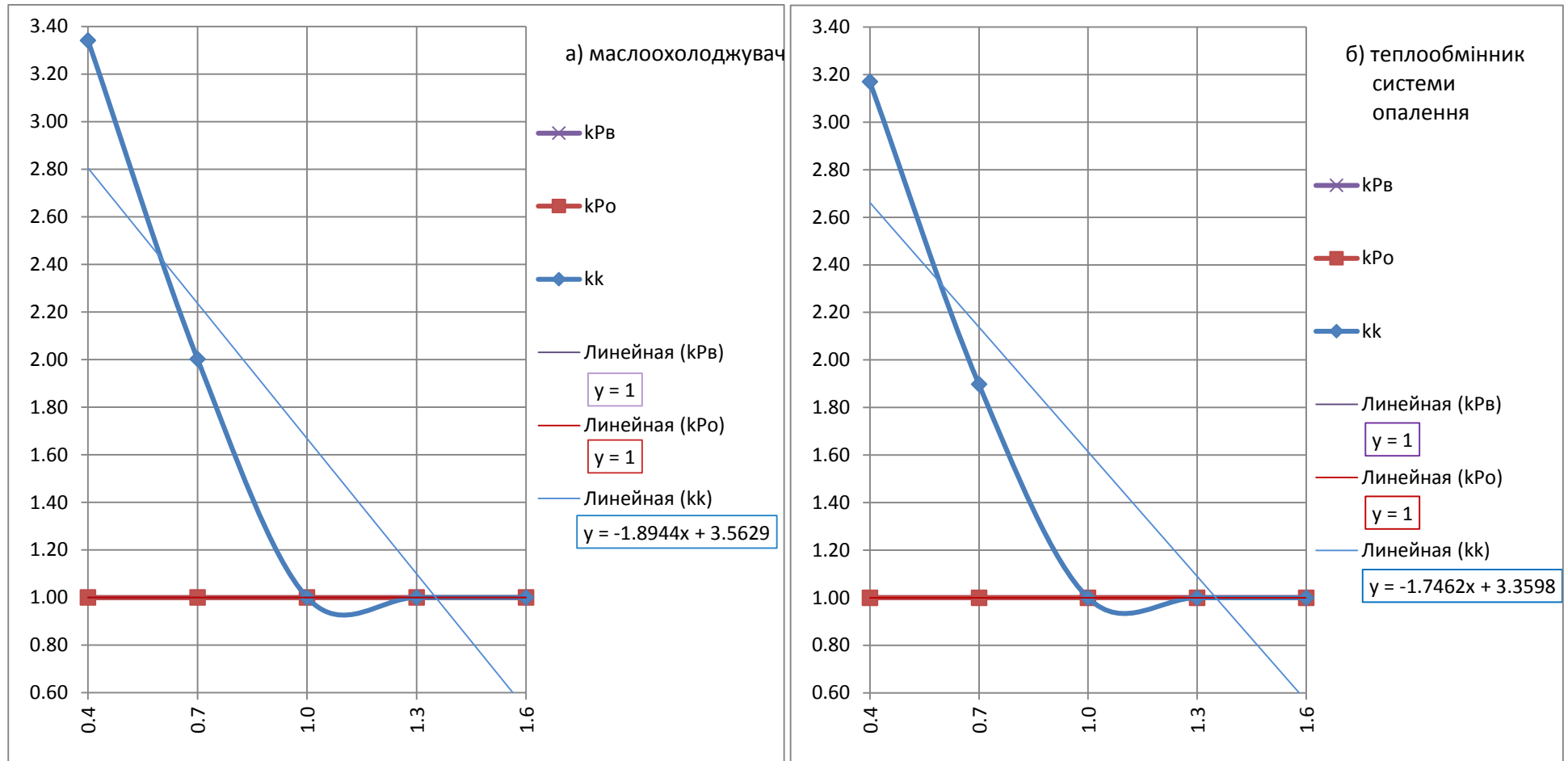


Рисунок 4.7 – Усереднені залежності поверхні теплообміну від коефіцієнтів корекції до коефіцієнту теплопередачі (k_k) та гідравлічним опорам по середовищам О і В ($k_{\Delta Po}$, $k_{\Delta Pv}$) в безрозмірному вигляді для а) маслоохолоджувачів турбін, б) теплообмінників системи опалення

Таким чином, при похибці розрахунку коефіцієнта теплопередачі в 1% похибка визначення поверхні теплообміну становить приблизно 2%. При визначенні економічних величин ця похибка більше впливає при розрахунку маслоохолоджувача, ніж теплообмінника системи опалення. Тут відповідно вплив наступний: при визначенні приведених витрат 2,2%/1,4% відповідно на кожен відсоток похибки; капітальних вкладень 3%/1,9%; експлуатаційних витрат 1,6%/0,9%, тобто в середньому при розрахунку маслоохолоджувача вплив на 70% більше.

Залежність похибки розрахунку економічних величин від похибки розрахунку гідравлічних опорів значно менше: близько 1% на кожні 10% похибки ΔP для мастила, і менше 1% на кожні 100% похибки ΔP для води.

Залежність поверхні теплообміну від коефіцієнта корекції до гідравлічних опорів по обом середовищам не проглядається, тому що при розрахунку цієї поверхні гідравлічні опори не враховуються (гідравлічний розрахунок проводиться після теплового).

Наступна частина цього обчислювального експерименту – визначення впливу неточності розрахунку на основні результати оптимізації. Різниця з наведеним вище порівнянням полягає в тому, що тут ми визначаємо, наскільки така неточність позначиться не на одиничному розрахунку, а на знаходженні оптимальних параметрів теплообмінника, в т.ч. на визначенні, наприклад, оптимальних скоростей. Результати оптимізації при завданні зазначених коефіцієнтів корекції знаходяться в додатку Г (для маслоохолоджувачів протокол 1 пп. 377 - 664, для теплообмінників системи тепlopостачання протокол 2 пп. 385 - 672). Таблиці залежностей основних параметрів оптимальних теплообмінників від похибок окремих розрахунків наведені в додатку З.

Далі на рисунках 4.8–4.14 наведені залежності похибки визначення підсумкових результатів розрахунку для оптимальних теплообмінників від похибки розрахунку коефіцієнта теплопередачі і гідравлічних опорів обох середовищ.

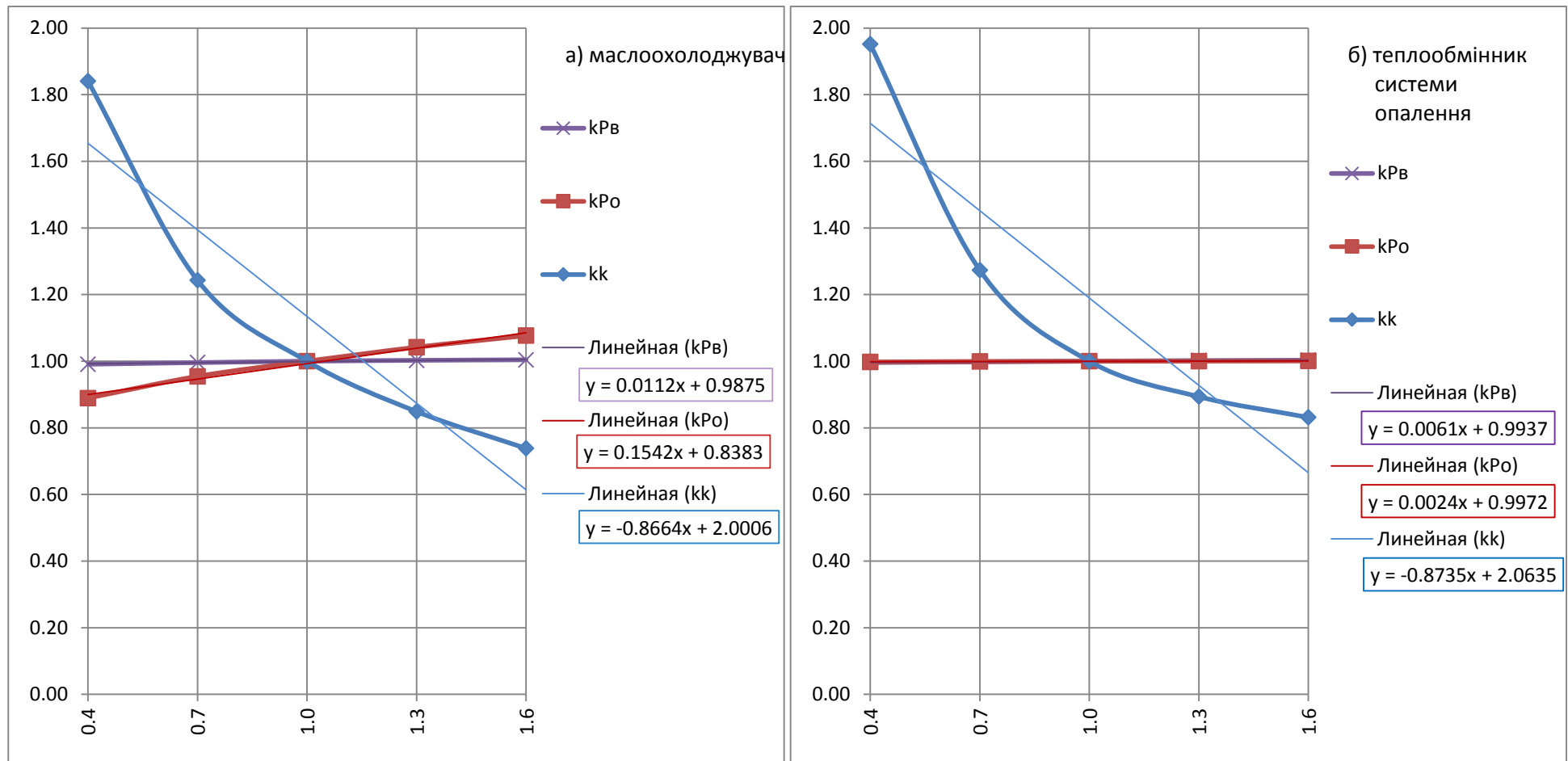


Рисунок 4.8 – Усереднені залежності приведених витрат від коефіцієнтів корекції до коефіцієнту теплопередачі (k_k) та гідравлічних опорів по середовищах О і В ($k_{\Delta Po}$, $k_{\Delta Pb}$) у безрозмірному вигляді для оптимальних а) маслоохолоджувачів турбін, б) теплообмінників системи опалення

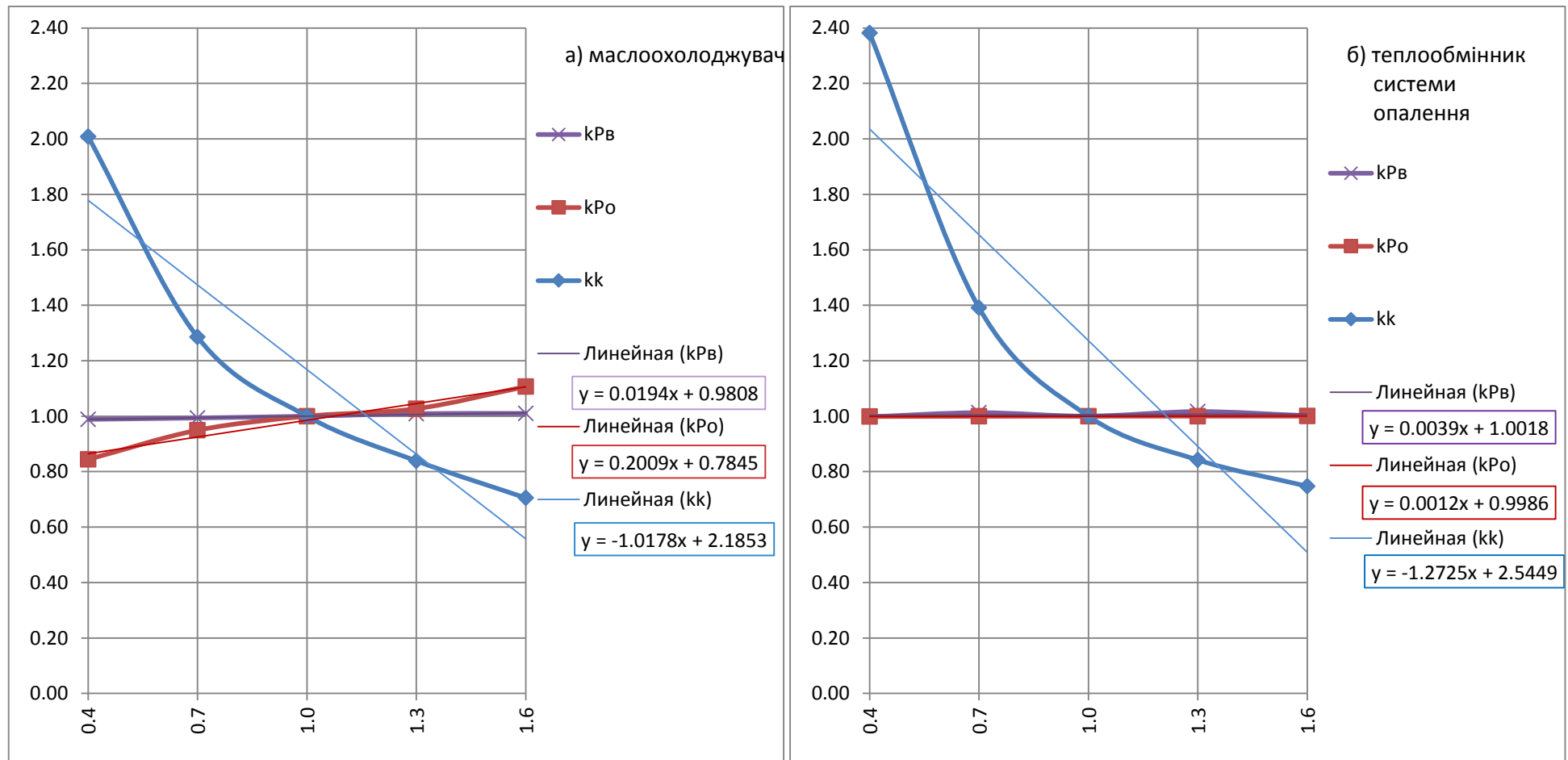


Рисунок 4.9 – Усереднені залежності капітальних вкладень від коефіцієнтів корекції до коефіцієнту теплопередачі (k_k) та гідравлічних опорів по середовищам О і В ($k_{\Delta Po}$, $k_{\Delta Pv}$) в безрозмерному вигляді для оптимальних а) маслоохолоджувачів турбін, б) теплообмінників системи опалення

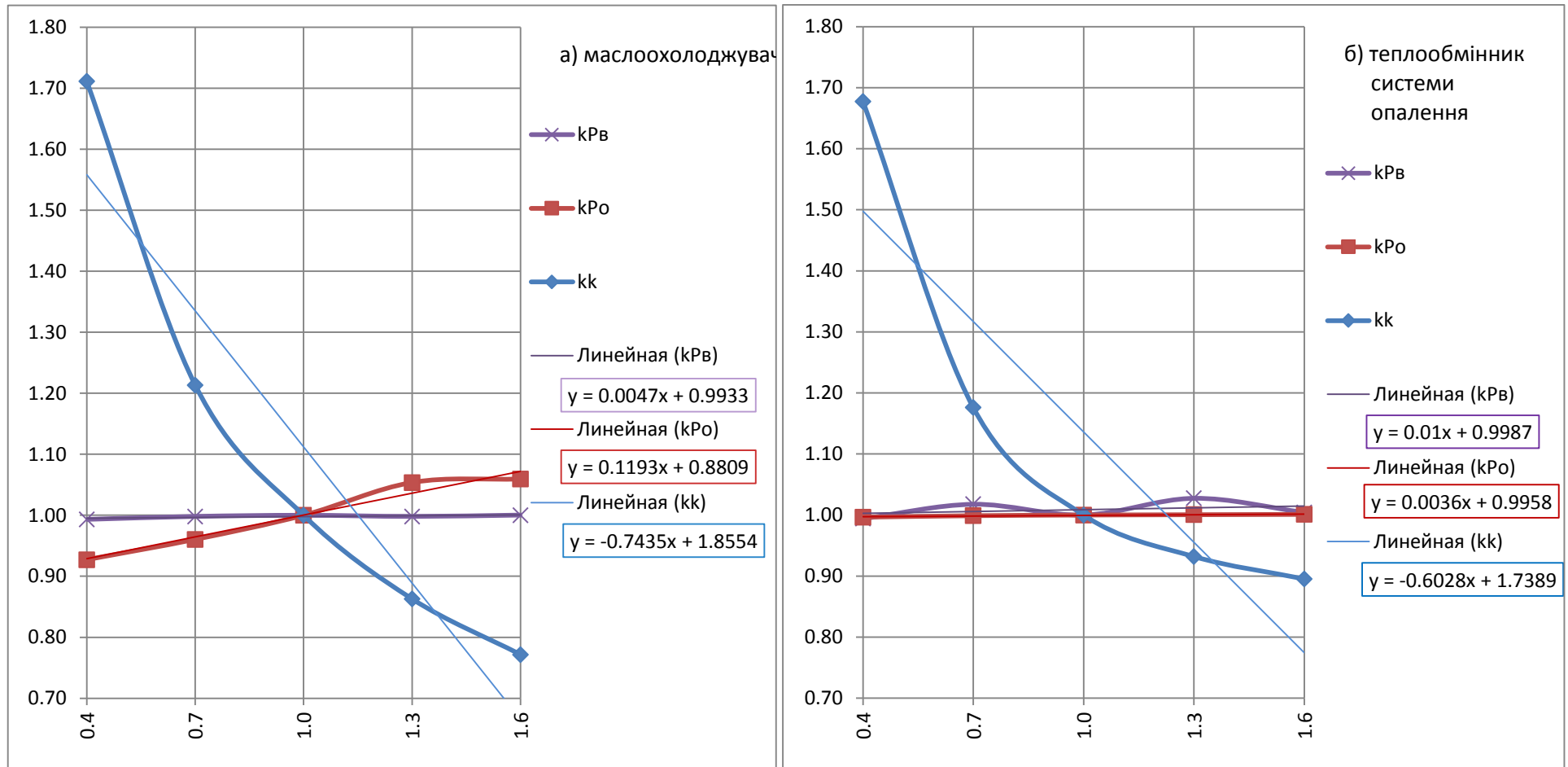


Рисунок 4.10 – Усереднені залежності експлуатаційних витрат від коефіцієнтів корекції до коефіцієнту теплопередачі (k_k) та гідравлічних опорів по середовищам О і В ($k_{\Delta P_o}$, $k_{\Delta P_v}$) в безрозмірному вигляді для оптимальних а) маслоохолоджувачів турбін, б) теплообмінників системи опалення

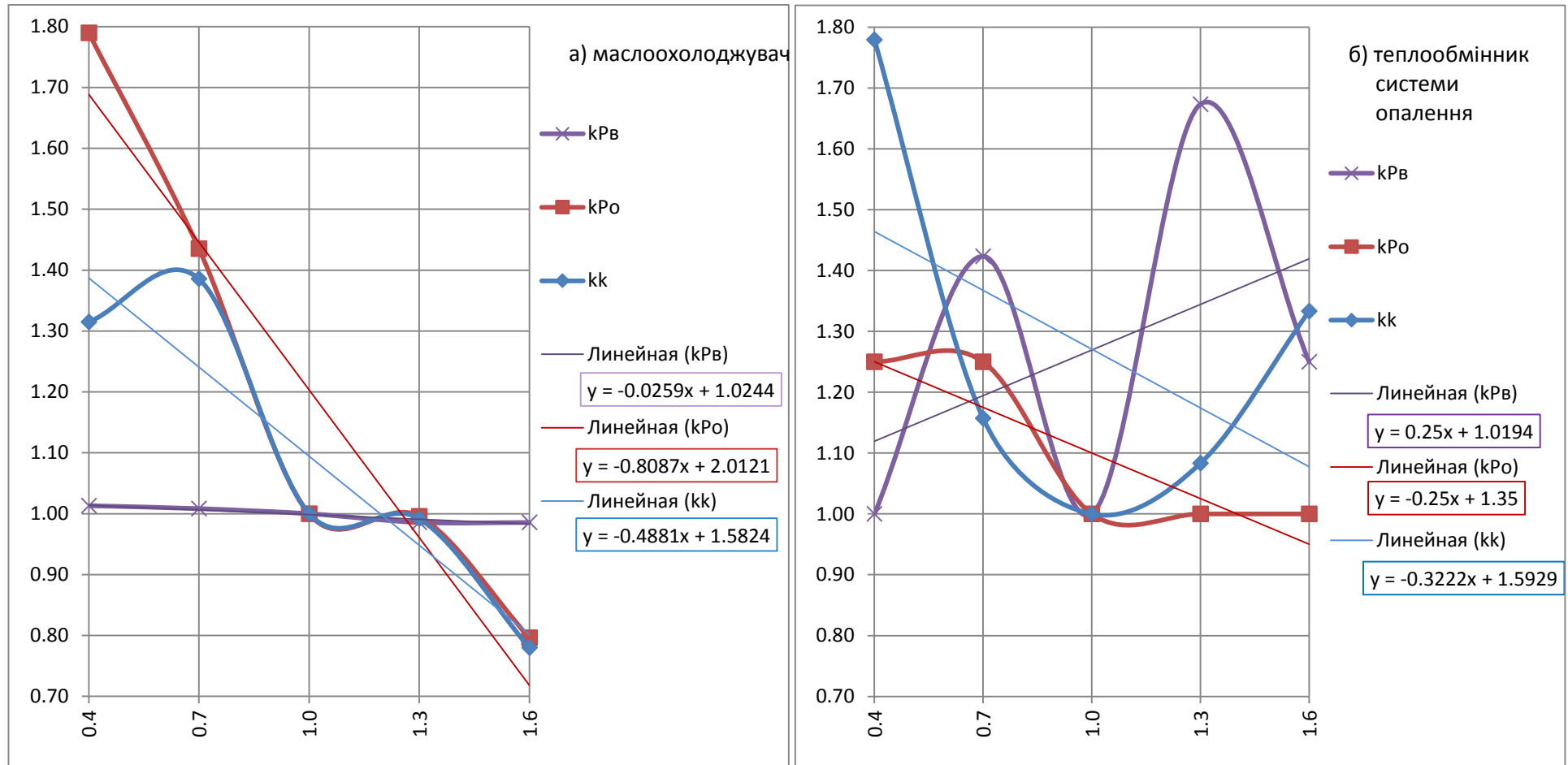


Рисунок 4.11 – Усереднені залежності швидкості середовища O від коефіцієнтів корекції до коефіцієнту теплопередачі (k_k) та гідравлічних опорів по середовищам O і B ($k_{\Delta P_o}$, $k_{\Delta P_v}$) в безрозмірному вигляді для оптимальних а) маслоохладжувачів турбін, б) теплообмінників системи опалення

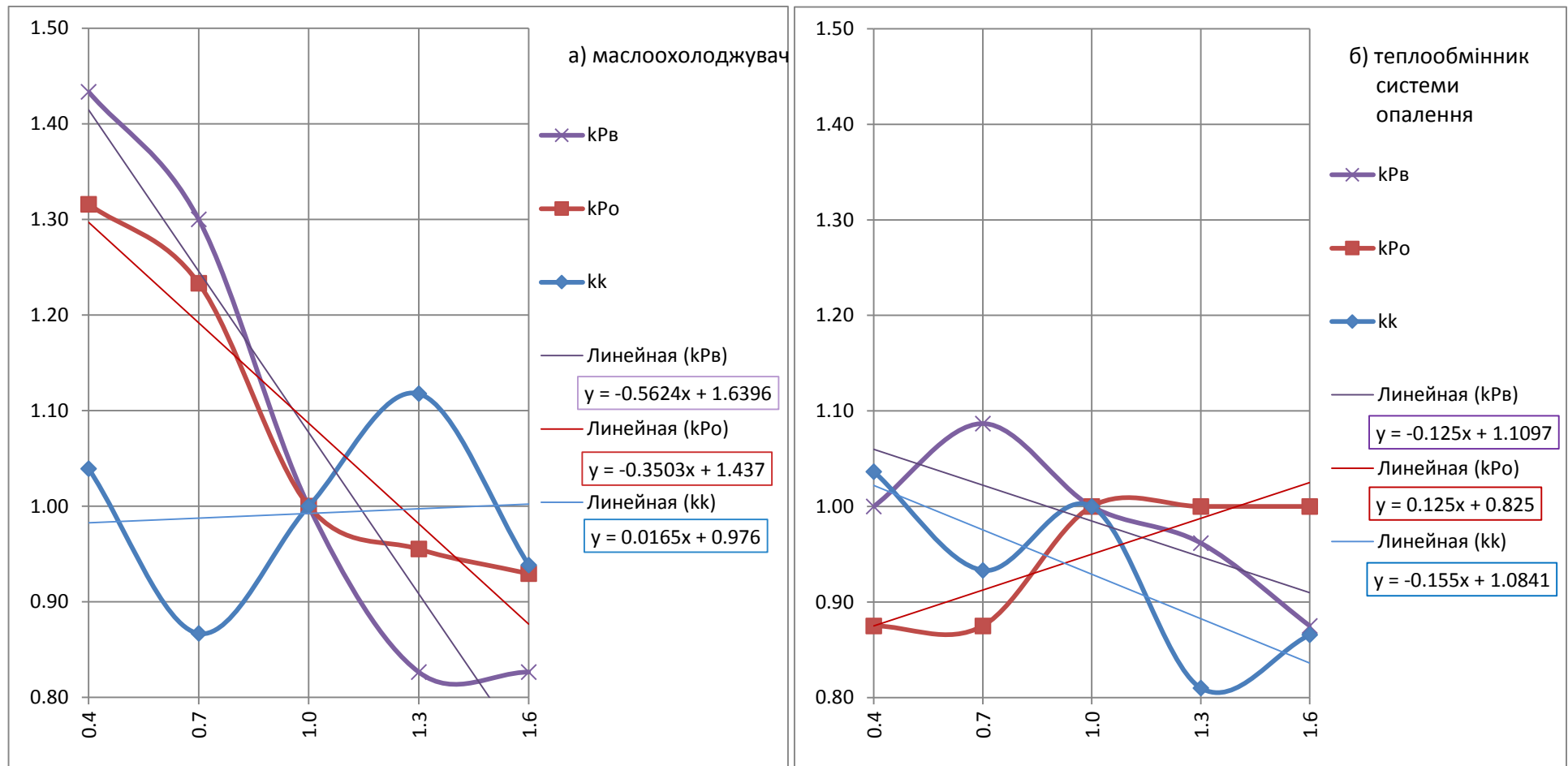


Рисунок 4.12 – Усереднені залежності швидкості середовища V від коефіцієнтів корекції до коефіцієнту теплопередачі (k_k) та гідравлічних опорів по середовищам О і В ($k_{\Delta Po}$, $k_{\Delta Pv}$) в безрозмірному вигляді для оптимальних а) маслоохладжувачів турбін, б) теплообмінників системи опалення

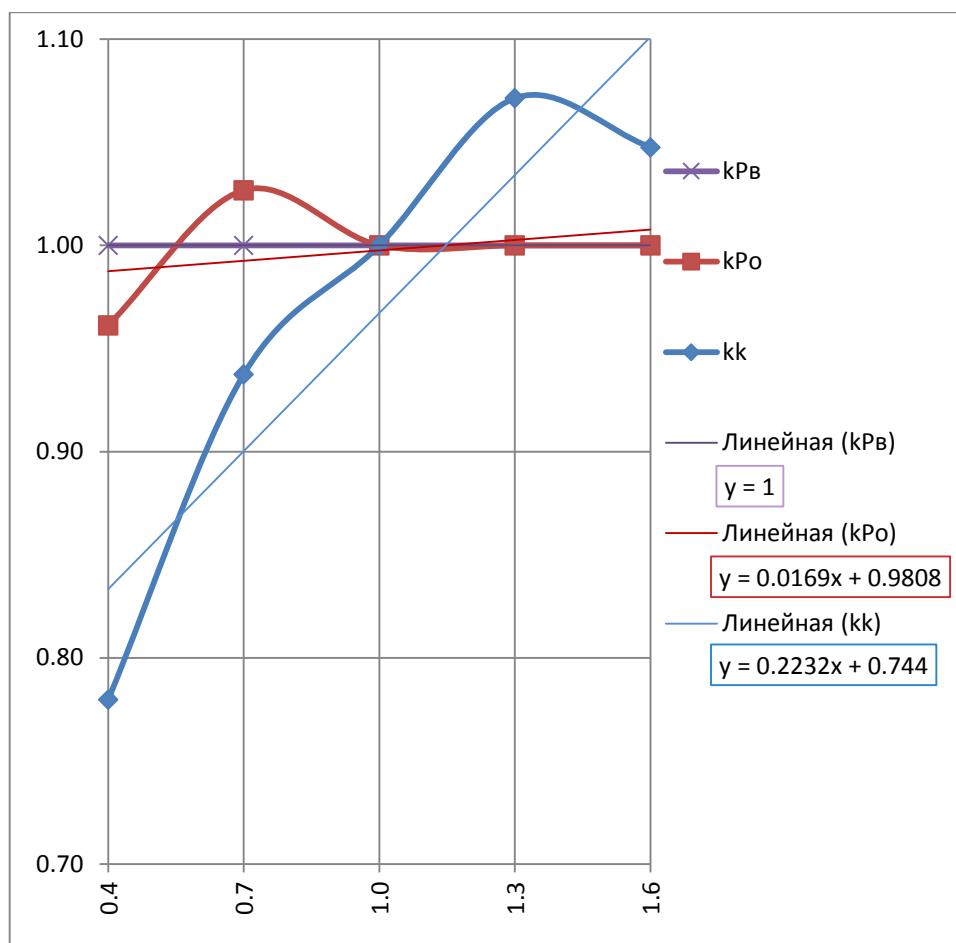


Рисунок 4.14 – Усереднені значення поверхні теплообміну від коефіцієнтів корекції до коефіцієнту теплопередачі (k_k) та гідравлічним опорам по середовищам О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_V}$) в безрозмірному вигляді для оптимальних маслоохолоджувачів турбін

Далі в таблиці 4.4 приведені коефіцієнти нахилу апроксимованої прямої, що відображає вплив похибки окремих розрахунків на загальні результати оптимізації. Таким чином, похибка знаходження оптимальної швидкості теплоносіїв складає приблизно 1÷8% на кожні 10% похибки розрахунку коефіцієнта теплопередачі або гідравлічного опору. Похибка розрахунку коефіцієнта теплопередачі в 1% призводить до похибки визначення оптимальної кінцевої температури охолоджуючого середовища в маслоохолоджувачі в 0,2%. Похибка розрахунку гідравлічних опорів на цю величину значного впливу не робить.

Таблиця 4.4 – Вплив похибки окремих розрахунків на підсумкові результати розрахунку теплообмінника

Підсумкові результати розрахунку	Ступінь впливу при коригуванні					
	для маслоохолоджувача			для теплообмінника системи опалення		
	k	ΔP_O	ΔP_B	k	ΔP_O	ΔP_B
Приведені витрати, З	-0,8664	0,1542	0,0112	-0,8735	0,0024	0,0061
Капітальні вкладення, К	-1,0178	0,2009	0,0194	-1,2725	0,0012	0,0039
Експлуатаційні витрати, Э	-0,7435	0,1193	0,0047	-0,6028	0,0036	0,01
Швидкість середовища О, w_O	-0,4881	-0,8087	-0,0259	-0,3222	-0,25	0,25
Швидкість середовища В, w_B	0,0165	-0,3503	-0,5624	-0,155	0,125	-0,125
Поверхня теплообміну, F	-1,0463	-0,2025	0,026	-1,4836	0	0
Кінцева температура охолоджуючої води, t_{BK}	0,2232	0,0169	0	—	—	—

4.3.5. Дослідження впливу зміни вартостей енергоносіїв і матеріалів на діапазони оптимальних швидкостей

Проектування будь-якого теплообмінника починається з завдання швидкостей теплоносіїв, які вибираються в певних діапазонах. Це ж стосується і початкового вибору діапазону швидкостей при проведенні оптимізації. Такі діапазони рекомендовані численною літературою і встановлюються в межах до 1 м/с для нев'язких рідин (наприклад, води) і дещо меншою – до 0,4 м/с – для в'язких (наприклад, мастил) [101-102]. В [19] для орієнтовного розрахунку швидкості використовується формула

$$w = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{k \cdot \Delta t_{cp} \cdot \Delta P}{C_p \cdot |t' - t''| \cdot \rho^2 \cdot \zeta}}, \quad (99)$$

де ζ – коефіцієнт загального гідравлічного опору одиниці відносної довжини каналу.

Однак не ясно, наскільки актуальні такі оптимальні швидкості з урахуванням змінених цін на матеріали та енергоносії. З часу, коли були сформульовані ці рекомендації, співвідношення цін металу і енергії на перекачування теплоносіїв помінялися, тому існує необхідність уточнення оптимальних швидкостей теплоносіїв.

Оптимізація теплообмінників (маслоохолоджувачів турбін і теплообмінників системи тепlopостачання) проводилася за критерієм оптимальності приведені витрати, який включає як капітальні вкладення в теплообмінник і нагнітачі, так і експлуатаційні витрати, тобто витрати на енергію для перекачування теплоносіїв і самі теплоносії.

При проведенні обчислювального експерименту були збільшені в 2, 5, 10 і 30 разів вартості а) енергії для приводу нагнітачів; б) середовища, що сприймає тепло і в) металу. Змінювалася лише ціна середовища В (оборотна вода для маслоохолоджувача і внутрішня вода водо-водяного теплообмінника), тому що вартість середовища О як цільового теплоносія приймалася рівною нулю. Збільшення ціни металу відображає не тільки зростання цін на матеріали, але також і випадок, коли технологія вимагає застосування більш високоякісного і, отже, більш дорогого матеріалу для виготовлення теплообмінника. Результати оптимізації при різних цінах на матеріал теплообмінника, енергію для приводу нагнітачів і самі теплоносії наведені в додатку Г (протокол 1 пп. 89 ÷ 376 для маслоохолоджувачів і протокол 2 пп. 97 ÷ 384 – для теплообмінників системи тепlopостачання). Далі в таблицях 4.5 – 4.6 наведено залежності оптимальних швидкостей теплоносіїв при зростанні цін для маслоохолоджувачів і теплообмінників системи опалення. На графіках вказані діапазони зміни оптимальних швидкостей у теплообмінниках і середньоарифметична оптимальна швидкість для всіх реальних варіантів в діапазонах витрат / потужностей, досліджуваних в даній роботі.

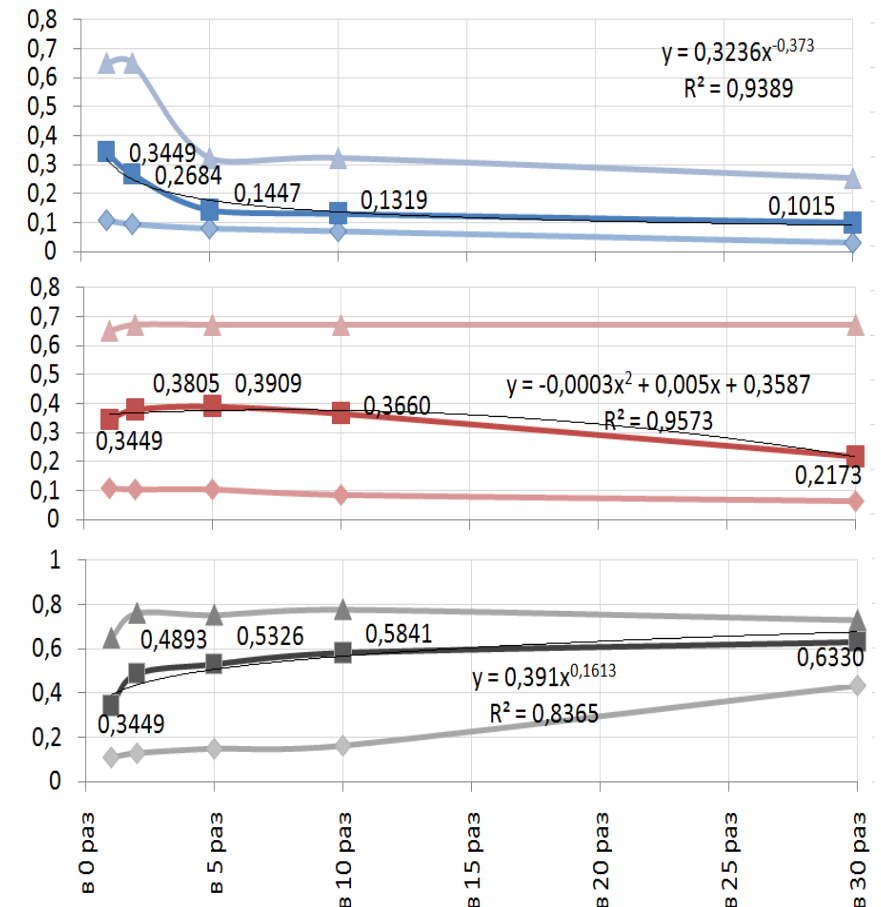
Таблиця 4.5– Залежність діапазонів оптимальних швидкостей теплоносіїв в маслоохолоджувачах турбін від зміни вартостей ресурсів

а) мастила

Ресурс, ціна котрого змінюється	Оптимальна швидкість середовища (м/с) при зростанні ціни				
	в 1 раз	в 2 рази	в 5 разів	в 10 разів	в 30 разів
ціна електро- енергії, грн/кВт·год	1,4011	2,8022	7,0055	14,011	42,033
min	0,1095	0,0962	0,0813	0,0715	0,0321
mid	0,3449	0,2684	0,1447	0,1319	0,1015
max	0,6497	0,6497	0,3249	0,3249	0,2551

зміна ціни	в 1 раз	в 2 рази	в 5 разів	в 10 разів	в 30 разів
ціна води, грн/т	0,5055	1,011	2,5275	5,055	15,165
min	0,1095	0,1051	0,1051	0,0867	0,0651
mid	0,3449	0,3805	0,3909	0,3660	0,2173
max	0,6497	0,6701	0,6701	0,6701	0,6701

зміна ціни	в 1 раз	в 2 рази	в 5 разів	в 10 разів	в 30 разів
метал	-	-	-	-	-
min	0,1095	0,1285	0,1487	0,1626	0,4337
mid	0,3449	0,4893	0,5326	0,5841	0,6330
max	0,6497	0,7620	0,7538	0,7789	0,7302



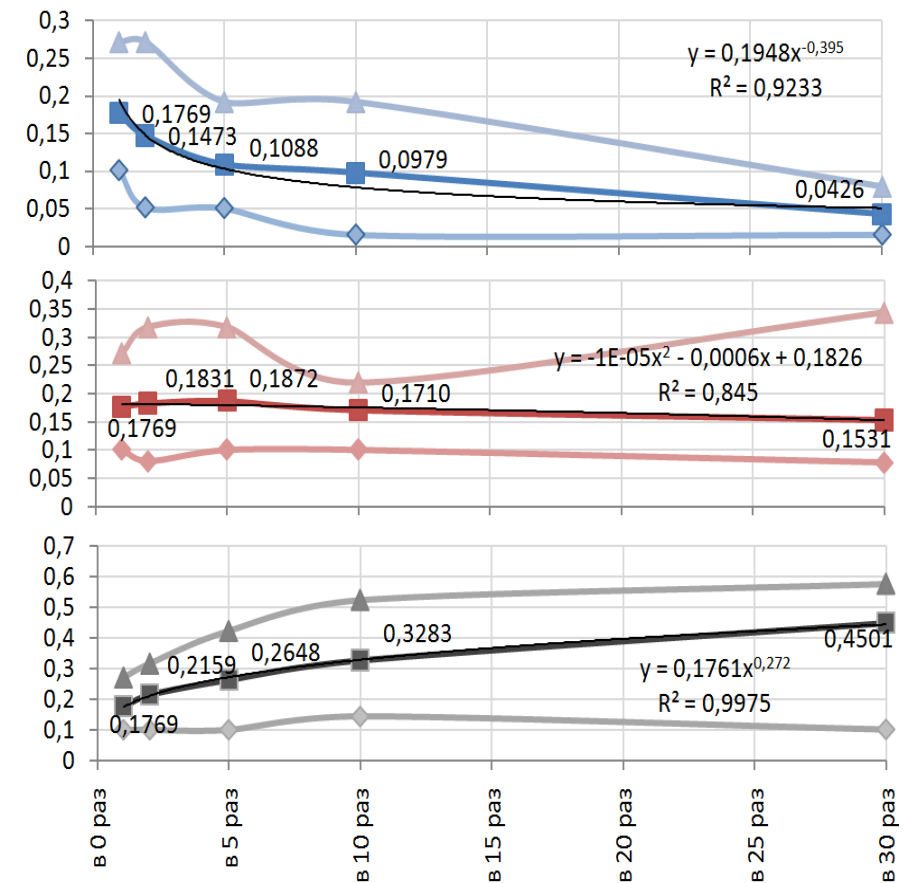
б) води

Ресурс, ціна котрого змінюється	Оптимальна швидкість середовища (м/с) при зростанні ціни				
	в 1 раз	в 2 рази	в 5 разів	в 10 разів	в 30 разів
ціна електро- енергії, грн/кВт·год	1,4011	2,8022	7,0055	14,011	42,033
min	0,1011	0,0515	0,0505	0,0152	0,0152
mid	0,1769	0,1473	0,1088	0,0979	0,0426
max	0,2723	0,2723	0,1924	0,1924	0,0794

зміна ціни	в 1 раз	в 2 рази	в 5 разів	в 10 разів	в 30 разів
ціна води, грн/т	0,5055	1,011	2,5275	5,055	15,165
min	0,1011	0,0800	0,1011	0,1011	0,0775
mid	0,1769	0,1831	0,1872	0,1710	0,1531
max	0,2723	0,3182	0,3182	0,2206	0,3438

зміна ціни	в 1 раз	в 2 рази	в 5 разів	в 10 разів	в 30 разів
метал	-	-	-	-	-
min	0,1011	0,1011	0,1011	0,1454	0,1022
mid	0,1769	0,2159	0,2648	0,3283	0,4501
max	0,2723	0,3175	0,4233	0,5236	0,5761

продовження табл. 4.5



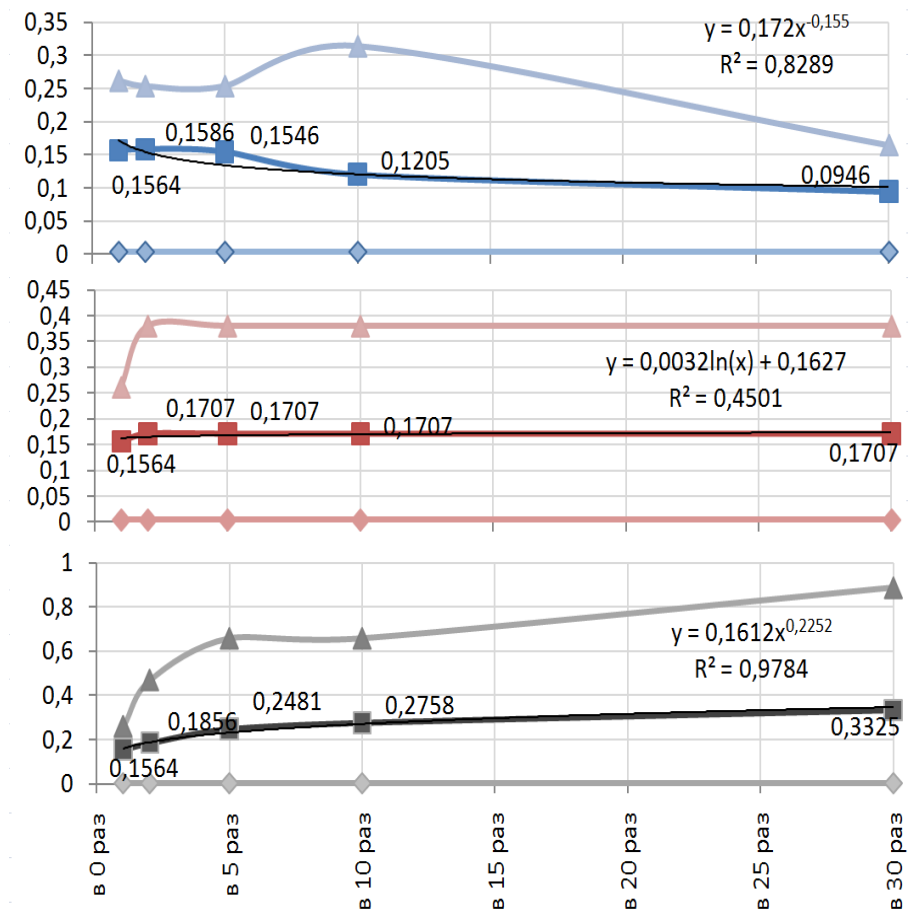
Таблиця 4.6 – Залежність діапазонів оптимальних швидкостей теплоносіїв в теплообмінниках системи опалення від зміни вартостей ресурсів

а) мережева вода

Ресурс, ціна котрого змінюється	Оптимальна швидкість середовища (м/с) при зростанні ціни				
	в 1 раз	в 2 рази	в 5 разів	в 10 разів	в 30 разів
ціна електро- енергії, грн/кВт·год	1,4011	2,8022	7,0055	14,011	42,033
min	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039
mid	0,1564	0,1586	0,1546	0,1205	0,0946
max	0,2617	0,2535	0,2535	0,3137	0,1647

зміна ціни	в 1 раз	в 2 рази	в 5 разів	в 10 разів	в 30 разів
ціна води, грн/т	0,5055	1,011	2,5275	5,055	15,165
min	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039
mid	0,1564	0,1707	0,1707	0,1707	0,1707
max	0,2617	0,3802	0,3802	0,3802	0,3802

зміна ціни	в 1 раз	в 2 рази	в 5 разів	в 10 разів	в 30 разів
метал	-	-	-	-	-
min	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039
mid	0,1564	0,1856	0,2481	0,2758	0,3325
max	0,2617	0,4705	0,6587	0,6587	0,8872



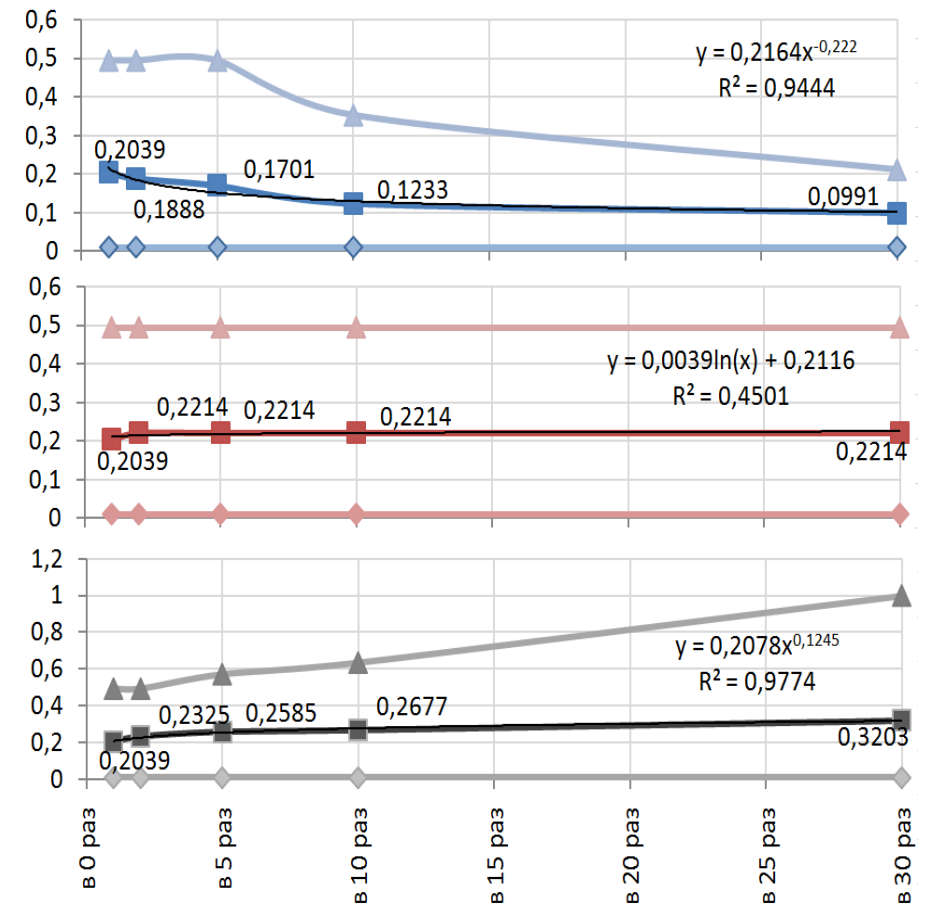
а) домова вода

Ресурс, ціна котрого змінюється	Оптимальна швидкість середовища (м/с) при зростанні ціни				
	в 1 раз	в 2 рази	в 5 разів	в 10 разів	в 30 разів
ціна електро- енергії, грн/кВт·год	1,4011	2,8022	7,0055	14,011	42,033
min	0,0103	0,0103	0,0103	0,0103	0,0103
mid	0,2039	0,1888	0,1701	0,1233	0,0991
max	0,4945	0,4945	0,4945	0,3532	0,2119

змiна цiни	в 1 раз	в 2 рази	в 5 разів	в 10 разів	в 30 разів
ціна води, грн/т	0,5055	1,011	2,5275	5,055	15,165
min	0,0103	0,0103	0,0103	0,0103	0,0103
mid	0,2039	0,2214	0,2214	0,2214	0,2214
max	0,4945	0,4945	0,4945	0,4945	0,4945

змiна цiни	в 1 раз	в 2 рази	в 5 разів	в 10 разів	в 30 разів
метал	-	-	-	-	-
min	0,0103	0,0103	0,0103	0,0103	0,0103
mid	0,2039	0,2325	0,2585	0,2677	0,3203
max	0,4945	0,4945	0,5730	0,6358	0,9991

продовження табл. 4.6



На наведених графіках показані діапазони зміни оптимальної швидкості теплоносія при відповідному рівні зростання цін (бліді лінії) і середньоарифметична оптимальна швидкість (центральна яскравіша лінія). Залежності від зміни ціни електроенергії показані синім кольором, води – червоним, металу – сірим. Для середньої оптимальної швидкості була проведена апроксимація, залежності наведені на відповідних графіках.

Залежність швидкостей від зміни вартості води проглядається слабо, крім швидкості масла в маслоохолоджувачі, яка при зростанні ціни води також зростає. На рис. 4.15 показані залежності оптимальних швидкостей теплоносіїв від зростання цін на електроенергію і метал.

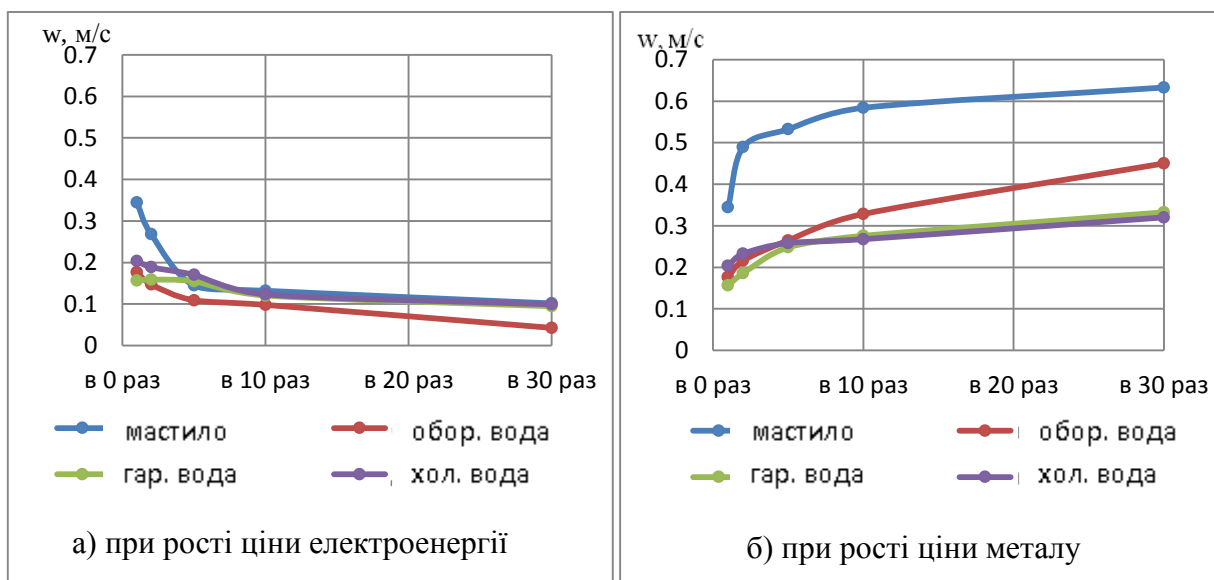


Рисунок 4.15 – Залежність усереднених оптимальних швидкостей теплоносіїв від зростання цін а) електроенергії, б) металу

Таким чином, оптимальна швидкість води при нинішньому рівні цін по економічних критеріях оптимальності у маслоохолоджувачі та теплообмінниці системи опалення становить приблизно 0,2 м/с і змінюється в діапазоні $0,01 \div 0,5$ м/с, мастила – 0,35 м/с ($0,1 \div 0,65$ м/с). Оптимальні швидкості димових газів у теплообміннику системи знеліднення знаходяться в діапазоні 4–6 м/с, повітря – 0,4–0,6 м/с. Оптимальні швидкості гарячого CO_2

у понадкритичному CO_2 циклі становлять близько 0,8 м/с (тиск 20 МПа), холодного 0,3–0,5 м/с (тиск 7,692 МПа).

Цікавий той факт, що оптимальна швидкість мастила виходить більшою, ніж оптимальна швидкість води. В літературі вона встановлюється меншою у зв'язку з тим, що в'язкість мастила значно більше в'язкості води, тому на його перекачування потрібні великі енерговитрати. Зміна співвідношення капітальних і експлуатаційних витрат при нинішніх цінах вимагає зниження швидкості теплоносіїв, що видно на прикладі води. Але, як показує експеримент, зниження оптимальної швидкості мастила пропорційно зниженню швидкості води не відбувається.

Це обумовлено все тією ж підвищеною в'язкістю цього середовища. Для розглянутих умов критичні швидкості, нижче яких відбувається перехід до ламінарного течії рідини, для води – 0,006 м/с, а для мастила – 0,67 м/с. Таким чином, маслоохолоджувач працює в турбулентному режимі по стороні води і в ламінарному – по стороні мастила. Тому при пропорційному зниженні швидкостей теплоносіїв коефіцієнт тепловіддачі по стороні мастила падає швидше, ніж по стороні води.

Це впливає також і на температуру стінки – при зниженні швидкостей вона наближається ближче до температури охолоджуючої води. Кут нахилу лінійно апроксимованої залежності критерію Прандтля від температури в досліджуваному інтервалі роботи теплоносіїв приблизно в 1,8 тис. разів більше для мастила, ніж для води. Отже, зміна температури стінки впливає на поправку на неізотермічність прикордонного шару для мастила в 6,5 разів сильніше, ніж для води.

Фізично це означає наступне. При зниженні швидкостей теплоносіїв зниження коефіцієнта теплопередачі викликає по стороні мастила виникнення шару з переважанням переносу теплоти теплопровідністю, мастило близько стінок стає як би «ізолятором». Тому для підтримки оптимального коефіцієнта теплопередачі необхідні чималі швидкості масла, тоді як швидкість води можна знижувати значно.

При зростанні ціни електроенергії оптимальні швидкості теплоносіїв зменшуються, причому для мастила швидше, при збільшенні ціни в 5 разів оптимальні швидкості мастила і води приблизно рівні. При зростанні ціни в 10 разів оптимальні швидкості трохи більше 0,1 м/с.

При зростанні ціни металу оптимальні швидкості теплоносіїв зростають, при зростанні ціни в 10 разів оптимальні швидкості води знаходяться на рівні 0,3 м/с, мастила – 0,6 м/с.

Отримані результати можна використовувати в початковому вигляді, тобто при зростанні ціни на метал/енергоносії уточнювати за графіками/таблицями оптимальної швидкості, або вивести деякі усереднені залежності.

Узагальнивши отримані дані для води можна отримати наступну залежність оптимальної швидкості її (в м/с) від коефіцієнтів росту цін на електроенергію і метал:

$$w_{\text{опт}} = 0,2 \cdot k_{\text{э/э}}^{-0,25} \cdot k_{\text{мет}}^{0,2}. \quad (100)$$

Ще більш спростивши формулу і підставивши прийняті при оптимізації середні значення вартості електроенергії (1,4011 грн/кВт·год) і металу (122 грн/кг) можна отримати залежність:

$$w_{\text{опт}} = 8,19 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{C_{\text{мет}}}{C_{\text{э/э}}} \right)^{0,2}, \quad (101)$$

де $C_{\text{мет}}$ – ціна матеріалу пластин, у.о./кг;

$C_{\text{э/э}}$ – ціна електроенергії, у.о./кВт·год.

В додатку І наведені результати порівняння швидкостей, розрахованих за цією формулою, з оптимальними швидкостями, отриманими в результаті оптимізації. Як видно, отримана формула в переважній більшості випадків

дає швидкість гараздо ближче до оптимальної, ніж рекомендована в літературі.

4.4. Висновки по розділу 4

1. Всего при проведенні розрахункових експериментів було розраховано 169 511 679 варіантів маслоохолоджувачів і 15 998 368 варіантів теплообмінників системи опалення.

Встановлено, що пластинчасті теплообмінники ефективніше кожухотрубчастих

а) маслоохолоджувачів – в 1,9 разів;

б) теплообмінників системи опалення – в 1,11 разів.

2. Проаналізовано вплив зміни незалежних змінних на результати оптимізації. Незалежні змінні розташовані в порядку зменшення цього впливу для обох випадків (маслоохолоджувача і теплообмінника системи опалення). Встановлено, що на результати оптимізації маслоохолоджувачів найбільший вплив робить зміна температури води, що охолоджує, найменший – зміна площі теплопередаючої пластини. Для теплообмінника системи опалення, для якого не проводилася оптимізація по режимним параметрам, ситуація зворотна і площа теплопередаючої пластини має найбільший вплив на результати оптимізації. Ці дані дозволяють на кожному новому кроці зміни незалежних змінних формувати список більш «пасивних» (які не змінюються в поточному наборі) змінних. Відповідно, істотно змінюється розмірність задачі оптимізації і загальний час розрахунку.

3. Проведено аналіз впливу похибки окремих розрахунків (теплого і гідравлічного) на результати оптимізації. При цьому виявлено, що зміна похибки теплового розрахунку на 1% змінює значення критерію ефективності на 1,5-3%. Зміна похибки гідравлічного розрахунку позначається на результатах оптимізації в значно меншому ступені. В

результаті розроблено рекомендації щодо раціонального вибору розрахункових моделей.

4. Проведено аналіз впливу економічних величин (вартостей енергії і матеріалів) на результати оптимізації. Рекомендована формула для визначення оптимальної швидкості води в каналах пластинчастого теплообмінного апарату з урахуванням економічних величин. «Відсіювання» варіантів теплообмінника зі швидкостями середовищ, далекими від оптимальних, дозволяє значно – на кілька порядків – зменшити число порівнюваних варіантів і, відповідно, значно зменшити тривалість оптимізуючих розрахунків.

Висновки по дисертації

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливого науково-практичного завдання: оптимізації пластинчастих теплообмінників енергетичних установок і вдосконаленню методів їх розрахунку і оптимізації. Під час роботи над дисертацією вирішено наступні задачі:

1. Вперше розроблено методику автоматичного інтервального розрахунку пластинчастого теплообмінного апарату як комплексу теплообмінних поверхонь з використанням фрактального підходу. Ця методика дозволяє досягти підвищення точності теплового розрахунку на 3-10%, особливо для теплообмінників з невеликою кількістю пластин. Методика повністю автоматична і може бути використана у програмах оптимізації пластинчастих теплообмінників.

2. Створено програму оптимізації конструктивних і режимних параметрів пластинчастого теплообмінного обладнання для різних задач розрахунку, типів пластинчастих теплообмінників, з можливістю використання моделей різної точності. Вона дозволила провести розрахункові експерименти та може надалі використовуватися в дослідницькій та інженерній діяльності.

3. Проведено комплексний оптимізаційний розрахунковий експеримент для маслоохолоджувачів турбін з витратою мастила 10-250 кг/с, теплообмінників системи опалення потужністю 100-2000 кВт, регенераторів понадкритичного CO₂ циклу потужністю 1-15 МВт, підігрівачів повітря системи знеліднення газової турбіни потужністю 1-20 МВт. Рекомендовано оптимальні конструктивні та режимні параметри для цього обладнання. Встановлено, що пластинчасті теплообмінники ефективніше кожухотрубних по економічних критеріях для всіх діапазонів потужностей вищезазначених установок.

4. Визначено актуальні щодо сучасного рівня цін на метал та енергоносії оптимальні по економічним критеріям ефективності швидкості

теплоносіїв в каналах пластинчастих теплообмінників розглянутих енергетичних установок, ці рівні швидкостей значно нижчі, ніж вважалося досі, і становлять 0,2 м/с для води, 0,35 м/с для мастила, 5 м/с для димових газів, 0,5 м/с для стисненого повітря, 0,8 м/с для CO_2 при 20 МПа, 0,4 м/с для CO_2 при 7,692 МПа. Встановлено, як зміняться оптимальні швидкості (води та мастила) при зростанні цін на метал та/або електроенергію. Рекомендовано рівняння для визначення оптимальної швидкості води у залежності від цін на метал та енергію, воно може також бути використане для розрахунку оптимальної швидкості при використанні дорогих металів.

5. Проведено ранжування незалежних змінних по впливу на результати оптимізації і надано рекомендації щодо порядку і кроку перебору їх, що дозволяє зменшити розмірність задачі оптимізації, і, відповідно, час її проведення.

6. Вироблено рекомендації щодо необхідності використання уточнених методів розрахунку. Це дозволяє встановлювати, для яких випадків необхідне застосування більш складних інтервальних методів розрахунку, у тому числі розробленого в цій дисертації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Объем глобального рынка теплообменников (прогноз до 2024 года).
URL: <https://nexson-group.ru/news/globalmarket-heatexchanger.html> (дата
звернення: 25.11.2020).
2. Барановский Н. В., Коваленко Л. М., Ястребенецкий А. Р. Пластинчатые
и спиральные теплообменники: монография. Москва: Машиностроение,
1973.
3. Тарадай А.М., Гуров О.И., Коваленко Л.М. Пластинчатые
теплообменные аппараты: монография. Харьков: Прапор, 1995.
4. Randall F. Barron, Gregory F. Nellis. Cryogenic Heat transfer. Second
Edition ed. Taylor & Francis Group, an Informa business, 2016. 669 pp.
5. Антуфьев В.М., Гусев Е.К., Ивахненко В.В., Кузнецов Е.Ф., Ламм Ю.А.
Теплообменные аппараты из профильных листов: монография.
Ленинград: Энергия, 1972. 128 с.
6. Roberto Cipollone, Giuseppe Bianchi, Davide Di Battista, Fabio Fatigati.
Experimental and numerical analyses on a plate heat exchanger with phase
change for waste heat recovery at off-design conditions. 33rd UIT (Italian
Union of Thermo-fluid-dynamics) Heat Transfer Conference. 2015. pp. 1-10.
7. Wright R., Wright J., Cabet C. Material Performance in Helium-Cooled
Systems. Comprehensive Nuclear Materials. Elsevier, 2012. pp. 251-277.
8. Smith P.G. Introduction to Food Process. Second Edition ed. School of
Natural and Applied Sciences University of Lincoln, 2011. 510 pp.
9. Каневец Г.Е., Сагань И.И., Иванова Н.В., Поржезинский Ю.Г.,
Разладин Ю.С. Оптимизация теплообменного оборудования пищевых
производств: монография. Киев: Техніка, 1981. 192 с.
10. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., КАПУСТЕНКО П.А., БУХКАЛО С.И.,
ПЕРЕВЕРТАЙЛЕНКО А.Ю. Применение энергосберегающего

теплообменного оборудования в молочной промышленности. Интегрированные технологии и энергосбережение, No. 2. Харьков, 2005. С. 18-21.

11. Khadir M.T. Comparison of advanced and model predictive control for plate heat exchangers: Application to pasteurization temperature control. Advanced Analytic and Control Techniques for Thermal Systems with Heat Exchangers. Academic Press, 2020. pp. 433-456.
12. Bob Ramlow, Benjamin Nusz. Solar water heating: a comprehensive guide to solar water and space heating systems. Rev. and expanded ed. ed. NEW SOCIETY PUBLISHERS, 2010. 245 pp.
13. Gianluca Lillo, Rita Mastrullo, Alfonso W. Mauro, Luca Viscito. Multi criteria optimization of plate heat exchanger for super critical CO₂ power systems. IV International Seminar on ORC Power Systems, ORC2017. 2017. pp. 979-986.
14. José Ignacio Linares, Alexis Cantizano, Beatriz Yolanda Moratilla, Víctor Martín, Lluís Batet. Supercritical CO₂ Brayton power cycles for DEMO fusion reactor based on Dual Coolant. Energy, No. 98, 2016. pp. 271-283.
15. Кошельник А.В., Морозов А.Е. Методика расчёта пластинчатых теплообменников для утилизации тепла отходящих газов высокотемпературных теплотехнических систем. Экология и промышленность, No. 2/2011. Харьков, 2011. С. 62-66.
16. Товажнянский Л.Л., Перевертайленко А.Ю., Арсеньева О.П., Капустенко П.А., Арсеньев П.Ю., Бочарников И.А. К вопросу энергосберегающей реконструкции теплообменных систем установок хемосорбционной очистки газов. Інтегровані технології та енергозбереження. No. 4. Харьков, 2017. С. 3-5.
17. Светлаков А.Л., Вербанов И.С., Маслова Д.В., Гулимовский И.А., Шлякотин В.Е. Развитие методик расчета и проектирования

теплообменных аппаратов авиационного назначения. Авиационные двигатели, No. 4 (5), 2019.

18. Бакласов А.М., Горбенко В.А., Удыма П.Г. Проектирование, монтаж и эксплуатация тепломассообменных установок: Учеб. пособие для вузов. Москва: Энергоиздат, 1981.
19. Сост. Коваленко Л. М., Рудь С. Л. Пластинчатые теплообменные аппараты: каталог. Москва: УкрНИИхиммаш, 1983. 51 с.
20. Thulukkanam K. Heat Exchanger Design Handbook. Second edition ed. CRC Press, 2013. 1216 pp.
21. Каневец Г.Е. Обобщённые методы расчета теплообменников: монография. Киев: Наукова думка, 1979. 352 с.
22. Каневец Г.Е., Зайцев И.Д., Головач И.И. Введение в автоматизированное проектирование теплообменного оборудования: монография. Киев: Наукова думка, 1985. 232 с.
23. Каневец Г.Е. Теплообменники и теплообменные системы: монография. Киев: Наукова думка, 1981. 272 с.
24. Каневец Г.Е. Обобщенные методы расчета теплообменников и их применение при оптимизации теплообменного оборудования. Дис. ... д-ра техн. наук. Киев. 1974. 495 с.
25. Клименко А.П., Каневец Г.Е. Расчёт теплообменных аппаратов на электронных вычислительных машинах: монография. Москва, Ленинград: Энергия, 1966. 272 с.
26. Каневец Г.Е., Снежко А.Я. Классификация и принципы формирования схем токов сред в пластинчатых теплообменных аппаратах. Математическое моделирование и системный анализ теплообменного оборудования: материалы всесоюзного совещания, 1978. С. 78-82.
27. Степанова А.А., Снежко А.Я., Чиренко Л.А. Гидравлический расчёт пластинчатого теплообменного аппарата. Математическое

моделирование и системный анализ теплообменного оборудования: Материалы Всесоюзного совещания, 1978. С. 260-266.

28. Эмирджанов Р.Т. Основы технологических расчётов в нефтепереработке. Москва: Химия, 1965. 544 с.
29. Cao E. Heat transfer in process engineering. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 2010. 569 pp.
30. David Reay Colin Ramshaw Adam Harvey. Process Intensification. Butterworth-Heinemann, 2013. 624 pp.
31. Arsenyeva O., Trat J., Kenig E.Y. Thermal and hydraulic performance of pillow-plate. Proceedings of the 28th European Symposium on Computer Aided Process Engineering. Graz, Austria. 2018. pp. 181-186.
32. Ernst U. Schlinder, Kenneth J. Bell, Duncan Chisholm, Geoffrey F. Hewitt, Frank W. Schmidt, D. Brian Spalding, Jerry Tahorek, Algirdas iukauskas, V. Gnielinski. Heat Exchanger Design Handbook. Hemisphere Publishing Corporation, 1983.
33. Zhang L.Z. Conjugate Heat and Mass Transfer in Heat Mass Exchanger Ducts. Academic Press is an imprint of Elsevier, 2014. 391 pp.
34. Sadik Kakaç, Yaman Yener, Anchasa Pramuanjaroenkij. Convective Heat Transfer. Third Edition ed. CRC Press, 2014. 588 pp.
35. John E. Hesselgreaves R.L.D.A.R. Aspects of Flow and Convective Heat Transfer Fundamentals for Compact Surfaces. Compact Heat Exchangers (Second Edition). Butterworth-Heinemann, 2017. pp. 157-219.
36. Focke, W. W., Zachariades, J., & Olivier, I. The effect of the corrugation inclination angle on the thermohydraulic performance of plate heat exchangers. International Journal of Heat and Mass Transfer, No. 28(8), 1985. pp. 1469–1479.
37. Wang L., Sunden B., Manglok R.M. Plate heat exchangers: Design, Applications and Performance. WitPress, 2007. 269 pp.

38. Ганжа А.Н., Марченко Н.А. Особенности определения средних температур в поверхностных теплообменных аппаратах. Двигатели внутреннего сгорания, No. 1'2008, 2008. С. 38-42.
39. Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Хавин Г.Л., Арсеньева О.П. Пластинчатые теплообменники в теплоснабжении: монография. Харьков: НТУ "ХПИ", 2007. 448 с.
40. Красин А.К., Нестеренко В.Б., Девойно А.Н. Теплообмен в химически реагирующих газовых теплоносителях: монография. Минск: Наука и техника, 1971. 168 с.
41. Shunfeng Guana, Sandro Macchiettoa. A Novel Dynamic Model of Plate Heat Exchangers Subject to Fouling. Proceedings of the 28th European Symposium on Computer Aided Process Engineering. 2018. pp. 1679-1684.
42. Капустенко П.А., Арсеньева О.П., Юзбашьян А.П. Интенсивность загрязнения теплообменников при подогреве нефти с учётом изменения теплофизических свойств. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій, Vol. 1, No. 43, 2018. С. 40-44.
43. Демирский А.В., Товажнянский Л.Л., Арсеньева О.П., Хавин Г.Л., Капустенко П.А.. Анализ работы системы подогревателей сахарного сока с учётом загрязнений теплообменной поверхности. Інтегровані технології та енергозбереження , No. 2, 2013. С. 14-18.
44. Демирский А.В., Георгиадис М.С., Товажнянский Л.Л., Арсеньева О.П., Капустенко П.А., Бабак Т.Г., Хавин Г.Л. Мониторинг динамики работы пластинчатых подогревателей сахарного сока в рабочих условиях. Інтегровані технології та енергозбереження, No. 3, 2015. С. 73-77.
45. Bott T.R. Fouling of Heat Exchangers. Elsevier Science & Technology Books, 1995. 524 pp.
46. Myungsung Lee, Chan-Shik Won, and Nahmkeon Hur. A Numerical Study on Flow and Heat Transfer Analysis of Various Heat Exchangers. EKC2008

Proceedings of the EU-Korea Conference on Science and Technology. 2008. pp. 19-31.

47. Рогачев В.А., Баранюк А.В., Рачинский А.Ю. Численное моделирование теплогидравлических характеристик пластинчатого теплообменного аппарата. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, No. № 12(1288), 2018.
48. Патанкар С.В. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах: монография. Москва: Издательство МЭИ, 2003. 312 с.
49. Коваленко Л.М., Шуляк С.И. Метод расчёта оптимального пластинчатого теплообменного аппарата. Математическое моделирование и системный анализ теплообменного оборудования: Материалы Всесоюзного совещания, 1978. С. 82-83.
50. Fábio A.S. Mota, E.P. Carvalho, Mauro A.S.S. Ravagnani. Modeling and Design of Plate Heat Exchanger. Heat Transfer Studies and Applications. 2015. pp. 165-199.
51. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. 2nd ed. Москва: Наука, 1976. 279 с.
52. Кафаров В.В., Перов В.Л., Мешалкин В.П. Принципы математического моделирования химико-технологических систем. Москва: Химия, 1974. 344 с.
53. Стабников В.Н., Попов В.Д., Лысянский В.М., Редько Ф.А. Процессы и аппараты пищевых производств. 3rd ed. Москва: Пищевая промышленность, 1976. 663 с.
54. Тарадай А.М., Коваленко Л.М., Гурин Е.П. К вопросу оценки теплоэнергетической эффективности теплообменников, применяемых в

муниципальной теплоэнергетике. Новости теплоснабжения, No. 6, 2003. С. 40-43.

55. Ганжа А.М. Підвищення ефективності поверхневих тепломасообмінних апаратів шляхом розвинення закономірностей розподілу локальних теплогідравлічних параметрів. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Харків. 2011.
56. Копачинский П.А., Тараскин В.П. Судовые охладители и подогреватели жидкостей. Ленинград: Судостроение, 1968. 244 с.
57. Скурихин В.И., Шифрин В.Б., Дубровский В.В. Математическое моделирование: монография. Киев: Техника, 1983. 270 с.
58. Дедусенко Ю.М. Регенеративные схемы и регенераторы газотурбинных установок: монография. Киев: Академии наук Украинской ССР, 1960. 268 с.
59. Leonardo Pierobon, Jorrit Wronski [et al]. DNA – an integrated open-source optimization platform for thermo-fluid systems. 2014. 55th Conference on Simulation and.
60. Волков Н.П., Иванова Н.В., Каневец Г.Е., Берлин М.А. Состояние и перспективы системных исследований химико- и энерготехнологических объектов: Материалы II шк. по мат. моделированию, системн. анализу и оптимизации хим.-технол. процессов, аппаратов и пр-в. Проблемы комплексной оптимизации газопереработки. Киев. 1986. С. 110-122.
61. Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Перевертайленко А.Ю., Бухкало С.И., Арсеньева О.П. Анализ теплообменных систем установок газификации нефтеперерабатывающих производств. Інтегровані технології та енергозбереження, No. 3, 2011. С. 54-62.
62. Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М., Болдырев С.А., Арсеньева О.П., Тарновский М.В. Интеграция тепловых процессов на установке первичной переработки нефти АВТ А12/2 при работе в зимнее

время. Теоретические основы химической технологии, Vol. 43, No. №6, 2009. С. 665-676.

63. Кафаров В.В., Мешалкин В.П. Анализ и синтез химико-технологических систем. Москва: Химия, 1991. 432 с.
64. Кафаров В.В., Манко Г.И., Мешалкин В.П., Пинский В.И. Информационная оценка точности моделирования химико-технологических процессов. Автомат. и телемех, No. 1, 1980. с.
65. Сороко В.Е., Вечная С.В., Попова Н.Н. Основы химической технологии. Ленинград: Химия, 1986. 296 с.
66. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., КАПУСТЕНКО П.А., УЛЬЕВ Л.М., БОЛДЫРЕВ С.А. Создание оптимальной теплообменной системы в процессе дистилляции каменноугольной смолы. Интегрированные технологии и энергосбережение, No. 2, 2004. С. 85-90.
67. Капустенко П.А., Арсеньева О.П., Гарев А.О., Захаров Д.С. Тепловая интеграция установки кристаллизации гидролизной серной кислоты. Вісник НТУ «ХПІ», No. № 55 (1028), 2013. С. 131-138.
68. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л., КАПУСТЕНКО П.А., УЛЬЕВ Л.М., БОЛДЫРЕВ С.А., МЕЛЬНИКОВСКАЯ Л.А., ТЕРЕЩЕНКО В.Н. Пинч-интеграция процесса концентрирования ортофосфорной кислоты. Інтегровані технології та енергозбереження, No. 2, 2008. С. 9-17.
69. Ian C. Kemp J.S.L. Heat exchanger network design. Pinch Analysis for Energy and Carbon Footprint Reduction (Third Edition). Butterworth-Heinemann, 2020. pp. 131-194.
70. Wilson D.G. The design and performance analysis of compact heat exchangers (Volume III, Design Data), Northern research and engineering corporation, Cambridge (Massachusetts), London (England), 1095-3, 1965. 673 pp.
71. JOHN E. HESSELGREAVES, RICHARD LAW, DAVID A. REAY.

- Compact heat exchangers. Selection, Design and Operation. Second Edition ed. Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, 2017. 484 pp.
72. Kakac S., Liu H., Pramuanjaroenkij A. Heat Exchangers. Selection, Rating, and Thermal Design. Third Edition ed. CRC Press, 2012. 605 pp.
 73. Ayub Z.H. Plate Heat Exchanger Literature Survey and New Heat Transfer and Pressure Drop Correlations for Refrigerant Evaporators. Heat Transfer Engineering, No. 24(5), 2003. pp. 3–16.
 74. Yang, J., Jacobi, A., & Liu, W. Heat transfer correlations for single-phase flow in plate heat exchangers based on experimental data. Applied Thermal Engineering, No. 113, 2017. pp. 1547–1557.
 75. Martin H. Heat exchangers. HEMISPHERE PUBLISHING CORPORATION, 1992.
 76. Арсеньева О. П., Товажнянский Л. Л., Капустенко П. А., Хавин Г. Л. Математическое моделирование и оптимизация разборных пластинчатых теплообменников. Інтегровані технології та енергозбереження, No. 2'2009, 2009. С. 17-25.
 77. Ганжа А.М., Марченко Н.А. Комп'ютерне моделювання процесів у складних теплообмінних апаратах. Вісник НТУ"ХПІ". Серія Системний аналіз, управління та інформаційні технології, No. №9, 2010. С. 113-120.
 78. Арсеньева О. П., Товажнянский Л. Л., Капустенко П. А. Математическое моделирование и оптимизация разборных пластинчатых теплообменников. Интегрированные технологии и энергосбережение, No. 2, 2009. С. 17-25.
 79. Численное решение уравнений и систем уравнений: методическое пособие для студентов института технологий и коммуникаций. Астрахань. 2001. 43 с.
 80. Силуянова М.В., Попова Т.В. Исследование теплообменного аппарата для газотурбинных двигателей сложного цикла. Труды МАИ, No. 80,

2015. С. 1-10.

81. Martin H. N6 Pressure Drop and Heat Transfer in Plate Heat Exchangers. New York: Springer, 2010. pp. 1515–1522.
82. Теплообменники пластинчатые: руководящий нормативный документ РД 26-01-107-86.
83. CoolProp. URL: <http://www.coolprop.org/> (дата звернения: 12.6.2017).
84. NASA Chemical Equilibrium with Applications (CEA). URL: <https://www.grc.nasa.gov/www/CEAWeb/> (дата звернения: 01.06.2017).
85. Шляхин П.Н., Бершадский М.Л. Краткий справочник по паротурбинным установкам. Москва - Ленинград: Госэнергоиздат, 1961. 128 с.
86. Саввин В.Н. Паровая турбина К-500-240 ХТГЗ. Москва: Энергоатомиздат, 1984. 264 с.
87. Методика расчёта и проектирования охладителей масла для систем маслоснабжения турбоустановок, РТМ 108.020.126-80, 1980.
88. Косяк Ю.Ф. Паровая турбина К-300-240 ХТГЗ. Москва: Энергоиздат, 1982. 272 с.
89. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. 2nd ed. Москва: Наука, 1972. 720 с.
90. Бажан П.И., Каневец Г.Е., Селиверстов В.М. Справочник по теплообменным аппаратам. Москва: Машиностроение, 1989.
91. Акмен Р.Г. Тепло- и массообмен: текст лекций для студентов заочного обучения специальностей 7.090510 "Теплоэнергетика" и 7.000008 "Энергетический менеджмент". Харьков: НТУ "ХПИ", 2006. 135 с.
92. Кузнецов А. Л., Кузнецов Л. А. Борьба с обледенением стационарных газотурбинных установок. Ленинград: Недра, 1980.
93. Рабенко В. С., Будаков И. В., Белоусов П. П. Повышение эффективности ГТД-110 при работе антиобледенительной системы. Энергетические

машины и установки, No. №3(7), 2009. С. 8–19.

94. Moroz L., Pagur P., Rudenko O., Burlaka M., Joly C. Study of a supercritical CO₂ power cycle application in a cogeneration power plant. The 4th International Symposium - Supercritical CO₂ Power Cycles. 2014.
95. Dostal V., Driscoll M. J., Hejzlar P. A. Supercritical Carbon Dioxide Cycle for Next Generation Nuclear Reactors, Advanced Nuclear Power Technology Program MIT-ANP-TR-100, March 10. 2004.
96. Karellas, S., Schuster, A., & Leontaritis, A.-D. Influence of supercritical ORC parameters on plate heat exchanger design. Applied Thermal Engineering. 2012. pp. 70-76.
97. Pasch Jim, Conboy Tom, Fleming Darryn, Rochau Gary. Supercritical CO₂ Recompression Brayton Cycle: Completed Assembly Description, Sandia National Laboratories, SAND2012-9546, 2012.
98. Miao Ding, Jian Liu, Wen-Long Cheng, Wen-Xu Huang, Qi-Nie Liu, Lei Yang, Shi-Yi Liu. An adaptive flow path regenerator used in supercritical carbon dioxide Brayton cycle. Applied Thermal Engineering, No. 138, 2018. pp. 513-522.
99. Moore J., Cich S., Day M., Allison T., Wade J., Hofer D. Commissioning of a 1 MWe Supercritical CO₂ Test Loop. The 6th International Supercritical CO₂ Power Cycles Symposium. 2018. pp. 1-14.
100. Mahmood Mohagheghi 1, Husam Zawati, Thomas Pinol, Jihua Gou, Chengying Xu, Jayanta Kapat. Use of 1-D Finite Enthalpy Method for a High-Temperature Recuperator Made of Polymer Derived Ceramic Composite for a Supercritical Carbon Dioxide Power System. The 5th International Symposium – Supercritical CO₂ Power Cycles. 2016. pp. 1-21.
101. Балайка Б., Сикора К. Процессы теплообмена в аппаратах химической промышленности. Москва: Машгиз, 1962. 362 с.
102. Калафати Д.Д., Попалов В.В. Оптимизация теплообменников по

эффективности теплообмена. Москва: Энергоатомиздат, 1986. 152 с.

ДОДАТКИ

ОСНОВНІ АЛГОРИТМІЧНІ СТРУКТУРИ ТА МОДУЛІ

Додаток А.1

Узагальнені структури розрахунків теплообмінного обладнання

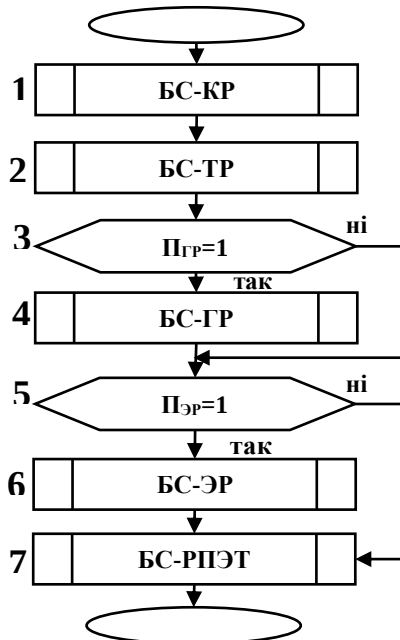


Рисунок А.1.1 – Узагальнена структура перевірного розрахунку теплообмінника. Шифр БС-ПоР

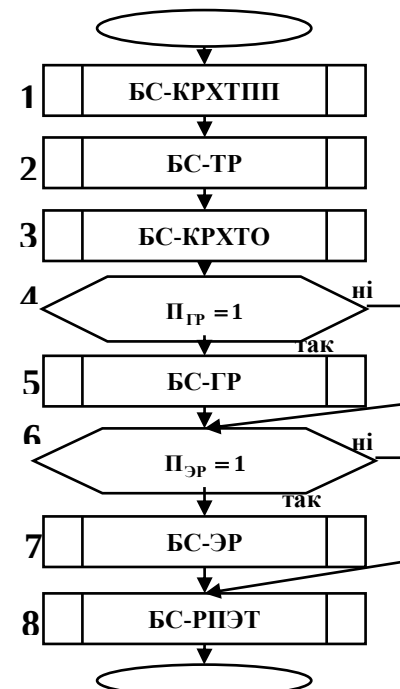


Рисунок А.1.2 – Узагальнена структура проектного розрахунку теплообмінника. Шифр БС-ПрР

БС-ПоР

Узагальнена структура періодичного розрахунку теплообмінника

- Б1.** Блок-схема конструктивного розрахунку. Шифр БС-КР.
Б2. Блок-схема теплового розрахунку. Шифр БС-ТР.
Б3. Перевірка умови проведення гідравлічного розрахунку.
Б4. Блок-схема гідравлічного розрахунку. Шифр БС-ГР.
Б5. Перевірка умови проведення економічного розрахунку.
Б6. Блок-схема економічного розрахунку. Шифр БС-ЕР.
Б7. Блок-схема розрахунку показників ефективності теплообмінника. Шифр БС-РПЭТ.

БС-ПрР

Узагальнена структура проектного розрахунку теплообмінника

- Б1.** Блок-схема конструктивного розрахунку характеристик типового пакету пластин (ТПП). Шифр БС-КРХТПП.
Б2. Блок-схема теплового розрахунку. Шифр БС-ТР.
Б3. Блок-схема конструктивного розрахунку характеристик теплообмінника. Шифр БС-КРХТО.
Б4. Перевірка: чи проводиться гідравлічний розрахунок (умова $P_{гр}=1$)?
Б5. Блок-схема гідравлічного розрахунку. Шифр БС-ГР.
Б6. Перевірка: чи проводиться економічний розрахунок (умова $P_{эр}=1$)?

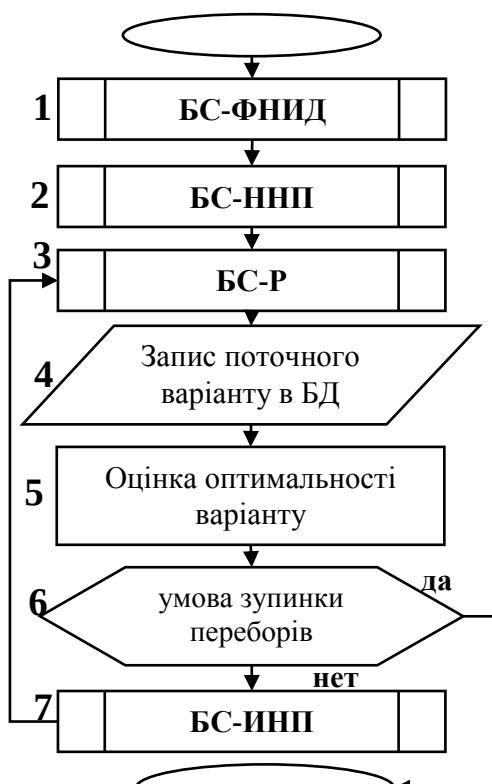


Рисунок А.1.3 – Узагальнена структура проектної оптимізації.
Шифр БС-ПОТО

Б7. Блок-схема економічного розрахунку. Шифр БС-ЭР.

Б8. Блок-схема розрахунку показників ефективності теплообмінника. Шифр БС-РПЭТ.

БС-Р дозволяє провести повний розрахунок одного варіанту теплообмінника. Це означає, що всі параметри ТО введені користувачем чи задані в попередніх блоках алгоритму.

БС-ПОТО

Узагальнена структура проектної оптимізації теплообмінників

Б1. Блок-схема формування набору вихідних даних. Шифр БС-ФНИД.

Б2. Блок-схема вибору початкового набору незалежних змінних. Шифр БС-ННП.

Б3. Блок-схема розрахунку поточного варіанту теплообмінника. Шифр БС-Р.

Б4. Запис поточного розрахованого варіанту в базу даних.

Б5. Оцінка оптимальності варіанту.

Б6. Перевірка: чи виконано умову закінчення переборів?

Б7. Блок-схема зміни набору незалежних змінних. Шифр БС-ИНП.

Блок-схема формування набору вихідних даних (**БС-ФНИД**) дозволяє ввести декотрий набір вихідних даних і встановити межі варіювання незалежних змінних (величин, по яких проводиться оптимізація), а також задати метод пошуку екстремуму, обмежити кількість варіантів, що перебираються, чи час роботи програми, задати цільовий критерій оптимальності. **БС-ФНИД** проводить верифікацію (перевірку) достатності та коректності введених даних. Також в ній задаються всі необхідні ознаки.

Блок-схеми вибору початкового набору незалежних змінних (**БС-ННП**) та зміни набору незалежних змінних (**БС-ИНП**) відповідають за організацію проведення оптимізації, встановлюють порядок пошуку екстремуму (далі будуть розглянуті різноманітні варіантии блок-схем, відповідних основним методам пошуку екстремуму).

Розрахунковий блок **БС-Р** (блок-схема розрахунку поточного варіанту теплообмінника) проводить всі необхідні види розрахунків ТО по всім заданим (користувачем або переборів) вихідним даним: конструктивний, тепловий, гідравлічний та економічний. Фактично для проектної оптимізації це *узагальнена структура проектного розрахунку теплообмінника*.

Умова припинення переборів залежить від обранного методу пошуку екстремуму та може бути наступною:

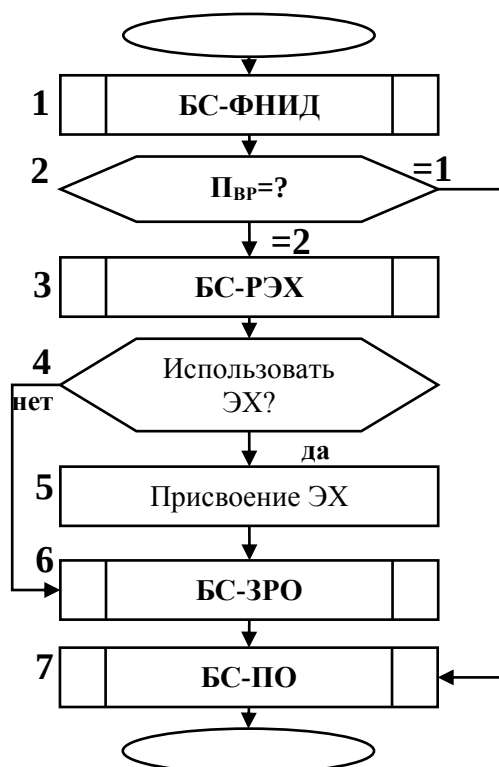


Рисунок А.1.4 – Узагальнена структура оптимальної заміни теплообмінників.
Шифр БС-ОЗТО

- перебрані всі можливі варіанти в межах, заданих вихідними даними;
- досягнута необхідна ефективність ТО;
- досягнута необхідні різниця ефективностей ТО між ітераціями;
- досягнута задана кількість переборів;
- закінчився допустимий час розрахунку;
- користувач перервав розрахунок та ін.

БС-ОЗТО

Узагальнена структура оптимальної заміни теплообмінників

Б1. Блок-схема формування набору вихідних даних. Шифр БС-ФНИД.

Б2. Перевірка виду розрахунку:

Пвр=1 – розрахунок нового оптимального ТО;

Пвр=2 – оптимальна заміна існуючого ТО.

Б3. Блок-схема розрахунку експлуатаційних характеристик існуючого ТО. Шифр БС-РЭХ.

Б4. Перевірка: використовувати розраховані експлуатаційні характеристики існуючого ТО при розрахунку та оптимізації (може вводиться користувачем самостійно після виводу на екран результатів БС-РЭХ та оцінки їм їх адекватності).

Б5. Присвоєння значень, отриманих в БС-РЭХ, замість попередньо заданих і розрахованих (коефіцієнти адекватності).

Б6. Блок-схема завдання розрахункових обмежень в залежності від можливості та необхідності заміни чи подальшого використання існуючих обладнання та конструкцій. Шифр БС-ЗРО.

Б7. Блок-схема проектної оптимізації (описана вище).

Можливі види розрахунків: розрахунок нового оптимального ТО (**Пвр=1**) чи оптимальна заміна існуючого ТО (**Пвр=2**). Фактично різниця цих двох видів розрахунків полягає в наявності чи відсутності фактичних даних про роботу попереднього теплообмінника, котрі можливо використати в розрахунках ТО, що проектується. Розрахунок показників роботи попереднього ТО проводиться в БС-РЭХ і після оцінки та підтвердження користувачем може вводиться в розрахунок. Також можливо залишити обладнання чи конструкції існуючого теплообмінника, чи сам теплообмінник, оптимізувавши лише його режимні параметри. Всі ці варіанти розрахунків задаються шляхом установки розрахункових обмежень в БС-ЗРО.

Додаток А.2.**Підсистема розрахунку теплового балансу та верифікації вихідних даних**

Розрахунок теплового балансу проводиться для одного з безлічі можливих варіантів завдання вихідних даних, окремо для кожного з середовищ, за допомогою підстановки в алгоритм змінних модулів з приведених нижче таблиць 3.1 а і б. Вибір варіанту здійснюється в залежності від його шифру. Шифр представляє собою набір цифр, в котрих наявність вихідних даних позначається 1, відсутність – 0.

В графі 7 (опис) приведені номери груп варіантів по повноті завдання вихідних даних:

Група I. Повний набір вихідних даних

Група II. Неповний набір вихідних даних. Розрахунок теплового навантаження по рівнянню теплового балансу.

Група III. Неповний набір вихідних даних. Проводиться оптимізація режимних параметрів.

Група IV. Мінімальний набір вихідних даних. Розрахунок теплового навантаження по рівнянню теплового балансу. Проводиться оптимізація режимних параметрів.

Б1. Блок-схема аналізу шифру вихідних даних по середовищам О і В. Вихідні дані: Σ_O , Σ_B , P_{QO} , P_{QV} . (Блок-схема не приводиться, порядок отримання даних описаний в табл. 1).

Шифр БС-АШ.

Б2. Перевірка: кількість введених даних по середовищу О менше 4 (умова $\Sigma_O < 4$)?

Б3. Перевірка: кількість введених даних по середовищу В менше 4 (умова $\Sigma_B < 4$)?

Б4. Перевірка: задано менше 2-х значень Q (умова $P_{QO} + P_{QV} < 2$)?

Б5. Перевірка: загальна сума вихідних даних менше 6 (умова $\Sigma_O + \Sigma_B < 6$)?

Б6. Присвоєння ознаці нереальності варіанту значення $P_{HB} = 2$ (надлишок вихідних даних). Вивід повідомлення про помилку.

Б7. Перевірка: загальна сума вихідних даних менше 5 (умова $\Sigma_O + \Sigma_B < 5$)?

Б8. Присвоєння ознаки проведення оптимізації режимних параметрів значення $P_{OPP} = 0$ (не проводиться).

Б9. Перевірка: загальна сума вихідних даних менше 4 (умова $\Sigma_O + \Sigma_B < 4$)?

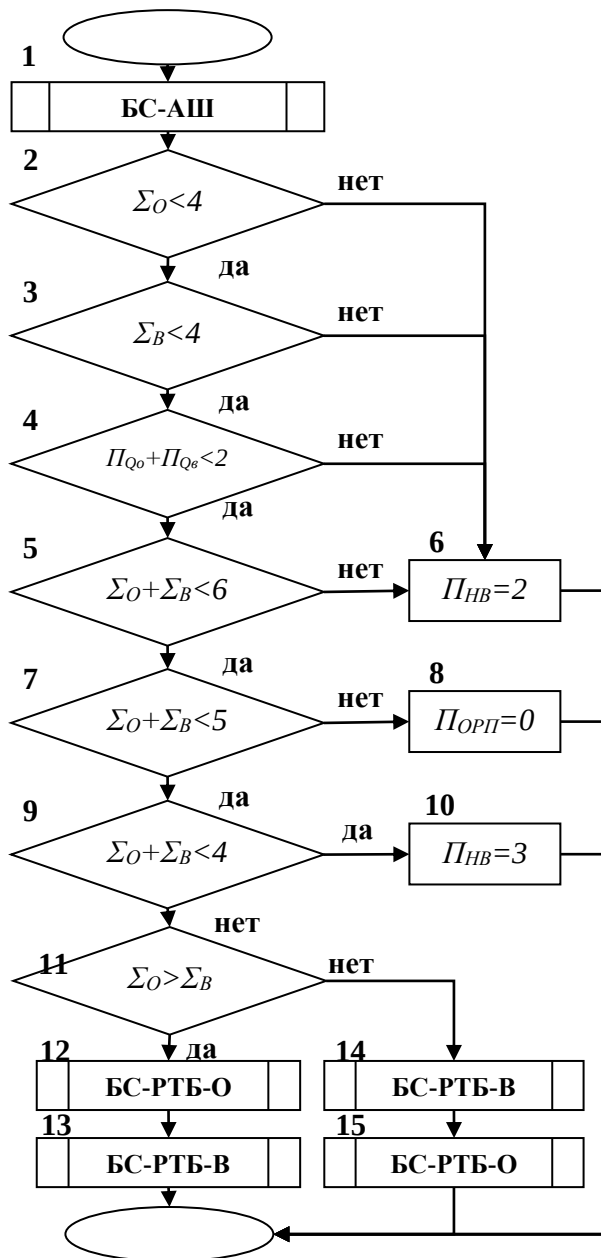


Рисунок А.2.1 – Блок-схема розрахунку
теплого балансу.
Шифр БС-РТБ

Б10. Присвоєння ознаки нереальності варіанту значення $P_{HB}=3$ (нехватка вихідних даних). Вивід попередження про помилку.

Б11. Перевірка: сума вихідних даних по середовищу О більше, чим по середовищу В (умова $\Sigma_O > \Sigma_B$)?

Б12, Б15. Блок-схема розрахунку відсутніх даних балансу для середовища О (підстановка відповідного шифру модуля з таблиці вище). Шифр БС-РТБ-О.

Б13, Б14. Аналогічно Б12, Б15 для середовища В.
Шифр БС-РТБ-В.

Вихідні дані:

Ознака процесу теплообміну по середовищу О- $P_{нтоО}$.

Ознака процесу теплообміну по середовищу В- $P_{нтоВ}$.

Набір введених вихідних даних .

Розраховані дані:

Ознака нереальності варіанту- P_{HB} .

Ознака проведення оптимізації режимних параметрів- $P_{ОРП}$.

Відсутні вихідні дані.

Таблиця А.2.1

**Варіанти правильного завдання вихідних даних і формули для
розрахунку теплового балансу**

**а) для випадку теплообміну без зміни агрегатного стану
(при $\Pi_{ntoO}=1$ та/чи $\Pi_{ntoB}=1$)**

Шифр	Наявність вих. дан.				Σ мов	Опис	Дія	
	Q	G	t _H	t _K			для середовища O	для середовища B
1	2	3	4	5		7	8	9
0111	-	+	+	+	=3	Група I.	$Q_O = G_O \times [c_O \cdot (t_{OH} - t_{OK}) + \Delta q_O]$	$Q_B = G_B \times [c_B \cdot (t_{BK} - t_{BH}) - \Delta q_B]$
1011	+	-	+	+			$G_O = \frac{Q_O}{[c_O \cdot (t_{OH} - t_{OK}) + \Delta q_O]}$	$G_B = \frac{Q_B}{[c_B \cdot (t_{BK} - t_{BH}) - \Delta q_B]}$
1101	+	+	-	+			$t_{OH} = t_{OK} + \frac{Q_O}{G_O \cdot c_O} - \frac{\Delta q_O}{c_O}$	$t_{BH} = t_{BK} - \frac{Q_B}{G_B \cdot c_B} - \frac{\Delta q_B}{c_B}$
1110	+	+	+	-			$t_{OK} = t_{OH} - \frac{Q_O}{G_O \cdot c_O} + \frac{\Delta q_O}{c_O}$	$t_{BK} = t_{BH} + \frac{Q_B}{G_B \cdot c_B} + \frac{\Delta q_B}{c_B}$
0011	-	-	+	+	=2; $\Pi_Q=0$	Група II.	$Q_O = \frac{Q_B \cdot \eta_B}{\eta_O};$ $G_O = \frac{Q_O}{[c_O \cdot (t_{OH} - t_{OK}) + \Delta q_O]}$	$Q_B = \frac{Q_O \cdot \eta_O}{\eta_B};$ $G_B = \frac{Q_B}{[c_B \cdot (t_{BK} - t_{BH}) - \Delta q_B]}$
0101	-	+	-	+			$Q_O = \frac{Q_B \cdot \eta_B}{\eta_O};$ $t_{OH} = t_{OK} + \frac{Q_O}{G_O \cdot c_O} - \frac{\Delta q_O}{c_O}$	$Q_B = \frac{Q_O \cdot \eta_O}{\eta_B};$ $t_{BH} = t_{BK} - \frac{Q_B}{G_B \cdot c_B} - \frac{\Delta q_B}{c_B}$
0110	-	+	+	-			$Q_O = \frac{Q_B \cdot \eta_B}{\eta_O};$ $t_{OK} = t_{OH} - \frac{Q_O}{G_O \cdot c_O} + \frac{\Delta q_O}{c_O}$	$Q_B = \frac{Q_O \cdot \eta_O}{\eta_B};$ $t_{BK} = t_{BH} + \frac{Q_B}{G_B \cdot c_B} + \frac{\Delta q_B}{c_B}$
1001	+	-	-	+	=2; $\Pi_Q=1$	Група III.	$\Pi_{OR\Pi}=1$	$\Pi_{OR\Pi}=3$
1010	+	-	+	-			$\Pi_{OR\Pi}=2$	$\Pi_{OR\Pi}=4$
0001	-	-	-	+	=1; $\Pi_Q=0$	Група IV.	$Q_O = \frac{Q_B \cdot \eta_B}{\eta_O};$ $\Pi_{OR\Pi}=1$	$Q_B = \frac{Q_O \cdot \eta_O}{\eta_B};$ $\Pi_{OR\Pi}=3$
0010	-	-	+	-			$Q_O = \frac{Q_B \cdot \eta_B}{\eta_O};$ $\Pi_{OR\Pi}=2$	$Q_B = \frac{Q_O \cdot \eta_O}{\eta_B};$ $\Pi_{OR\Pi}=4$

Примітки:

Σ – кількість введених вихідних даних (сума цифр в шифрі);

Π_Q – ознака завдання Q ($\Pi_Q=0$ – не заданий, $=1$ – заданий);

Дія (остання колонка) – дія в змінному модулі, відповідна даному шифру схеми.

**б) для випадків теплообміну зі зміною агрегатного стану
(при $\Pi_{нтоО}=2$ та/чи $\Pi_{нтоВ}=2$)**

Шифр	Наявність вих. дан.			Умова	Опис	Дія	
	Q	G	r			для середовища О	для середовища В
1	2	3	4		6	7	8
01	-	+	+	=3	Група I.	$Q_O = G_O \cdot (r_O + \Delta q_O)$	$Q_B = G_B \cdot (r_B - \Delta q_B)$
101	+	-	+			$G_O = \frac{Q_O}{r_O + \Delta q_O}$	$G_B = \frac{Q_B}{r_B - \Delta q_B}$
110	+	+	-			$r_O = \frac{Q_O}{G_O} - \Delta q_O$	$r_B = \frac{Q_B}{G_B} + \Delta q_B$
001	-	-	+	=2; $\Pi_Q=0$	Група II.	$Q_O = \frac{Q_B \cdot \eta_B}{\eta_O};$ $G_O = \frac{Q_O}{r_O + \Delta q_O}$	$Q_B = \frac{Q_O \cdot \eta_O}{\eta_B};$ $G_B = \frac{Q_B}{r_B - \Delta q_B}$
010	-	+	-			$Q_O = \frac{Q_B \cdot \eta_B}{\eta_O};$ $r_O = \frac{Q_O}{G_O} - \Delta q_O$	$Q_B = \frac{Q_O \cdot \eta_O}{\eta_B};$ $r_B = \frac{Q_B}{G_B} + \Delta q_B$
100	+	-	-	=2; $\Pi_Q=1$	Група III.	$\Pi_{ОРП}=5$	$\Pi_{ОРП}=6$
000	-	-	-	=1; $\Pi_Q=0$	Група IV.	$Q_O = \frac{Q_B \cdot \eta_B}{\eta_O};$ $\Pi_{ОРП}=5$	$Q_B = \frac{Q_O \cdot \eta_O}{\eta_B};$ $\Pi_{ОРП}=6$

Примітки:

Σ – кількість введених вихідних даних (сума цифр в шифрі) +1;

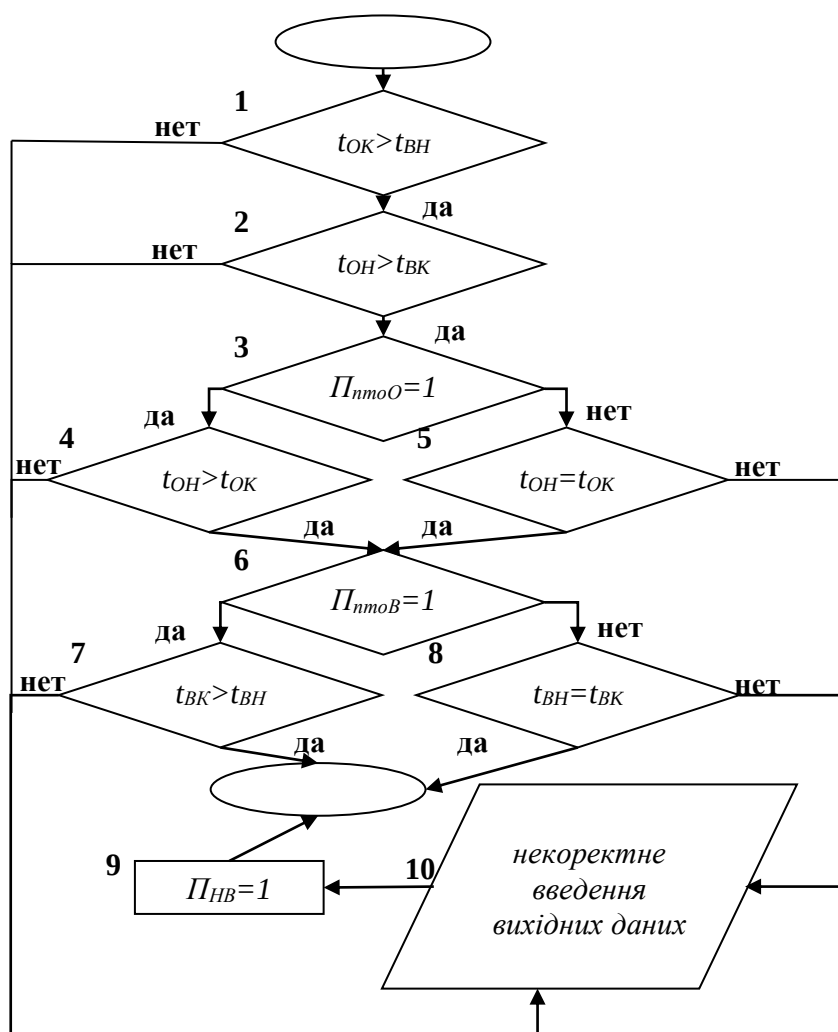
r – теплота пароутворення, знаходиться по таблицях теплофізичних властивостей в залежності від температури t чи тиску P пари, і навпаки, якщо температура і тиск не задані, після розрахунку теплового балансу і розрахунку r вони знаходяться по таблицям.

БС-ВИД

**Блок-схема
верифікації вихідних даних**

Б1. Перевірка: кінцева температура середовища О вище початкової температури середовища В (умова $t_{OK} > t_{BH}$)?

Б2. Перевірка: початкова температура середовища О вище кінцевої температури середовища В (умова $t_{OH} > t_{BK}$)?



Б3. Перевірка: процес теплообміну середовища О – без зміни агрегатного стану (умова $P_{nmoO}=1$)?

Б4. Перевірка: початкова температура середовища O вище кінцевої температури середовища O (умова $t_{OH} > t_{OK}$)?

Б5. Перевірка: початкова температура середовища O рівна кінцевій температурі середовища O (умова $t_{OH}=t_{OK}$)?

Б6. Перевірка: процес теплообміну середовища В – без зміни агрегатного стану (умова $P_{\text{пмоВ}}=1$)?

Б7.Перевірка: початкова температура середовища В вище кінцевої температури середовища В (умова $t_{BH} > t_{BK}$)?

Б8.Перевірка: початко-

ва температура середовища В рівна кінцевій температурі середовища В (умова $t_{BH}=t_{BK}$)?

Б9.Присвоєння ознаки нереальності варіанту значення 1 (некоректний ввід вихідних даних): $P_{HR}=1$.

Вихідні дані:

Початкова температура середовища O , t_{OH} , $^{\circ}C$.

Кінцева температура середовища $O, t_{OK}, ^\circ\text{C}$.

Початкова температура середовища В, t_{BH} , °C.

Кінцева температура середовища В, t_{BK} , $^{\circ}\text{C}$.

Ознака процесу теплообміну по середовищу O, Π_{nmoO} .

Ознака процесу теплообміну по середовищу В, P_{ntoB}

Розраховані дані:

Ознака нереальності варіанту, Π_{HB} .

Підсистема теплового розрахунку пластинчастого теплообмінного апарату

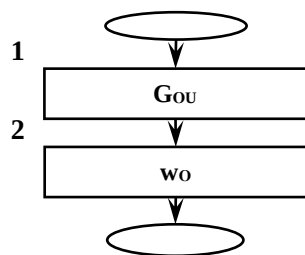


Рисунок А.3.1 –
Блок-схема розрахунку швидкості середовища.
Шифр БС-**w**

БС-w**_o** --- **Блок-схема** **розрахунку швидкості середовища О** ---

На прикладі середовища О.

Б1. Витрата середовища О, кг/с: $G_{ou} = \frac{G_o}{U_o}$.

Б2. Швидкість середовища О, м/с: $w_o = \frac{G_{ou}}{\rho_o \cdot f_1 \cdot N_{канO}}$.

Вихідні дані:

Витрата середовища **G** – з вихідних даних.

Кількість паралельних рядів апаратів по середовищу **U**, шт – з **БС-ННП**, **БС-ИНП**.

Щільність середовища при заданій середній його температурі **ρ**, кг/м³ – з таблиць теплофізичних властивостей середовища.

Площа поперечного перетину каналу **f₁**, м² – характеристика пластини.

Кількість каналів по середовищу в теплообміннику **N_{кан}**, шт – з **БС-ННП**.

Розраховані дані:

Витрата середовища О в ряду комплексу **G_U**, кг/с.

Швидкість середовища О в каналах теплообмінника **w**, м/с.

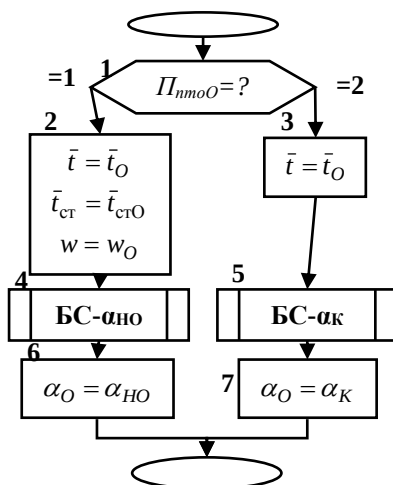


Рисунок А.3.2 – Блок-схема розрахунку коефіцієнту тепловіддачі по стороні середовища О.
Шифр БС-**α_o**

БС-α_o**** --- **Блок-схема** **розрахунку коефіцієнту тепловіддачі по стороні середовища О** ---

Б1. Перевірка значення ознаки процесу теплообміну по середовищу О **Π_{птоО}**.

=1 – без зміни агрегатного стану (охолодження);

=2 – зі зміною агрегатного стану (конденсація).

Б2. Переприсвоєння значень змінних:

$$\begin{matrix} \bar{t} = \bar{t}_o & Pr = Pr_o \\ \bar{t}_{cr} = \bar{t}_{cro} & Pr_{cr} = Pr_{cro} \\ w = w_o & v = v_o; \lambda = \lambda_o \end{matrix}$$

Б3. Переприсвоєння значення змінної: $\bar{t} = \bar{t}_o$.

Б4. Блок-схема розрахунку коефіцієнта тепловіддачі при відсутності фазового переходу. Шифр **БС-α_{но}**.

Б5. Блок-схема розрахунку коефіцієнта тепловіддачі при конденсації. Шифр **БС-α_к**.

Б6.Присвоєння значення змінній: $\alpha_o = \alpha_{HO}$.

Б7.Присвоєння значення змінній: $\alpha_o = \alpha_K$.

Вихідні дані:

Ознака процесу теплообміну по середовищу О $\Pi_{птоО}$ – з вихідних даних.

Середня температура середовища О t_o – з **БС-k**.

Температура стінки зі сторони середовища О t_{cto} – из **БС-k**.

Швидкість середовища О w_o – з **БС-w_o**.

Теплофізичні властивості середовища О $Pr_o, Pr_{cto}, \nu_o, \lambda_o$.

Розраховані дані:

Коефіцієнт тепловіддачі середовища О $\alpha_o, \frac{Вт}{м^2К}$.

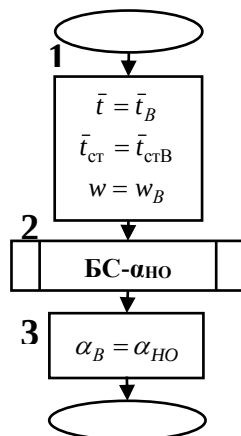


Рисунок А.3.3 –
Блок-схема розрахунку коефіцієнту тепловіддачі по стороні середовища В.
Шифр **БС-ав**

БС-ав

**Блок-схема
розрахунку коефіцієнта тепловіддачі по стороні
середовища В**

Б1.Присвоєння значень змінним:

$$\begin{aligned} \bar{t} &= \bar{t}_B & Pr &= Pr_B \\ \bar{t}_{ct} &= \bar{t}_{ctB} & Pr_{ct} &= Pr_{ctB} \\ w &= w_B & \nu &= \nu_B; \lambda = \lambda_B \end{aligned}$$

Б2.Блок-схема розрахунку коефіцієнту тепловіддачі при відсутності фазового переходу. Шифр **БС-апо**.

Б3.Присвоєння значення змінної: $\alpha_B = \alpha_{HO}$.

Вихідні дані:

Середня температура середовища В $t_B, ^\circ\text{C}$ – из **БС-k**.

Температура стінки зі сторони середовища В $t_{ctB}, ^\circ\text{C}$ – з **БС-k**.

Швидкість середовища В $w_B, \text{м/с}$ – з **БС-w_B**.

Теплофізичні властивості середовища В $Pr_B, Pr_{ctB}, \nu_B, \lambda_B$.

Розраховані дані:

Коефіцієнт тепловіддачі середовища В $\alpha_B, \frac{Вт}{м^2К}$.

БС-апо

**Блок-схема розрахунку коефіцієнту тепловіддачі
при відсутності фазового переходу**

Б1.Знаходження теплофізичних характеристик теплоносія в залежності від:

- середньої температури теплоносія $\bar{t}$: λ, ν, Pr ;
- від температури стінки t_{ct} : Pr_{ct} .

Б2.Визначення числа Рейнольдса: $Re = \frac{w \cdot d_{\Sigma}}{\nu}$.

Б3.Визначення граничних значень критеріїв Рейнольдса і Прандтля в залежності від типу пластини:

- для турбулентного режиму: $Pr_{minT}, Pr_{maxT}, Re_{minT}, Re_{maxT}$;
- для ламінарного режиму: $Pr_{minL}, Pr_{maxL}, Re_{minL}, Re_{maxL}$

Б4.Перевірка: режим течіння турбулентний (умови $Re_{min,T} < Re < Re_{max,T}$; $Pr_{min,T} < Pr < Pr_{max,T}$)?

Б5.Визначення постійних C_T, n_T, m_T в формулі визначення числа Нуссельта.

Б6.Визначення числа Нуссельта для турбулентного режиму:

$$Nu_T = C_T \cdot Re^{n_T} \cdot Pr^{m_T} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}$$

Б7.Перевірка: режим течіння ламінарний (умови $Re_{min,L} < Re < Re_{max,L}$; $Pr_{min,L} < Pr < Pr_{max,L}$)?

Б8.Визначення постійних C_L, n_L, m_L в формулі визначення числа Нуссельта.

Б9.Визначення числа Нуссельта для ламінарного режиму: $Nu_L = C_L \cdot Re^{n_L} \cdot Pr^{m_L} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_{ст}} \right)^{0,25}$

Б10. Присвоєння ознаки нереальності варіанту значення $\Pi_{нв}=7$ – неможливо розрахувати $\alpha_{но}$ (режим течіння не досліджений).

Б11. Визначення коефіцієнту тепловіддачі: $\alpha_{но} = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_0}$.

Вхідні дані:

Еквівалентний діаметр каналу $d_0, м$.

Граничні значення критеріїв Рейнольдса і Прандтля для ламінарного і турбулентного режимів $Pr_{min,T}, Pr_{max,T}, Re_{min,T}, Re_{max,T}$

$Pr_{min,L}, Pr_{max,L}, Re_{min,L}, Re_{max,L}$.

Постійні для розрахунку числа Нуссельта C_L, n_L, m_L

Критерій Прандтля по температурі середовища Pr – з БС- α_0 , БС- $\alpha_в$.

Критерій Прандтля по температурі стінки $Pr_{ст}$.

Швидкість теплоносія w , м/с.

Коефіцієнт кінетичної в'язкості середовища ν , $м^2/с$.

Коефіцієнт теплопроводності середовища λ ,

$$\frac{Вт}{м \cdot К}$$

Розраховані дані:

Коефіцієнт тепловіддачі α , $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$.

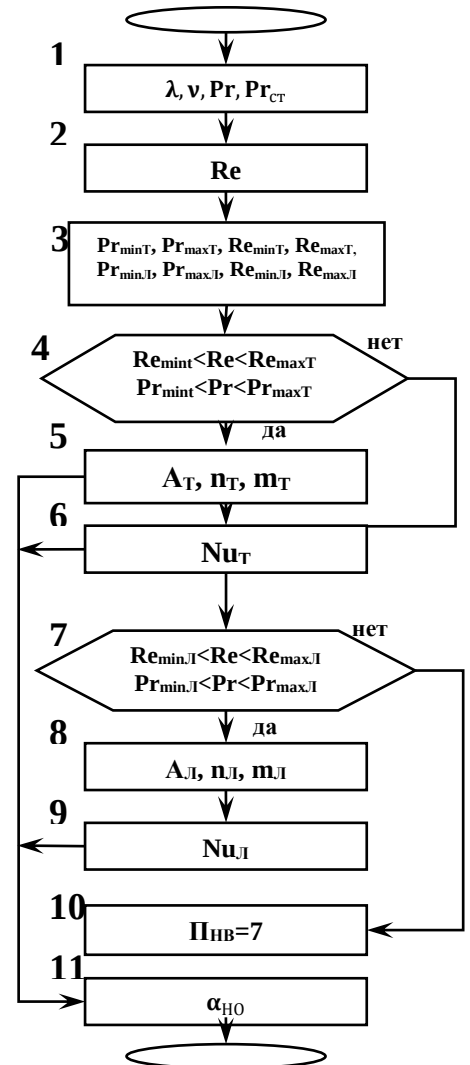


Рисунок А.3.4– Блок-схема розрахунку коефіцієнту тепловіддачі при відсутності фазового переходу. Шифр БС- α_0

**Блок-схема
розрахунку коефіцієнту тепловіддачі при конденсації**

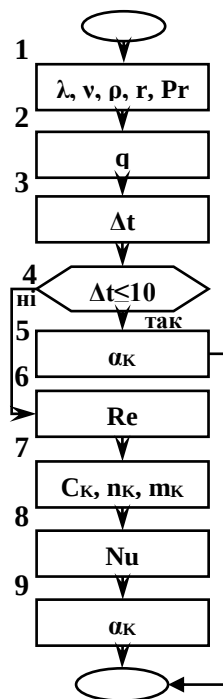


Рисунок А.3.5 –
Блок-схема роз-
рахунку коефі-
цієнту тепловід-
дачі при кон-
денсації. Шифр
БС- α_K

Б1. Знаходження теплофізичних характеристик в залежності від температури теплоносія: $\lambda, \nu, \rho, r, Pr$.

Б2. Визначення питомого теплового навантаження на 1 м^2 поверхні теплообміну, $\text{Вт}/\text{м}^2$: $q = k^{np} \cdot (\bar{t}_O - \bar{t}_B)$.

Б3. Визначення температурного напору, $^{\circ}\text{C}$: $\Delta t = \bar{t}_O - \bar{t}_B$.

Б4. Перевірка: $\Delta t \leq 10$.

Б5. Визначення коефіцієнту тепловіддачі, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{K}}$:

$$\alpha_K = 1,15 \cdot \sqrt[4]{\frac{q \cdot \rho \cdot \lambda^3 \cdot k^{np} \cdot r}{\nu \cdot L_{II} \cdot (\bar{t}_O - t_{cтO})}}$$

Б6. Визначення числа Рейнольдса: $Re = \frac{q \cdot L_{II}}{r \cdot \rho \cdot \nu}$.

Б7. Визначення постійних в формулі визначення числа Нуссельта: C_K, n_K, m_K .

Б8. Визначення числа Нуссельта: $Nu = C_K \cdot Re^{n_K} \cdot Pr^{m_K}$.

Б9. Визначення коефіцієнту тепловіддачі, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{K}}$: $\alpha_K = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_3}$.

Вхідні дані:

Теплофізичні характеристики $\lambda, \nu, \rho, r, Pr$

Середні температури середовищ О і В $\bar{t}_O, \bar{t}_B, ^{\circ}\text{C}$ – з БС-к.

Температура стінки зі сторони середовища О $t_{cтO}, ^{\circ}\text{C}$ – з БС-к.

Коефіцієнт теплопередачі $k^{np}, \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ – з БС-к.

Геометричні параметри пластини $d_3, L_{II}, \text{м}$.

Розраховані дані:

Коефіцієнт теплопередачі при конденсації $\alpha_K, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{K}}$.

Підсистема уточненого розрахунку пластинчастого теплообмінного апарату з використанням фрактального підходу

БС-УПрР

Блок-схема уточненого проектного розрахунку пластинчастого теплообмінного апарату

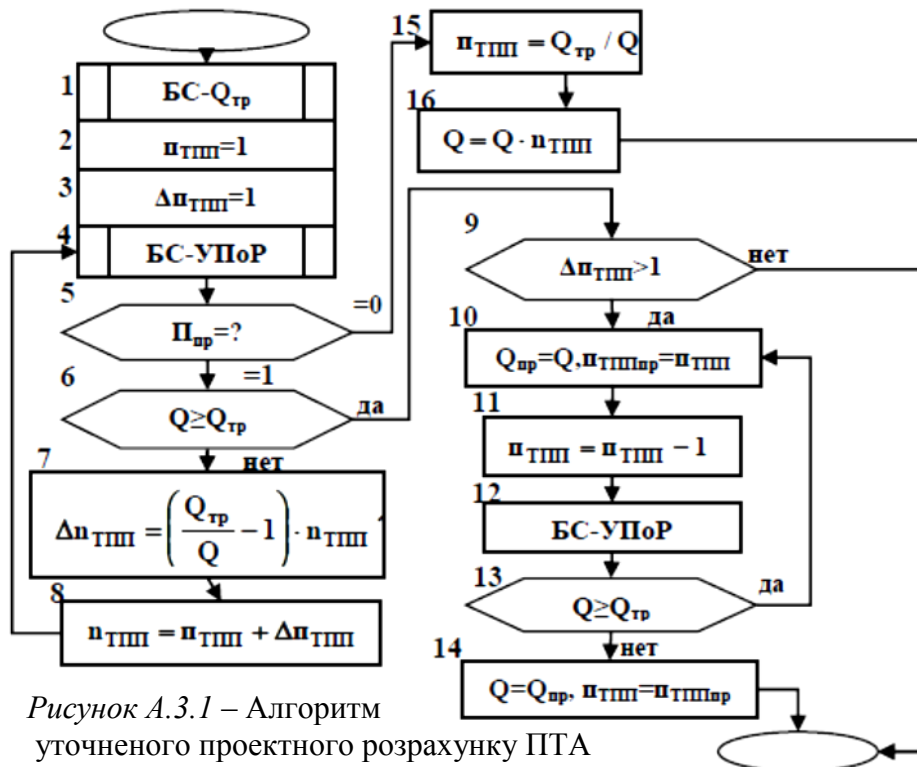


Рисунок А.3.1 – Алгоритм уточненого проектного розрахунку ПТА фрактальним методом. Шифр БС-УПрР

Б1. Блок-схема визначення необхідного теплового навантаження. Шифр БС- $Q_{тр}$.

Б2. Завдання початкової мінімальної кількості ТПП в апараті: $n_{ТШ} = 1$.

Б3. Завдання початкового значення зміни кількості ТПП в апараті між ітераціями: $\Delta n_{ТШ} = 1$.

Б4.Б12. Блок-схема уточненого повірного роз-

рахунку ПТА. Шифр БС-УПоР (стор. 180).

Б5. Перевірка виду фрактального розрахунку (0 – з незмінними умовами теплообміну, 1 – зі зміною умов теплообміну від елемента до елемента).

Б6. Перевірка: отримане в перевірочному розрахунці теплове навантаження більше чи рівне потрібній (умова $Q \geq Q_{тр}$)?

Б7. Розрахунок необхідної додаткової кількості ТПП (з округленням в більшу сторону): $\Delta n_{ТШ} = \lceil (Q_{тр} / Q - 1) \cdot n_{ТШ} \rceil$.

Б8. Розрахунок уточненої кількості ТПП в апараті: $n_{ТШ} = n_{ТШ} + \Delta n_{ТШ}$.

Б9. Перевірка: збільшення кількості ТПП в даній ітерації було більше, ніж на 1: (умова $\Delta n_{ТШ} > 1$)?

Б10. Запис поточних основних результатів розрахунку з відміткою «пр»: (наприклад $Q_{пр} = Q$, $n_{ТШпр} = n_{ТШ}$ і т.д.).

Б11. Зменшення кількості ТПП на 1: $n_{ТШ} = n_{ТШ} - 1$.

Б13. Перевірка: отримане в тепловому розрахунці теплове навантаження більше чи рівне потрібній (умова $Q \geq Q_{тр}$)?

Б14. Зворотнє присвоєння основних результатів розрахунку, отриманих у попередньому розрахунці: $Q = Q_{пр}$, $n_{ТПП} = n_{ТПП_{пр}}$ і т.д.

Б15. Визначення необхідної кількості ТПП в апараті (з округленням в більшу сторону): $n_{ТПП} = \lceil Q_{пр} / Q \rceil$.

Б16. Визначення реальної теплової потужності апарату: $Q = Q \cdot n_{ТПП}$.

Вхідні дані: Теплові та конструктивні параметри ТА для проведення розрахунків.

Розраховані дані: Необхідна поверхня теплопередачі F , реальне теплове навантаження апарату Q та інші результати розрахунку.

БС-УПоР

Блок-схема уточненого перевірного розрахунку пластинчастого теплообмінного апарату

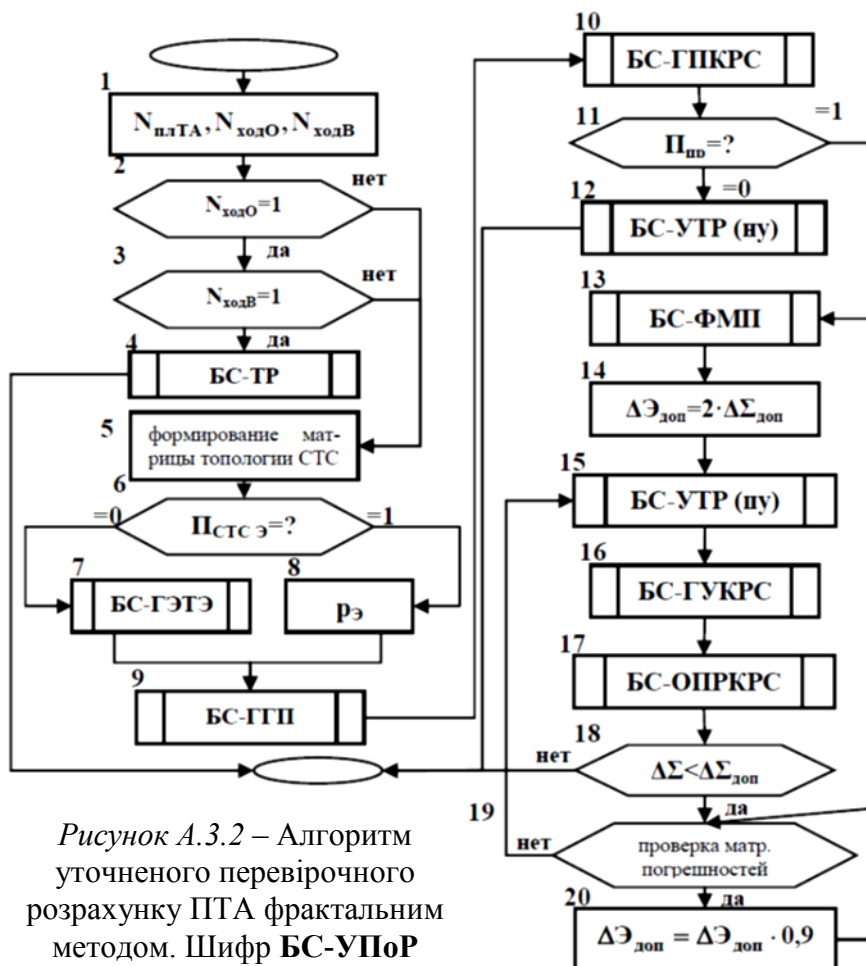


Рисунок А.3.2 – Алгоритм уточненого перевірного розрахунку ПТА фрактальним методом. Шифр БС-УПоР

Б1. Визначення кількості пластин в апараті $N_{плТА}$ і кількості ходів в апараті по середовищам О і В $N_{ходО}$, $N_{ходВ}$

$$N_{плТПП} = 2 \cdot \frac{n_О \cdot n_В}{НОД};$$

$$N_{плТА} = n_{ТПП} \cdot N_{плТПП} + 1,$$

$$N_{ходО} = \frac{n_О}{НОД}, N_{ходВ} = \frac{n_В}{НОД}$$

Б2. Перевірка: апарат одноходовий по середовищам О (умова $N_{ходО} = 1$)?

Б3. Перевірка: апарат одноходовий по середовищам В (умова $N_{ходВ} = 1$)?

Б4. Блок-схема теплового розрахунку стандартним методом. Шифр БС-ТР.

Б5. Формування порожньої матриці топології СТС з кількістю елементів $[N_{плТА} - 2; 5]$.

Б6. Перевірка ознаки схеми течіння середовищ в елементі: $\Pi_{СТСэ} = ?$ (0 – паралельне течіння, 1 – перехресне течіння).

Б7. Блок-схема генерації ефективностей теплообмінних елементів. Шифр БС-ГЭТЭ (стр. 182).

- Б8.** Заповнення всіх елементів матриці топології СТС в частині ефективностей елементів (строка 1) значеннями $p_3 = .$
- Б9.** Блок-схема генерації груп потоків. Шифр БС-ГГП (стр. 185).
- Б10.** Блок-схема генерації попередніх коефіцієнтів розподілення середовищ. Шифр БС-ГПКРС (стр. 187).
- Б11.** Перевірка ознаки проведення фрактального розрахунку: $p_{np} = ?$ (**0** – з незмінними умовами теплообміну, **1** – зі змінними умовами теплообміну).
- Б12.** Блок-схема уточненого фрактального поелементного теплового розрахунку з незмінними умовами теплообміну в елементах. Шифр БС-УТР(ну).
- Б13.** Блок-схема формування матриці похибок розрахунку коефіцієнтів розподілу середовищ. Заповнення всіх її елементів значенням 1. Шифр БС-ФМП.
- Б14.** Визначення значення допустимої поелементної похибки розрахунку:
 $\Delta \Sigma_{доп} = 2 \cdot \Delta \Sigma_{доп}.$
- Б15.** Блок-схема уточненого фрактального поелементного теплового розрахунку зі змінними умовами теплообміну в елементах. Розраховуються тільки ті елементи, у котрих значення похибки в матриці (сформованої в **Б13**) перевищує допустиме значення: $\Delta \Sigma_i > \Delta \Sigma_{доп}.$ Шифр БС-УТР(пу).
- Б16.** Блок-схема генерації уточнених коефіцієнтів розподілу середовищ (КРС). Шифр БС-ГУКРС (стр. 188).
- Б17.** Блок-схема визначення похибки розрахунку КРС. Шифр БС-ОПРКРС (стр. 189).
- Б18.** Перевірка: загальна похибка розрахунку менше допустимої (умова $\Delta \Sigma < \Delta \Sigma_{доп}$)?
- Б19.** Перевірка: всі значення в матриці похибок менше допустимої?
- Б20.** Зменшення допустимої поелементної похибки на 10%: $\Delta \Sigma_{доп} = \Delta \Sigma_{доп} \cdot 0,9.$

Вихідні дані:

Теплові, конструктивні та ін. величини, необхідні для теплового розрахунку.

Конструктивні величини:

$N_{канО}, N_{канВ}$ – кількість каналів по середовищам О і В;

$n_{ТПП}$ – кількість ТПП в апараті.

Ознаки організації розрахунків:

$p_{СТСЭ}$ – ознака схеми течіння середовищ в елементі;

p_{np} – ознака виду розрахунку (з незмінними чи зі змінними умовами теплообміну).

$\Delta \Sigma_{доп}$ – допустима похибка розрахунку загальна.

Розраховані дані:

Теплове навантаження ТА.

В алгоритмі можливо декілька гілок.

Якщо апарат одноходовий по робочим середовищам (так в **Б2** та **Б3**) проводиться звичайний, а не уточнений, фрактальний тепловий розрахунок ТА (**Б4**).

Якщо апарат багатходовий хоча б по одному з середовищ, проводиться уточнений фрактальний розрахунок.

Формується матриця топології СТС (**Б5**).

Після іде перевірка, яка СТС присутня в елементах – перехресне чи паралельне течіння. При паралельному течінні необхідно згенерувати індекс протиточності для кожного елемента: 0 або 1 (**Б7**); при перехресному течінні присутнє упрощення: всі елементи матриці заповнюються значеннями для перехресного течіння.

Далі генеруються групи потоків, і матриця топології СТС заповнюється попередніми значеннями коефіцієнтів розподілення середовищ.

Після алгоритм розбивається на 2 гілки.

Перша – якщо при тепловому розрахунці умови теплообміну вважаються незмінними. Проводиться уточнений тепловий розрахунок при незмінних умовах і розрахунок вважається закінченим.

Друга гілка – якщо умови теплообміну вважаються змінними. В цьому випадку проводиться ітераційний розрахунок, перераховуються КРС, проводиться оцінка похибки і в наступних ітераціях перераховуються лише ті елементи, у котрих похибка перевищує допустиму поелементну. Розрахунок рахується закінченим, коли загальна похибка розрахунку не перевищує допустиму. При цьому можливий випадок, коли загальна похибка вище допустимої загальної, а жодна з поелементних похибок не перевищує допустиму поелементну. Це пов'язано з тим, що поелементна похибка завідомо більша загальної. В цьому випадку необхідно знизити допустиму похибку на 10% і повторити перевірку.

БС-ГЭТЭ

Блок-схема генерации эффективности теплообменных элементов

Б1. Визначення кількості пластин в ТПП і ТА:

$$N_{\text{кан}\Sigma} = N_{\text{плТПП}} = 2 \cdot \frac{n_1 \cdot n_2}{D}, \quad N_{\text{плТА}} = n_{\text{ТПП}} \cdot N_{\text{плТПП}} + 1.$$

Б2. Завдання номеру строки матриці топологій СТС, що підпадає заповненню: **b = 1**.

Б3. Блок-схема формування послідовності груп прямооточних/протиточних елементів в ТПП (**БС-ФПГЭТЭ**, стр. 183) чи считування цієї послідовності з бази даних.

Б4. Визначення індексу протиточності першого елемента послідовності:
 $p_{\text{ЭТ1}} = |П_{\text{П}} - П_{\text{ВС}}|.$

Б5. Присвоєння начального значення лічильнику теплообмінних елементів:
i = 0.

Б6.Присвоєння початкового значення лічильнику теплообмінних об'єктів: $j=1$.

Б7.Присвоєння лічильнику залишку елементів в теплообмінному об'єкті початкового значення, рівного кількості елементів в 1-му об'єкті: $T=T_j$.

Б8.Присвоєння значенню індексу протиточності поточного теплообмінного елементу (ТЕ) початкового значення: $p=p_{ЭТ1}$.

Б9.Збільшення значення лічильника елементів на 1: $i=i+1$.

Б10. Перевірка: матриця заповнена повністю (умова $i>n_{эл}$)? Якщо так – розрахунок рахується закінченим.

Б11. Присвоєння індексу протиточностей i -го елементу матриці значення поточного індексу протиточності: $[i,b]=p$.

Б12. Зменшення лічильника щалишку елементів на 1: $T=T-1$.

Б13. Перевірка: чи закінчились елементи в поточному теплообмінному об'єкті (умова $T=0$)?

Б14. Збільшення лічильника об'єктів на 1: $j=j+1$.

Б15. Присвоєння лічильнику залишка елементів в об'єкті значення кількості елементів в поточному об'єкті: $T=T_j$.

Б16. Зміна індексу протиточності на протилежний: $p=|p-1|$.

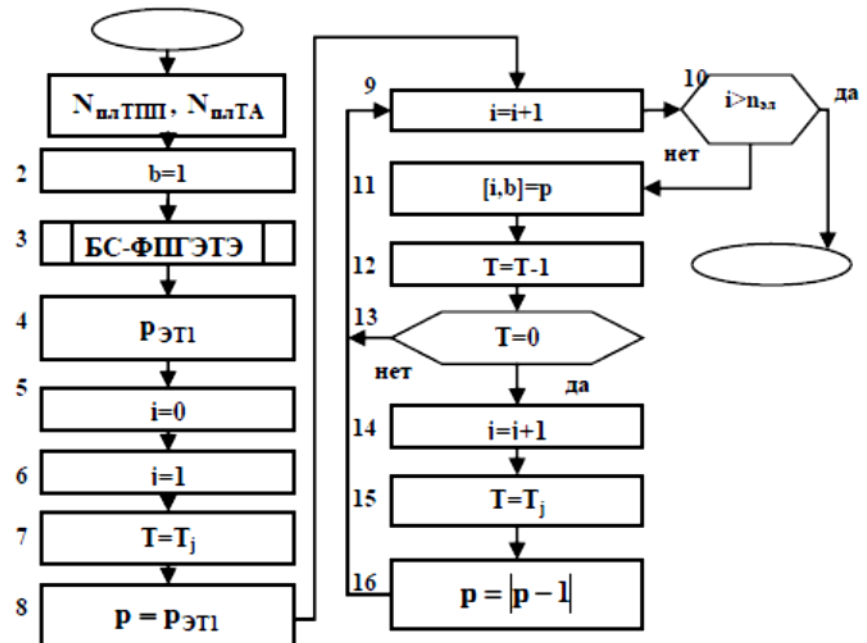


Рисунок А.3.3 –Алгоритм генерації ефективностей теплообмінних елементів. Шифр БС-ГЭТЭ

БС-ФПГЭТЭ

Блок-схема формування послідовності груп прямоточних/протиточних елементів в ТПП

Б1.Введення вихідних даних.

Б2.Блок-схема знаходження найбільшого загального дільника D чисел n_1 і n_2 .

Б3.Перевірка $n_1 \leq n_2$?

Б4, Б5. Присвоєння відповідно мінімального і максимального значень n відповідним величинам n_{min} і n_{max} , присвоєння ознаки варіанта $\Pi=0$ чи 1 .

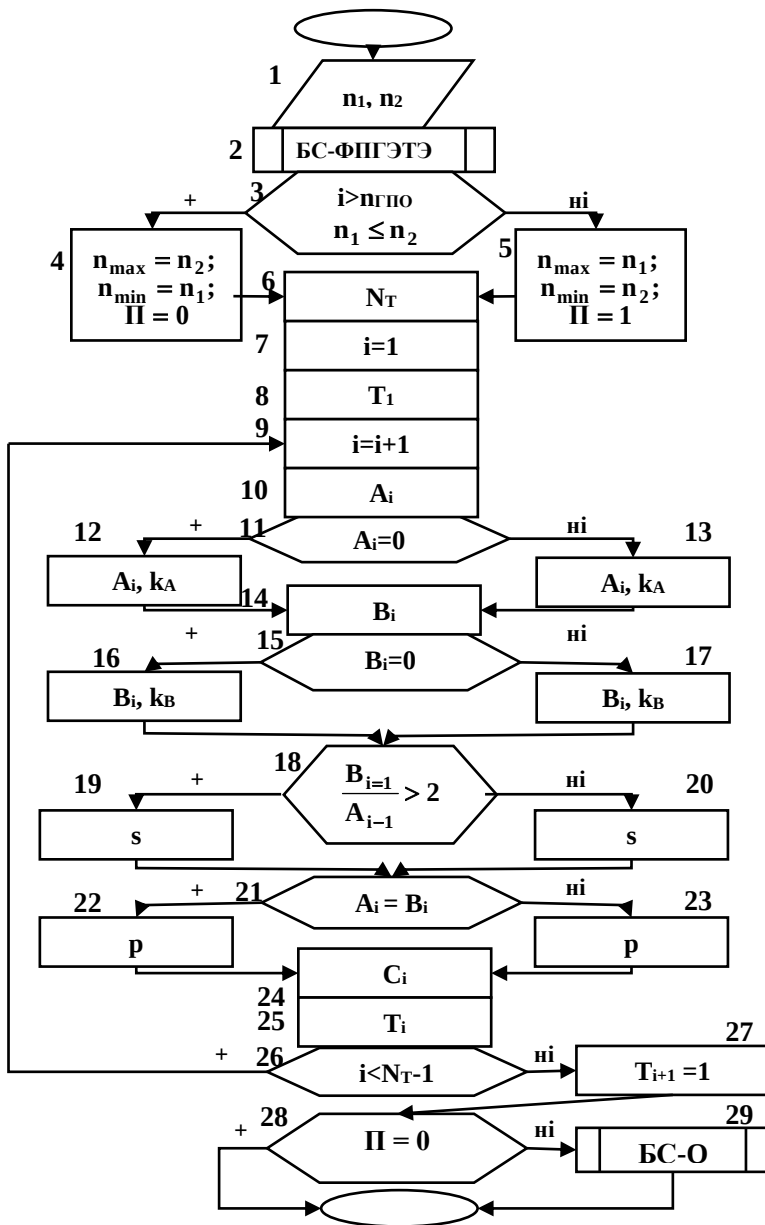


Рисунок А.3.4 – Алгоритм формування послідовності груп прямокутних/протиточних елементів в ТПП. Шифр БС-ФПГЭТЭ

Б6. Визначення кількості елементів послідовності

$$N_T = \frac{n_1 + n_2}{D}$$

Б7. Завдання початкового значення лічильника порядкового номеру Т: $i = 1$.

Б8. Визначення кількості пластин в 1-му елементі T_1 :

$$\begin{aligned} A_1 &= n_{\min}; B_1 = n_{\max}; \\ C_1 &= \min(A_1, B_1); \\ T_1 &= C_1 \cdot 2 - 1 \end{aligned}$$

Б9. Збільшення лічильника: $i = i + 1$.

Б10. $A_i = A_{i-1} - C_{i-1}$.

Б11. Перевірка $A_i = 0$?

Б12. $A_i = n_{\min}; k_A = 1$.

Б13. $A_i = A_i; k_A = 0$.

Б14. $B_i = B_{i-1} - C_{i-1}$.

Б15. Перевірка $B_i = 0$?

Б16. $B_i = n_{\max}; k_B = 1$.

Б17. $B_i = B_i; k_B = 0$.

Б18. Перевірка $\frac{B_{i-1}}{A_{i-1}} > 2$?

Б19. $s = 0$.

Б20. $s = 1$.

Б21. Перевірка $A_i = B_i$?

Б22. $p = 0$.

Б23. $p = 1$.

Б24. $C_i = \min(A_i, B_i)$.

Б25. $T_i = C_i \cdot 2 + (k_A - k_B) \cdot s \cdot p$.

Б26. Перевірка $i < N_T - 1$?

Б27. Присвоєння значення 1 останньому елементу послідовності: $T_{i+1} = 1$.

Б28. Перевірка $\Pi = 0$?

Б29. Блок-схема формування послідовності, зворотної створеній.

Блок-схема генерації груп потоків

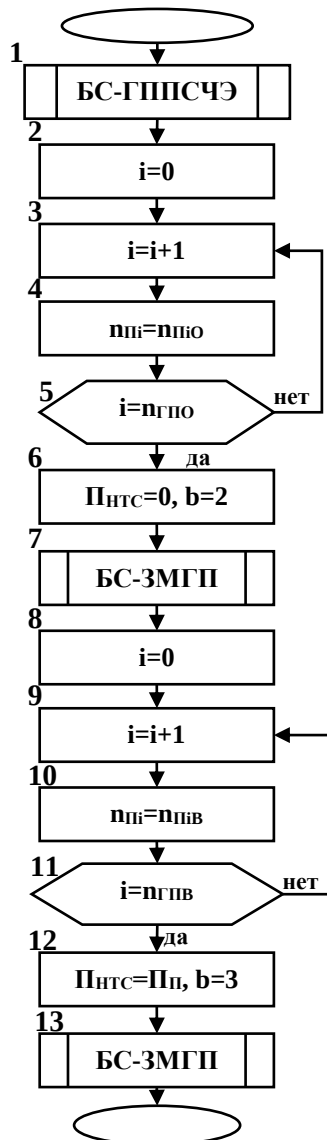


Рисунок А.3.5 –
Алгоритм генерації
груп потоків.
Шифр БС-ГП

Б1. Блок-схема генерації послідовності проходження середовищ через елементи. Шифр БС-ГППСЧЭ (стр. 186).

Б2. Присвоєння початкового значення лічильнику груп потоків: $i = 0$.

Б3. Збільшення лічильника груп потоків на 1: $i = i + 1$.

Б4. Присвоєння i -го значення кількості елементів в групі потоків по середовищу О універсальному для обох середовищ його аналогу (для подальшого використання в універсальній блок-схемі заповнення матриць): $n_{Pi} = n_{PiO}$.

Б5. Перевірка: поточна група потоків по середовищу О остання в ряду (умова $i = n_{PiO}$)?

Б6. Присвоєння значення ознаці напрямку течіння середовища: $P_{HTC} = 0$. Присвоєння значення номеру строки матриці, в котру проводиться запис: при $b = 2$ запис в строку груп елементів по середовищу О.

Б7. Блок-схема заповнення матриці груп потоків (розглядається далі). Шифр БС-ЗМГП (стр. 186).

Б8-Б11. Аналогічно **Б2-Б5** для середовища В.

Б12. Присвоєння ознаки напрямку течіння середовищ значення ознаки протиточності апарата: $P_{HTC} = P_{Pi}$. Присвоєння значення номеру строки матриці, в котру проводиться запис: при $b = 3$ запис в строку груп елементів по середовищу В.

Б13. Блок-схема заповнення матриці груп потоків. Шифр БС-ЗМГП.

Вхідні дані:

n_{PiO}, n_{PiB} – ряди значень (чи одновірні матриці) значень кількості елементів в групах потоків по середовищу О і В відповідно;
 n_{PiO}, n_{PiB} – кількість груп потоків по середовищах О і В відповідно;
 P_{Pi} – ознака протиточності апарату.

Розраховані дані:

Заповнені строки 2 (середовище О) і 3 (середовище В) матриці топології СТС в ПТА.

Блок-схема генерації послідовності проходження середовищ через елементи

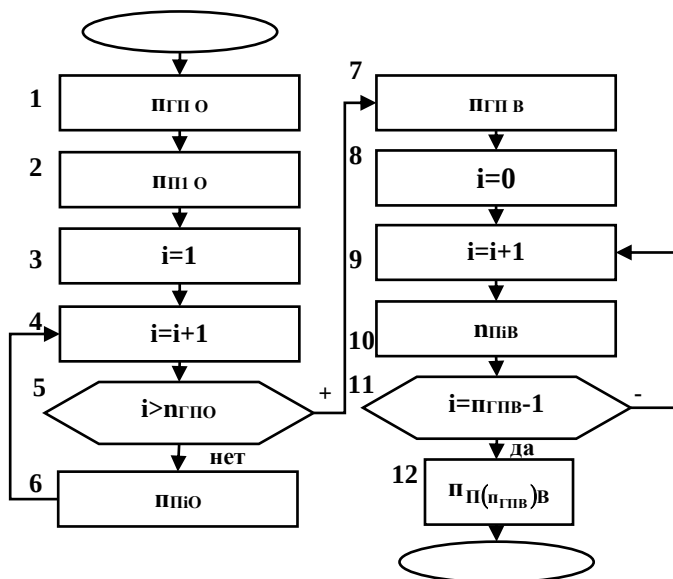


Рисунок А.3.6 – Алгоритм генерації послідовності проходження середовищ через елементи. Шифр БС-ГППСЧЭ

довищу О в наступних групах: $\text{пппо} = 2 \cdot N_{\text{канО}}$.

Б7. Аналогічно **Б1** для середовища В.

Б8. Присвоєння початкового значення лічильнику груп потоків по середовищу В: $i = 0$.

Б9. Аналогічно **Б4**.

Б10. Аналогічно **Б6**.

Б11. Перевірка: $i = \text{пгпв} - 1$?

Б12. Число потоків середовища В в останній групі елементів: $\text{пп}(\text{пгпв})\text{в} = 2 \cdot N_{\text{канВ}} - 1$.

Необхідні вхідні дані для алгоритму:

$N_{\text{канО}}, N_{\text{канВ}}$ – число каналів розбиття середовищ О і В відповідно; птпп – число ТПП в апараті.

БС-ЗМГП

Блок-схема заповнення матриці груп потоків

Б1. Присвоєння початкового значення лічильнику елементів в ТА (а також лічильнику горизонтальних столбців матриці): $j = 0$.

Б2. Присвоєння початкового значення лічильнику груп потоків $i = 0$.

Б1. Число груп потоків по середовищу О:

$$\text{пгпо} = \frac{N_{\text{Т}} \cdot \text{птпп}}{2 \cdot N_{\text{канО}}}.$$

Б2. Число потоків середовища О в першій групі: $\text{пппо} = 2 \cdot N_{\text{канО}} - 1$.

Б3. Присвоєння початкового значення лічильнику груп потоків по середовищу О: $i = 1$.

Б4. Присвоєння лічильнику наступного по порядку значення: $i = i + 1$.

Б5. Перевірка: $i > \text{пгпо}$?

Б6. Число потоків по сере-

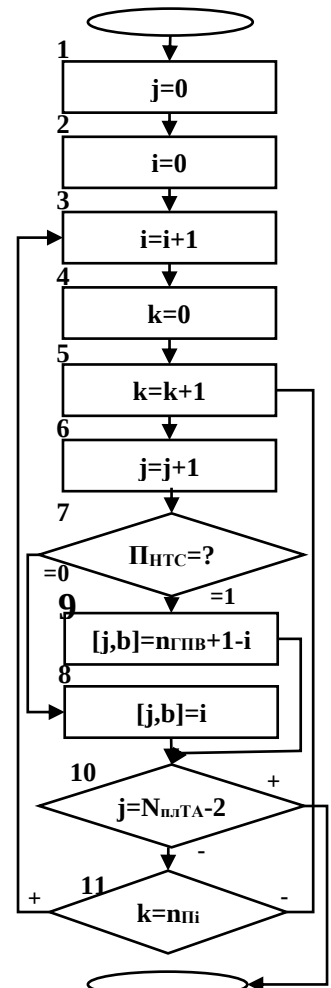


Рисунок А.3.7 – Блок-схема заповнення матриці груп елементів. Шифр БС-ЗМГП

- Б3.**Збільшення лічильника груп потоків на 1: $i = i + 1$.
- Б4.**Присвоєння початкового значення лічильнику кількості елементів в групі потоків: $k = 0$.
- Б5.**Збільшення лічильника k на 1: $k = k + 1$.
- Б6.**Збільшення лічильника елементів на 1: $j = j + 1$.
- Б7.**Перевірка значення ознаки напрямку течіння середовищ: якщо $=0$ – рух зліва направо ($\rightarrow$), якщо $=1$ – справа наліво ($\leftarrow$).
- Б8.**Запис в елемент $[j,b]$ матриці топології СТС значення: $[j,b] = i$.
- Б9.**Запис в елемент $[j,b]$ матриці топології СТС значення i : $[j,b] = n_{гпв} + 1 - i$.
- Б10.** Перевірка: поточний елемент матриці є останнім (умова $j = N_{плТА} - 2$)?

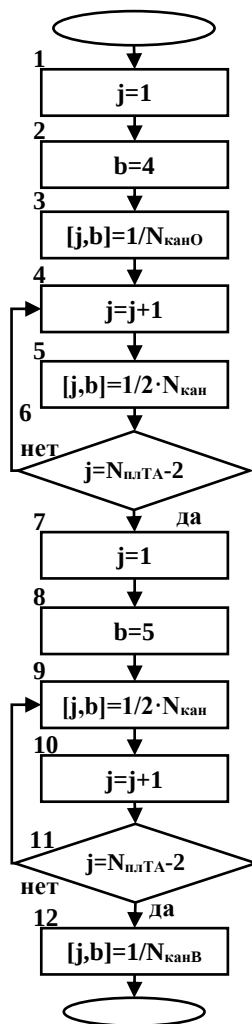


Рисунок А.3.8 –
Алгоритм за-
повнення мат-
риці топології
СТС попередні-
ми кое-фіцієнта-
ми розподілу
середовищ.
Шифр
БС-ГПКРС

- Б11.** Перевірка: поточний елемент матриці є останнім в поточній групі потоків (умова $k = n_{гп}$)?

Вхідні дані:

$n_{гпс}$ – ознака напрямку течіння середовищ;
 $N_{плТА}$ – загальна кількість пластин в апараті;
 $n_{гпв}$ – кількість груп потоків по середовищу В;
 b – номер строки матриці топології СТС в ПТА, що заповнюється;
 $n_{пг}$ – ряд значень (чи одномірна матриця) кількостей елементів в групах потоків для поточного середовища.

Розраховані дані:

Заповнені значення строки b матриці топології СТС.

БС-ГПКРС

Блок-схема заповнення матриці попередніми значеннями коефіцієнтів розподілу середовищ

Заповнення матриці по середовищу О.

- Б1.**Завдання початкового значення лічильнику елементів: $j = 1$.
- Б2.**Завдання строки №4 матриці топології СТС для заповнення: $b = 4$ (середовище О).
- Б3.**Присвоєння першому елементу матриці значення $[j,b] = 1/N_{канО}$.

Б4.Збільшення лічильника елементів на 1: $j = j + 1$.

Б5.Присвоєння наступним елементам матриці значення $[j,b] = 1/2 \cdot N_{канО}$.

Б6.Перевірка: поточний елемент матриці є останнім (умова $j = N_{плТА} - 2$)?

Заповнення матриці по середовищу В.

Б7.Завдання початкового значення лічильнику елементів: $j = 1$.

Б8. Завдання строки №5 матриці топології СТС для заповнення: $b = 5$ (середовище В).

Б9. Присвоєння елементам матриці значень $[j, b] = 1/2 \cdot N_{\text{канВ}}$.

Б10. Збільшення лічильника елементів на 1: $j = j + 1$.

Б11. Перевірка: поточний елемент матриці є останнім (умова $j = N_{\text{плТА}} - 2$)?

Б12. Присвоєння останньому елементу матриці значення $[j, b] = 1/N_{\text{канВ}}$.

Вхідні дані:

$N_{\text{канО}}, N_{\text{канВ}}$ – кількість каналів по середовищу О і В відповідно;

$N_{\text{плТА}}$ – число пластин в апараті.

Розраховані дані:

Заповнені строки 4 і 5 (коефіцієнти розподілу середовищ О і В відповідно) матриці топології СТС.

БС-ГУРКС

Блок-схема заповнення матриці топології СТС уточненими коефіцієнтами розподілу середовищ

Заповнення матриці по середовищу О.

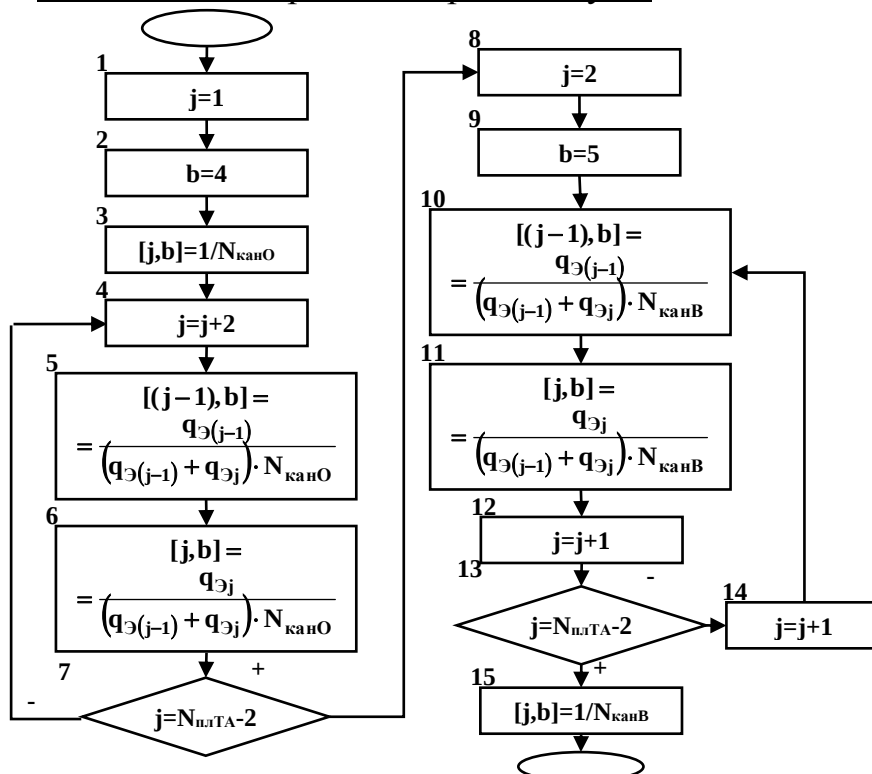


Рисунок А.3.9 – Алгоритм заповнення матриці топології СТС уточненими коефіцієнтами розподілу середовищ. Шифр БС-ГУРКС

Б1. Завдання початкового значення лічильника елементів: $j = 1$.

Б2. Завдання строки №4 матриці топології СТС для заповнення: $b = 4$ (середовище О).

Б3. Присвоєння першому елементу матриці значення $[j, b] = 1/N_{\text{канО}}$

Б4. Збільшення лічильника елементів на 2: $j = j + 2$.

Б5. Присвоєння значення елементу матриці:

$$[(j-1), b] = \frac{q_{Э(j-1)}}{(q_{Э(j-1)} + q_{Эj}) \cdot N_{\text{канО}}}$$

Б6. Присвоєння значення елементу матриці:

$$[j, b] = \frac{q_{Эj}}{(q_{Э(j-1)} + q_{Эj}) \cdot N_{\text{канО}}}$$

Б7. Перевірка: поточний елемент матриці є останнім (умова $j = N_{\text{плТА}} - 2$)?

Заповнення матриці по середовищу В.

Б8. Завдання початкового значення лічильнику елементів: $j = 2$.

Б9. Завдання строки №5 матриці топології СТС для заповнення: $b = 5$ (середовище В).

Б10. Присвоєння значення елементу матриці: $[j-1, b] = \frac{q_{\Delta(j-1)}}{(q_{\Delta(j-1)} + q_{\Delta j}) \cdot N_{\text{канВ}}}.$

Б11. Присвоєння значення елементу матриці: $[j, b] = \frac{q_{\Delta j}}{(q_{\Delta(j-1)} + q_{\Delta j}) \cdot N_{\text{канВ}}}.$

Б12. Збільшення лічильника елементів на 1: $j = j + 1.$

Б13. Перевірка: поточний елемент матриці є останнім (умова $j = N_{\text{плТА}} - 2$)?

Б14. Збільшення лічильника елементів на 1: $j = j + 1.$

Б15. Присвоєння останньому елементу матриці значення $[j, b] = 1/N_{\text{канВ}}.$

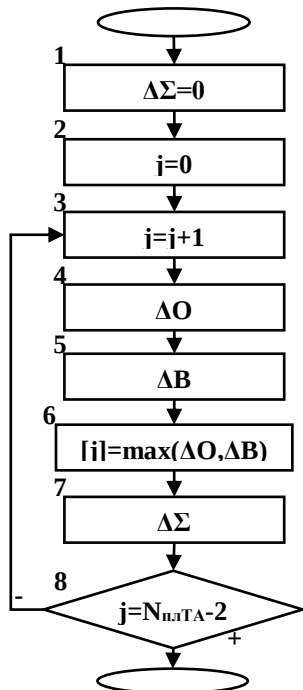
Вхідні дані:

$N_{\text{канО}}, N_{\text{канВ}}$ – кількість каналів по середовищам О і В відповідно; $N_{\text{плТА}}$ – число пластин в апараті; $q_{\Delta j}$ – ряд значень теплових потоків для всіх елементів апарату (результати теплового розрахунку).

Розраховані дані:

Заповнені строки 4 і 5 (коефіцієнти розподілу середовищ О і В відповідно) матриці топології СТС.

БС-ОПРКРС



**Блок-схема визначення похибки розрахунку
коефіцієнтів розподілу середовищ**

Б1. Завдання початкового значення загальної похибки: $\Delta \Sigma = 0$

Б2. Завдання початкового значення лічильника елементів: $j = 0$

Б3. Збільшення лічильника елементів на 1: $j = j + 1.$

Б4. Визначення похибки розрахунку j -го елементу по середовищу О: $\Delta O = \frac{|[j, 4] - [j, 4]_{\text{пр}}|}{[j, 4]_{\text{пр}}}.$

Б5. Визначення похибки розрахунку j -го елементу по середовищу В: $\Delta B = \frac{|[j, 5] - [j, 5]_{\text{пр}}|}{[j, 5]_{\text{пр}}}.$

Б6. Запис в матрицю похибок більшого зі значень похибки для середовищ О чи В: $[j] = \max(\Delta O, \Delta B).$

Б7. Додавання до загальної похибки, вносимої поточним елементом: $\Delta \Sigma = \Delta \Sigma + \left(\frac{\Delta O \cdot [j, 4]}{N_{\text{ходО}}} + \frac{\Delta B \cdot [j, 5]}{N_{\text{ходВ}}} \right) \cdot 0,5.$

Б8. Перевірка: поточний елемент матриці є останнім (умова $j = N_{\text{плТА}} - 2$)?

Рисунок А.3.10 – Алгоритм визначення похибки розрахунку коефіцієнтів розподілу середовищ. Шифр БС-ОПРКРС

Вхідні дані:

Вихідна та переформована матриці топології СТС (строки 4 і 5); $N_{\text{ходО}}, N_{\text{ходВ}}$ – кількість ходів в апараті по середовищам О і В відповідно; $N_{\text{плТА}}$ – кількість пластин в апараті.

Розраховані дані:

Матриця похибок розрахунку коефіцієнтів розподілу середовищ елементів. $\Delta \Sigma$ – загальна похибка розрахунку КРС.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ СПОТО

Система проектування і оптимізації теплообмінного обладнання (СПОТО) – це програмний продукт, призначений для розрахунку і оптимізації пластинчастих теплообмінників. Вона створена на основі розробленого в цьому дисертаційному дослідженні синтезатора засобів розрахунку і оптимізації пластинчастого теплообмінного обладнання.

На рис. Б.1 представлено стартове вікно програми. В цьому вікні можна задати технологічні параметри теплообмінника, що проектується, і його конструкцію, після чого проводиться повний проектний розрахунок одного варіанта теплообмінника по всім заданим параметрам. Результати розрахунку виносяться в зведену таблицю результатів розрахунку (рис. Б.2).

При натисканні на кнопку «Провести оптимізацію» відбувається перехід в вікно завдання параметрів оптимізації (рис. Б.2-Б.5), на різних вкладках якого вказуються параметри теплообмінників, що перебираються:

- а) кількість рядів апаратів по середовищах О і В;
- б) кількість каналів в апараті по середовищах О і В (можливо також завдання перебору до максимально можливого числа каналів в теплообміннику для кожного типу пластин);
- в) типи пластин;
- г) матеріали пластин;
- д) цільовий критерій оптимальності (показник, за яким знаходиться оптимальний варіант);
- е) вихідні дані для проведення оптимізації по режимним параметрам.

При натисканні на кнопку «Провести оптимізацію» програма запускає цикли переборів, які прораховують всі можливі варіанти теплообмінників для заданих вихідних даних (технологічних параметрів) і знаходить найбільш оптимальний по вказаному критерію ефективності. Після завершення переборів найбільш оптимальний варіант заноситься в таблицю результатів розрахунку.



Система проектирования и оптимизации теплообменного оборудования

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Провести оптимизацию

1. Технологические величины

	Теплоноситель О	Теплоноситель В
Процесс теплообмена (наличие фазового перехода):	☒ Наличие фазового перехода ☐ без (охлаждение) ☐ с (конденсация)	☒ Наличие фазового перехода ☐ без (нагрев) ☐ с (испарение)
Вид теплоносителя	Масло МК	Вода
Учитывать термическое сопротивление загрязнений	☒	☒
Загрязнение	Масло машинное и трансформаторное	Вода техническая в котлах
R, кв.м К/Вт	0,00015	0,00023
Начальная температура, °C	65	15
Конечная температура, °C	50	40
Расход, кг/с	100	
Тепловая мощность, кВт		
Располагаемый напор, кПа	10000	10000
КПД теплообменника	1	1
Тепловой эффект реакций в среде, Δq, кДж/кг	0	0

Тип аппарата: нагреватель-охладитель

2. Конструктивные характеристики теплообменника

Общая схема течения в ряду ☐ Прямоток ☒ Противоток	пп	2	Шифр схемы: 01010
	про	2	
	прв	1	
Число параллельных рядов по теплоносителю U ₁ шт	1	3	U _о =U _в или U _о =1 или U _в =1

3. Конструктивные характеристики теплообменного аппарата

Пластинчатый аппарат

Тип пластины	P0,6	
Материал пластины	08-КП	λ= 60 Вт/кв.мК
Количество каналов в аппарате N _{кан} , шт	108	27

Рисунок Б.1 – Стартовое окно программы СПОТО. Завдання параметрів для розрахунку одного варіанта теплообмінника

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ				Результаты теплового расчета теплообменника			
Наименование величин	Размерность	Обозначение	Значение	Фактическое число аппаратов в теплообменнике при учете запаса и округления	шт	n	3
Теплоноситель О	-		Масло МК	Скорость среды О	м/с	wo	0,43
Теплоноситель В	-		Вода	Скорость среды В	м/с	wv	0,14
Термическое сопротивление загрязнений по стороне т/н О	кв.м К/Вт	Ro	0,00015	КТО по среде О	Вт/(кв.мК)	ao	335
Термическое сопротивление загрязнений по стороне т/н В	кв.м К/Вт	Rv	0,00023	КТО по среде В	Вт/(кв.мК)	av	4080
Начальная температура теплоносителя О	°C	ton	65	Коэффициент теплопередачи	Вт/(кв.мК)	k	276
Конечная температура теплоносителя О	°C	tok	50	Теоретическая поверхность теплообмена	кв.м	Ftot	360,3
Начальная температура теплоносителя В	°C	tvn	15	Реальная поверхность теплообмена с учетом запаса и округления	кв.м	Fтозо	388,8
Конечная температура теплоносителя В	°C	tvk	40	Результаты конструктивного расчета теплообменного аппарата			
Расход теплоносителя О	кг/с	Go	100,0	Масса теплообменного аппарата	кг	GA	2167,9
Расход теплоносителя В	кг/с	Gv	27,1	Объем теплообменного аппарата	куб.м	VA	3,9
Тепловая нагрузка теплообменника	кВт	Q	2828,3	Габариты теплообменного аппарата	мм*мм*мм	ГА	2985*730*1770
КПД теплообменника по стороне т/н О	доли.ед.	ηo	1	Результаты гидравлического расчета			
КПД теплообменника по стороне т/н В	доли.ед.	ηv	1	Общее гидравлическое сопротивление по стороне среды О	Па	ΔPo	119581
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА				Общее гидравлическое сопротивление по стороне среды В	Па	ΔPv	7914
Наименование величин	Размерность	Обозначение	Значение	Мощность нагревателя среды О	кВт	No	17,1
Конструктивные характеристики пластинчатого теплообменного аппарата				Мощность нагревателя среды В	кВт	Nv	0,3
Тип пластины	-	ТИПпл	P0,6	Результаты экономического расчета теплообменника			
Материал пластины	-	МАТпл	08-КП	Капитальные вложения в теплообменник	грн	Kто	841 969,20
Количество ходов в аппарате по среде О	шт	NходОТА	1	Цена одного теплообменного аппарата	грн	ЦА	165 092,00
Количество ходов в аппарате по среде В	шт	NходВТА	4	Капитальные вложения в нагреватель т/н О	грн	Kно	94 131,15
Тип рамы	-	ТИПрам	исп. 2	Капитальные вложения в нагреватель т/н В	грн	Knv	1 479,36
Тип прокладок	-	ТИПпрок		Общие капитальные вложения	грн	K	937 579,71
Количество пластин в аппарате	шт	NплΣА	217	Общие годовые затраты на теплоносители	грн/год	Зот	-
Площадь теплопередающей поверхности аппарата	кв.м	FA	129	Общие годовые затраты на энергию для работы нагревателей	грн/год	Звт	94 649,03
Конструктивные характеристики пластинчатого теплообменника				Годовые эксплуатационные расходы на теплообменник	грн/год	Это	178 845,95
Число параллельных рядов аппаратов в теплообменнике по среде О	шт	Uo	1	Годовые эксплуатационные расходы на нагреватели	грн/год	Эн	56 325,23
Число параллельных рядов аппаратов в теплообменнике по среде В	шт	Uv	3	Общие годовые эксплуатационные расходы на теплообменник и нагреватели	грн/год	Э	235 171,18
Схема соединения аппаратов в теплообменнике	-	-	01010	Приведенные затраты	грн/год	З	422 687,12

Рисунок Б.2 – Зводна таблиця результатів проектного розрахунку пластинчастого теплообмінника

Optimization

Параметры ТО и ТА

Типы пластин

Материальное исполнение

Организация переборов

среда О

среда В

Количество рядов аппаратов в теплообменнике:

Uo min= 1 шт

Uo max= 6 шт

Количество каналов в аппарате:

Nкан o min= 1 шт

Nкан o max= 200 шт

Nкан в min= 1 шт

Nкан в max= 200 шт

☒ перебор до максимально возможного числа каналов для каждого типа пластины

Начать оптимизацию

Рисунок Б.3 – Вікно завдання параметрів оптимізації. Вкладка завдання параметрів теплообмінників и теплообмінних апаратів, що перебираються

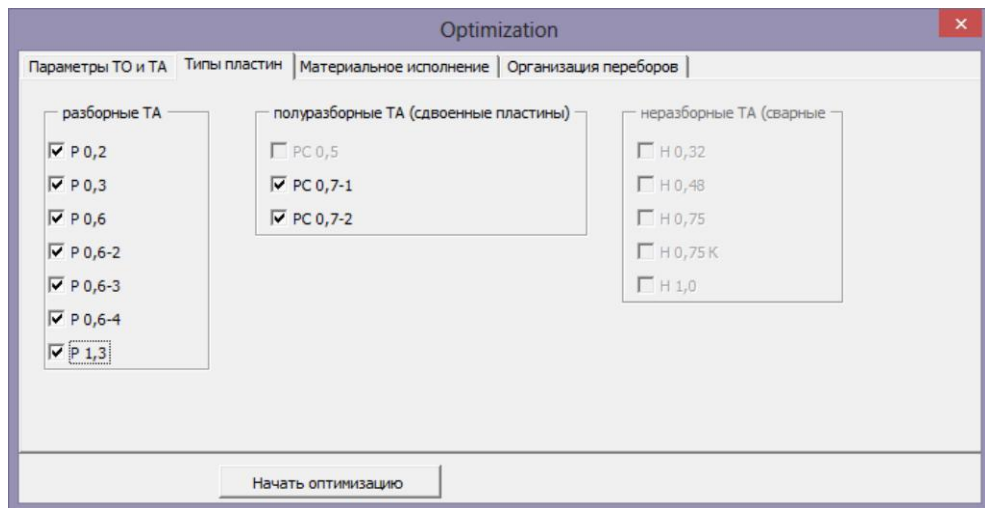


Рисунок Б.4 – Вікно завдання параметрів оптимізації. Вкладка завдання типів пластин, що перебираються

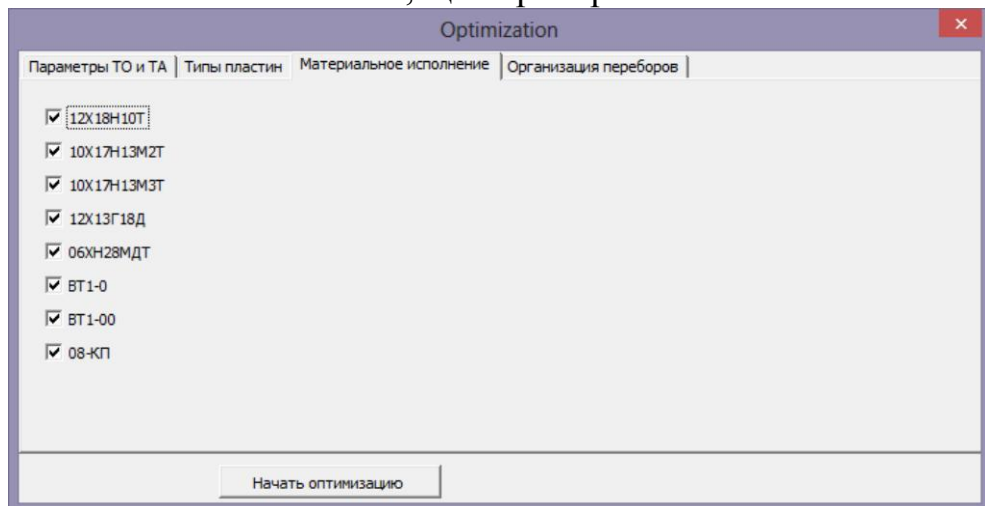


Рисунок Б.5 – Вікно завдання параметрів оптимізації. Вкладка завдання матеріальних виконань апаратів, що перебираються

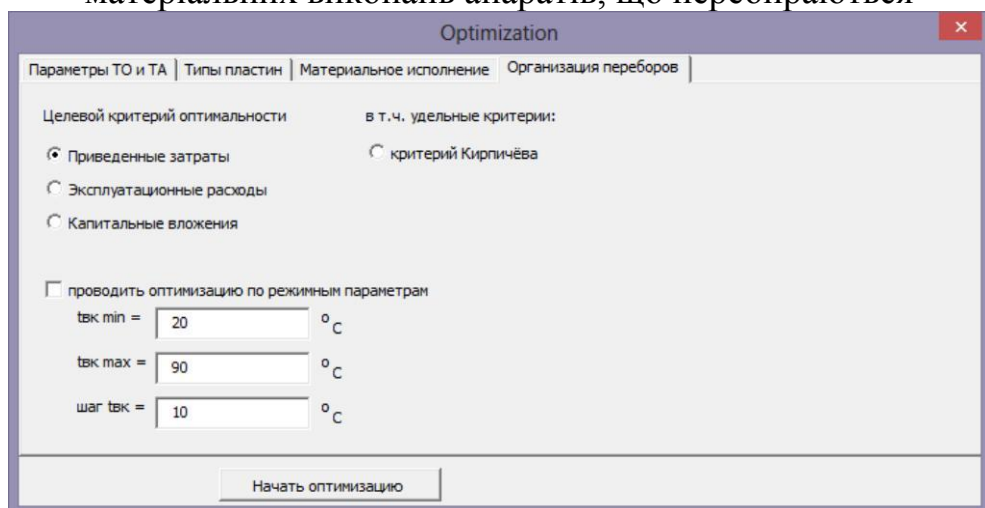


Рисунок Б.6 – Вікно завдання параметрів оптимізації. Вкладка завдання параметрів організації переборів: вибір цільового критерія оптимальності та завдання необхідності проведення оптимізації по режимним параметрам і завдання відповідних параметрів

РОЗРАХУНОК ВАРТОСТЕЙ ЕНЕРГОНОСІЇВ

Розрахунок вартості оборотної води

Прийняте в розрахунку підживлення системи оборотного водопостачання складає 1,5%. Прийнята в розрахунку норма питомої витрати електроенергії на перекачку води системи оборотного водопостачання $300 \text{ кВтгод} / \text{тис.м}^3$. Отже, спрощено можна розрахувати вартість оборотної води як:

$$\begin{aligned} C_{об} &= 0,015 \cdot C_B + 0,3 \cdot C_{ээ} = \\ &= 0,015 \cdot 5,676 + 0,3 \cdot 1,4011 = 0,5055 \text{ грн} / \text{м}^3, \end{aligned} \quad (\text{B.1})$$

де C_B – ціна підживлювальної води з міської системи водопостачання ($C_B = 5,676 \text{ грн} / \text{м}^3$ на квітень 2015 р.);

$C_{ээ}$ – ціна електроенергії ($C_{ээ} = 1,4011 \text{ грн} / \text{кВтгод}$).

Розрахунок вартості теплофікаційної води будинкової системи опалення

Вартість теплофікаційної води розраховуємо як суму витрат на електроенергію для перекачування теплоносія в будинковій мережі і витрати на хімічищену воду для підживлення системи опалення.

Розрахунок проводимо для 9-типоверхового будинку з висотою одного поверху 3 м, 5 під'їздів $\times$ 4 квартири $\times$ 5 радіаторів.

Об'єм домової мережі – $V_{сети} = 0,636 \text{ м}^3$. Витрата теплоносія в будинковій мережі $V_p = 42,4 \text{ м}^3/\text{год}$.

Тривалість опалювального періоду – $\tau_{опон} = 4488 \text{ час}$.

1. Витрати на електроенергію для перекачування.

Втрата тиску:

– в місцевих опорах (9 радіаторів з $\zeta = 1,6$, 18 кранів з $\zeta = 0,5$):

$$\Delta P_M = \sum \zeta \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = (1,6 \cdot 9 + 0,5 \cdot 18) \cdot \frac{1,5^2}{2} \cdot 1000 = 20700 \text{ Па}. \quad (\text{B.2})$$

– на перепад висот:

$$\Delta P_h = \rho \cdot g \cdot h = 1000 \cdot 9,81 \cdot 9 \cdot 3 = 264870 \text{ Па}. \quad (\text{B.3})$$

– лінійні втрати тиску:

$$\Delta P_L = \lambda \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \frac{\rho}{d} \cdot l = 0,0520 \cdot \frac{1,5^2}{2} \cdot \frac{1000}{10 \cdot 10^{-3}} \cdot 9 \cdot 3 = 157998 \text{ Па}, \quad (\text{B.4})$$

де $d = 10 \text{ мм}$ – діаметр труб;

λ – коефіцієнт гідравлічного тертя, визначається в залежності від значень чисел Re и Re_{np} :

$$Re_{np} = \frac{568 \cdot d}{\Delta} = \frac{568 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 11360, \quad (B.5)$$

де $\Delta = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – шорсткість труб;

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{1,5 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{0,39 \cdot 10^{-6}} = 38462. \quad (B.6)$$

При $Re > Re_{np}$

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,25} = 0,0520. \quad (B.7)$$

Сумарні втрати тиску:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_M + \Delta P_h + \Delta P_{\lambda} = 20700 + 264870 + 157998 = 443,6 \text{ кПа}. \quad (B.8)$$

Потужність нагнітача:

$$N = \frac{V_p \cdot \Delta P_{\Sigma}}{\eta} = \frac{42,4 \cdot 443,6}{3600 \cdot 0,8} = 6,5 \text{ кВт}. \quad (B.9)$$

Витрати на електроенергію на перекачку води в будинковій системі:

$$U_{\text{э/э}} = \frac{N}{V_p} \cdot U_{\text{э}} = \frac{6,5}{42,4} \cdot 1,4011 = 0,21479 \text{ грн/м}^3. \quad (B.10)$$

2. Витрати на хімоочищену воду для підживлення системи опалення.

Вартість хімоочищеної води для підживлення теплових мереж $U_{TB} = 6,00 \text{ грн/м}^3$. За нормативами втрати в системі тепlopостачання складають 0,25% від об'єму мережі в годину. Заповнення системи проводиться 2 рази за опалювальний період. Отже, витрати на підживлювальних воду складають:

$$U_{\text{нодн}} = \frac{\left(V_{\text{сету}} \cdot 0,25\% + \frac{2 \cdot V_{\text{сету}}}{\tau_{\text{омон}}} \right)}{V_p} \cdot U_{TB} =$$

$$= \frac{\left(\frac{0,636 \cdot 0,25}{100} + \frac{2 \cdot 0,636}{4488} \right)}{42,4} \cdot 6 = 2,651 \cdot 10^{-4} \text{ грн/м}^3. \quad (B.11)$$

Вартість води в будинковій мережі:

$$U_B = U_{\text{э/э}} + U_{\text{нодн}} = 0,21479 + 2,651 \cdot 10^{-4} = 0,2151 \text{ грн/м}^3. \quad (B.12)$$

ПРОТОКОЛИ ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

Далі наведені 2 протоколи обчислювальних експериментів:

- протокол 1 – протокол оптимізації маслоохолоджувачів;
- протокол 2 – протокол оптимізації теплообмінників системи опалення.

Протоколи містять такі значення.

Опис переборів – незалежні змінні, які перебиралися в процесі оптимізації та їх значення.

$U_{\max}$ – максимальна кількість рядів апаратів по ходу кожного з середовищ. У цій оптимізації $U_{\max} = 6$ шт.

$N_{\text{кан max}}$ – максимальна кількість каналів в апарата по кожному з середовищ. Тут $N_{\text{кан max}} = \max$, що означає, що перебір проводиться до максимальної кількості каналів, які можливо розмістити на найбільшій рамі.

$\text{ТИП}_{\text{пл}}$ – типи пластин, що перебираються. У протоколі оптимізація по кожній пластині записана в окремий рядок.

$\text{МАТ}_{\text{пл}}$ – матеріал пластин. У цьому звіті проводилася оптимізація тільки для матеріалу 08-КП, тому що він є найбільш дешевим і придатним для роботи з обраними середовищами.

Для маслоохолоджувачів проводилася оптимізація режимних параметрів (протокол 1). Перебір кінцевих температур середовища В (оборотної води) проводився в інтервалі від $t_{\text{ВКmin}}$ до $t_{\text{ВКmax}}$ з кроком $\Delta t_{\text{ВК}}$.

Вид критерію оптимальності:

З – приведені витрати;

К – капітальні вкладення.

Оптимальний варіант – характеристики знайденого по заданому критерію оптимальності найкращого варіанту теплообмінника.

$\text{ТИП}_{\text{пл}}$, $\text{МАТ}_{\text{пл}}$ – тип і матеріал пластини оптимального теплообмінника.

U_O , U_B – оптимальна кількість рядів апаратів в теплообміннику по середовищах О і В відповідно.

$N_{\text{кан}O}$, $N_{\text{кан}B}$ – оптимальна кількість каналів в апаратах по середовищах О і В відповідно.

t_{BK} – оптимальна кінцева температура середовища В.

Кр. опт. – значення критерію оптимальності заданого виду (З або К) в точці оптимуму (при зазначених оптимальних конструктивних і режимних параметрах).

Кількість перебраних варіантів – кількість варіантів теплообмінника (реальних і нереальних) прорахованих під час оптимізації.

Кіл. ап. n_A – кількість апаратів в знайденому оптимальному теплообміннику.

Пов. ап. F_A – поверхня знайденого теплообмінного апарату.

Кіл. пласт. $n_{\text{пл}\Sigma}A$ – сумарна кількість пластин в оптимальному теплообмінному апараті.

Наведено протоколи оптимізації маслоохолоджувачів для витрат мастила $G_O=10\div 250$ кг/с; теплообмінників системи опалення для теплових потужностей $Q=100\div 2000$ кВт з різними кроками по критеріям оптимальності З і К.

Наведено протоколи оптимізації маслоохолоджувачів і теплообмінників системи опалення при зміні ціни електроенергії, води і металу (для кожного окремо) в 2, 5, 10 і 30 разів.

Наведено протоколи оптимізації маслоохолоджувачів і теплообмінників системи опалення при введенні коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі, гідравлічним опорам по середовищах О і В (окремо), рівних 0,4; 0,7; 1,3; 1,6.

Таблиця Г.1 – ПРОТОКОЛ ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ 1
пошук оптимальних конструктивних і режимних параметрів маслоохолоджувачів турбін

№ п/п	Витрата мастила	Опис переборів								Оптимальний варіант								Кількість перебраних варіантів	Параметри ТО		
		U _{max}	N _{кан max}	ТИП _{пл}	МАТ _{пл}	Перебір температур			Вид кр. опт	ТИП _{пл}	МАТ _{пл}	U _о	U _В	N _{канО}	N _{канВ}	t _{ВК}	Кр. опт		Кіл. ап. n _А	Пов. ап. F _А	Кіл. пласт. n _{плΣА}
						t _{ВКmin}	t _{ВКmax}	Δt _{ВК}													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	30	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	4	15	2	35	72 382.96	134 064	4	11.8	61
2	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	3	3	30	6	40	67 756.24	39 168	3	17.7	61
3	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	25	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	42	14	35	50 551.91	438 704	1	49.8	85
4	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	55	135 672.48	741 456	1	201.5	157
5	25	1÷6	max	P 0,2	08-КП	25	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	3	49	14	30	162 008.38	153 216	3	39	197
6	25	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	6	6	33	11	35	167 859.82	39 168	6	19.5	67
7	25	1÷6	max	P 0,6	08-КП	25	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	40	10	35	113 127.41	438 704	2	47.4	81
8	25	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	13	40	158 192.32	741 456	1	201.5	157
9	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	6	99	11	30	313 179.18	170 752	6	39.4	199
10	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	55	5	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	17	45	767 426.34	27 136	12	20.1	69
11	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	25	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	91	13	40	215 632.07	438 704	2	108.6	183
12	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	123	41	30	279 764.03	659 072	1	318.5	247
13	75	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	50	5	3	P 0,2	08-КП	1	4	95	19	30	495 932.36	114 352	8	37.8	191
14	75	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	55	5	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	34	30	1 931 012.09	24 704	12	20.1	69
15	75	1÷6	max	P 0,6	08-КП	25	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	120	30	35	314 473.40	438 704	2	143.4	241
16	75	1÷6	max	P 1,3	08-КП	25	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	80	20	35	396 836.73	576 688	2	206.7	161
17	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	55	5	3	P 0,2	08-КП	1	5	99	33	30	677 543.17	147 904	10	39.4	199
18	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	25 488	-	-	-
19	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	108	27	40	423 187.43	527 904	3	129	217
20	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	25	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	105	21	35	510 222.47	576 688	2	271.7	211
21	125	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	50	5	3	P 0,2	08-КП	6	6	24	32	25	1 290 792.41	108 192	12	38.2	193
22	125	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	-	-	-	-	-	-	-	-	23 904	-	-	-
23	125	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	132	22	40	525 018.88	376 032	3	157.8	265
24	125	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	130	26	35	621 472.19	494 304	2	336.7	261
25	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	45	5	3	P 0,2	08-КП	6	1	25	100	20	2 217 658.59	87 840	12	39.8	201
26	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	20 736	-	-	-
27	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	235	47	35	629 485.60	480 816	2	281.4	471
28	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	25	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	154	22	35	746 140.65	576 688	2	399.1	309

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
29	175	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	175	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	175	1÷6	max	P 0,6	08-КП	25	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	185	37	40	743 915.26	410 592	3	221.4	371
32	175	1÷6	max	P 1,3	08-КП	25	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	120	20	40	884 520.76	542 080	3	310.7	241
33	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	20	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	13 424	-	-	-
34	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	25	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	210	35	40	848 508.57	389 536	3	251.4	421
36	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	25	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	140	35	40	999 084.74	542 080	3	362.7	281
37	225	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	225	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	225	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	240	60	40	948 857.40	462 960	3	287.4	481
40	225	1÷6	max	P 1,3	08-КП	25	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	138	46	35	1 119 200.02	542 080	3	357.5	277
41	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	25	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	228	57	35	1 064 491.75	389 536	3	273	457
44	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	25	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	153	51	35	1 234 377.48	542 080	3	396.5	307
45	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	40	5	К	P 0,2	08-КП	1	1	20	25	20	141 056.06	95 760	1	39.8	201
46	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	40	5	К	P 0,3	08-КП	2	2	29	29	20	133 898.47	21 760	2	17.1	59
47	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	50	5	К	P 0,6	08-КП	1	1	31	31	20	99 940.53	438 704	1	36.6	63
48	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	50	5	К	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	55	430 912.83	741 456	1	201.5	157
49	25	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	40	5	К	P 0,2	08-КП	1	3	42	28	20	338 143.28	95 760	3	33.4	169
50	25	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	К	P 0,3	08-КП	5	5	29	29	20	334 746.17	39 168	5	17.1	59
51	25	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	К	P 0,6	08-КП	1	1	29	58	20	204 885.03	564 048	1	69	117
52	25	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	60	5	К	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	35	436 075.09	576 688	1	201.5	157
53	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	К	P 0,2	08-КП	1	4	50	20	20	598 072.70	170 752	4	39.8	201
54	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	40	5	К	P 0,3	08-КП	6	6	34	34	40	1 330 612.24	16 960	12	20.1	69
55	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	50	5	К	P 0,6	08-КП	1	2	58	58	20	367 700.03	438 704	2	69	117
56	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	К	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	20	531 892.91	741 456	1	201.5	157
57	75	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	40	5	К	P 0,2	08-КП	1	4	81	81	20	957 282.08	81 680	8	32.2	163
58	75	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	К	P 0,3	08-КП	6	6	34	34	30	2 705 971.86	27 796	12	20.1	69
59	75	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	К	P 0,6	08-КП	1	2	87	87	20	531 516.59	527 904	2	103.8	175
60	75	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	К	P 1,3	08-КП	1	1	57	114	20	742 708.09	659 072	1	295.1	229

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
61	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	40	5	К	P 0,2	08-КП	1	4	99	33	20	1 292 112.51	77 280	8	39.4	199
62	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	К	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	40	5	К	P 0,6	08-КП	1	2	116	116	20	694 863.35	293 280	2	138.6	233
64	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	40	5	К	P 1,3	08-КП	1	1	76	152	20	959 411.68	387 200	1	393.9	305
65	125	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	К	P 0,2	08-КП	6	6	32	48	20	1 836 777.22	139 104	12	38.2	193
66	125	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	К	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
67	125	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	40	5	К	P 0,6	08-КП	1	3	85	85	20	873 613.27	278 210	3	101.4	171
68	125	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	40	5	К	P 1,3	08-КП	1	2	95	95	20	1 142 862.33	387 200	2	245.7	191
69	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	К	P 0,2	08-КП	6	1	25	100	20	2 786 711.19	131 760	12	39.8	201
70	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	К	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
71	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	40	5	К	P 0,6	08-КП	1	3	99	99	20	1 022 179.61	267 120	3	11.82	199
72	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	30	5	К	P 1,3	08-КП	1	2	114	114	20	1 334 395.88	232 320	2	295.1	229
73	175	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	К	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
74	175	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	К	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75	175	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	К	P 0,6	08-КП	1	3	116	116	20	1 191 590.88	480 816	3	138.6	233
76	175	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	50	5	К	P 1,3	08-КП	1	2	133	133	20	1 531 045.15	73 744	2	344.5	267
77	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	К	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
78	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	К	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
79	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	К	P 0,6	08-КП	1	2	232	232	20	1 404 147.57	51 440	2	277.8	465
80	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	К	P 1,3	08-КП	1	2	152	152	20	1 724 144.73	73 744	2	393.9	305
81	225	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	К	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
82	225	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	К	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
83	225	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	К	P 0,6	08-КП	1	3	170	170	20	1 683 011.95	51 440	3	203.4	341
84	225	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	30	5	К	P 1,3	08-КП	1	3	97	97	20	1 968 243.08	212 976	3	250.9	195
85	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	К	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
86	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	К	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
87	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	20	5	К	P 0,6	08-КП	1	3	170	170	20	1 763 822.76	50 000	3	203.4	341
88	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	20	5	К	P 1,3	08-КП	1	3	108	108	20	2 158 988.74	70 992	3	279.5	217
зі збільшенням ціни електроенергії в 2 рази: ціна електроенергії = 2,8022																					
89	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	5	28	2	35	77 534.25	172 368	5	11	57
90	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	3	3	32	16	40	75 718.11	39 168	3	18.9	65
91	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	42	14	35	51 744.15	-	1	49.8	85
92	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	55	142 059.45	-	1	201.5	157

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
93	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	6	99	11	30	328 352.52	157 828	6	39.4	199
94	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	17	45	1 096 038.96	30 528	12	20.1	69
95	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	91	13	40	230 711.46	564 048	2	108.6	183
96	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	140	35	35	287 719.05	741 456	1	362.7	281
97	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	5	99	33	30	782 984.64	139 104	10	39.4	199
98	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	25 488	-	-	-
99	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	185	37	40	461 579.84	527 904	2	221.4	371
100	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	108	36	35	547 054.25	696 960	2	279.5	217
101	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	6	1	25	100	20	2 890 920.25	157 828	12	39.8	201
102	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
103	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	50	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	243	81	35	681 162.12	293 280	2	291	487
104	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	50	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	154	22	35	816 552.44	411 920	2	399.1	309
105	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
106	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
107	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	50	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	216	54	40	947 833.72	293 280	3	258.6	433
108	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	50	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	213	71	35	1 089 542.84	411 920	2	552.5	427
109	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
110	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
111	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	5	5	205	41	35	1 185 776.88	293 280	5	245.4	410
112	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	50	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	267	89	35	1 340 087.32	387 200	2	692.9	535
зі збільшенням ціни електроенергії в 5 разів: цена електроенергії = 7,0055																					
113	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	5	28	2	35	83 328.56	172 368	5	11	57
114	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	4	4	32	4	50	95 213.38	39 168	4	18.9	65
115	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	42	14	35	55 362.99	564 048	1	49.8	85
116	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	55	137 608.96	741 456	1	201.5	157
117	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	6	99	11	30	373 872.51	172 368	6	39.4	199
118	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	34	45	2 093 486.50	30 528	12	20.1	69
119	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	210	70	35	256 116.08	438 704	1	251.4	421
120	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	141	47	35	308 378.99	576 688	1	365.3	283
121	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	6	1	50	100	25	1 058 465.20	139 104	12	39.8	201
122	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
123	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	55	5	3	P 0,6	08-КП	2	2	210	70	35	512 232.17	376 032	2	251.4	421
124	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	279	93	35	610 937.37	494 304	1	724.1	559

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
125	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	6	1	25	100	20	4 910 705.24	131 760	12	39.8	201
126	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
127	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	55	5	3	P 0,6	08-КП	5	5	126	42	35	763 370.21	376 032	5	150.6	253
128	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	55	5	3	P 1,3	08-КП	3	3	141	47	35	926 202.63	494 304	3	365.3	283
129	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	120 816	-	-	-
130	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
131	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	55	5	3	P 0,6	08-КП	4	4	210	70	35	1 023 621.91	351 936	4	251.4	421
132	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	55	5	3	P 1,3	08-КП	2	2	279	93	35	1 220 884.76	494 304	2	727.1	599
133	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
134	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
135	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	55	5	3	P 0,6	08-КП	5	5	210	70	35	1 279 527.39	351 936	5	251.4	421
136	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	55	5	3	P 1,3	08-КП	2	2	309	103	30	1 534 427.41	387 206	2	609.4	619
зі збільшенням ціни електроенергії в 10 разів: ціна електроенергії = 14,011																					
137	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	2	90	9	30	88 636.85	172 368	2	35.8	181
138	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	4	4	34	34	45	116 009.37	39 168	4	20.1	69
139	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	42	14	35	61 282.07	564 048	1	49.8	85
140	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	55	139 991.40	741 456	1	201.5	157
141	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	6	99	11	30	449 739.17	157 824	6	39.8	201
142	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	17	45	3 724 939.92	30 528	12	20.1	69
143	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	210	70	35	285 711.48	564 048	1	251.4	421
144	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	141	47	35	343 376.74	741 456	1	365.3	283
145	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	6	1	50	100	25	1 414 010.96	167 056	12	39.8	201
146	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
147	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	2	2	210	70	35	571 422.95	527 904	2	251.4	421
148	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	279	93	35	680 496.29	696 960	1	724.1	559
149	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	6	1	25	100	20	8 277 013.56	131 760	12	39.8	201
150	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
151	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	5	5	126	42	35	852 788.21	480 816	5	150.6	253
152	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	3	3	141	47	35	1 030 130.23	696 960	3	365.3	283
153	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
154	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
155	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	4	4	210	70	35	1 142 845.90	462 960	4	251.4	421
156	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	2	2	279	93	35	1 360 992.58	663 696	2	724.1	559

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
157	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
158	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
159	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	5	5	210	70	35	1 428 557.38	450 000	5	251.4	421
160	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	5	5	141	47	35	1 716 883.72	638 928	5	365.3	283
зі збільшенням ціни води в 2 рази: ціна води = 1,011																					
161	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	4	15	2	35	84 207.71	172 368	4	11.8	61
162	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	3	3	33	3	45	76 624.14	39 168	3	19.5	67
163	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	21	6	45	60 217.29	564 048	1	49.8	85
164	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	55	141 591.23	741 456	1	201.5	157
165	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	6	50	4	40	389 237.72	157 824	6	39.8	201
166	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	17	45	806 884.70	-	12	20.1	69
167	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	91	13	40	262 956.59	564 048	2	108.6	183
168	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	60	40	40	328 773.22	659 072	1	310.7	241
169	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	6	96	12	40	779 218.13	139 104	12	38.2	193
170	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
171	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	126	18	45	516 841.76	469 248	3	150.6	253
172	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	120	20	40	611 068.98	619 520	2	310.7	241
173	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	6	1	25	100	20	2 926 042.15	131 760	12	39.8	201
174	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
175	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	4	128	16	45	782 230.86	351 936	4	153	257
176	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	35	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	105	21	40	910 540.89	411 920	3	271.7	211
177	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
178	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
179	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	210	35	40	1 037 806.63	351 936	3	251.4	421
180	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	140	35	40	999 084.74	494 304	3	362.7	281
181	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
182	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
183	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	35	50	5	3	P 0,6	08-КП	1	4	216	36	45	1 313 280.87	234 624	4	258.6	433
184	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	300	50	40	1 500 138.05	542 080	2	778.7	601
зі збільшенням ціни води в 5 разів: ціна води = 2,5275																					
185	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	50	5	3	P 0,2	08-КП	1	2	29	3	45	110 918.46	134 064	2	34.6	175
186	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	3	3	33	3	45	176 852.38	39 168	3	19.5	67
187	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	25	10	50	82 587.14	438 704	1	59.4	101

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
188	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	50	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	50	163 575.23	411 920	1	201.5	157
189	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	6	50	4	40	531 211.27	157 824	6	39.8	201
190	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	17	45	925 259.77	30 528	12	20.1	69
191	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	50	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	63	9	45	385 279.43	313 360	3	75	127
192	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	40	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	66	12	45	448 121.04	329 536	1	341.9	265
193	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	50	5	3	P 0,2	08-КП	1	6	96	12	40	1 063 165.24	108 192	12	38.2	193
194	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
195	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	126	18	45	753 591.89	376 032	3	150.6	253
196	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	144	24	45	867 696.15	494 304	2	373.1	289
197	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	50	5	3	P 0,2	08-КП	6	1	25	100	20	5 051 192.85	102 480	12	39.8	201
198	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
199	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	50	5	3	P 0,6	08-КП	1	5	121	11	50	1 135 544.02	293 280	5	144.6	243
200	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	50	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	126	21	45	1 277 182.53	411 920	3	326.3	253
201	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
202	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
203	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	50	5	3	P 0,6	08-КП	1	4	216	18	50	1 517 460.97	293 280	4	258.6	433
204	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	35	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	4	112	16	45	1 711 755.09	411 920	4	289.9	225
205	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
206	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
207	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	35	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	4	216	36	45	1 905 156.22	293 280	4	258.6	433
208	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	35	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	4	140	20	45	2 113 562.37	411 920	4	362.7	281
зі збільшенням ціни води в 10 разів: ціна води = 5,055																					
209	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	50	5	3	P 0,2	08-КП	1	2	25	4	50	148 881.09	134 064	2	39.8	201
210	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	4	4	30	3	50	135 815.74	39 168	4	17.7	61
211	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	25	10	50	116 408.59	438 704	1	59.4	101
212	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	26	60	184 688.70	576 688	1	201.5	157
213	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	55	5	3	P 0,2	08-КП	1	5	96	6	50	727 442.41	14 288	10	38.2	193
214	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	17	45	1 122 551.55	30 528	12	20.1	69
215	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	121	22	50	558 924.02	438 704	1	289.8	485
216	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	80	16	50	641 253.33	576 688	2	206.7	161
217	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	50	5	3	P 0,2	08-КП	1	6	96	12	40	1 536 410.41	108 192	12	38.2	193
218	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
251	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	4	124	31	35	1 247 107.84	462 960	4	148.2	249
252	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	105	35	30	1 464 800.29	589 952	3	271.7	211
253	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
254	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
255	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	225	45	35	1 555 952.44	450 000	3	269.4	451
256	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	132	44	30	1 815 387.09	567 936	3	341.9	265
зі збільшенням ціни металу в 5 разів																					
257	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	3	10	6	25	180 564.92	172 368	3	11.8	61
258	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	30	50	5	3	P 0,3	08-КП	5	1	14	14	30	187 139.53	21 760	5	8.1	29
259	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	14	4	30	139 553.47	564 048	1	33	57
260	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	50	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	50	543 914.23	576 688	1	201.5	157
261	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	45	5	3	P 0,2	08-КП	1	5	45	6	30	830 808.57	105 216	5	35.8	181
262	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	30	50	5	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	17	45	1 412 670.18	21 760	12	20.1	69
263	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	50	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	40	10	30	587 891.54	313 360	3	47.4	81
264	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	50	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	45	18	30	769 518.36	576 688	1	232.7	181
265	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	55	5	3	P 0,2	08-КП	1	5	91	13	30	1 692 310.33	123 648	10	36.2	183
266	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
267	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	4	63	21	35	1 182 762.12	469 248	4	75	127
268	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	84	42	25	1 463 989.41	619 520	2	217.1	169
269	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	55	5	3	P 0,2	08-КП	6	1	25	100	20	3 521 585.79	117 120	12	39.8	201
270	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
271	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	50	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	120	30	30	1 721 865.19	373 968	3	143.4	241
272	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	80	20	30	2 073 034.54	619 520	3	206.7	161
273	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
274	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
275	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	50	5	3	P 0,6	08-КП	1	4	124	31	35	2 319 919.39	360 080	4	148.2	249
276	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	93	31	25	2 683 003.42	663 696	3	240.5	187
277	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
278	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
279	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	50	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	201	67	30	2 872 061.08	350 000	3	240.6	403
280	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	118	59	25	3 324 010.86	567 936	3	305.5	237

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
зі збільшенням ціни металу в 10 разів																					
281	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	4	11	2	25	302 845.98	131 760	4	8.6	45
282	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	25	50	5	3	P 0,3	08-КП	2	1	32	32	25	307 244.16	26 112	2	18.9	65
283	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	6	12	30	233 179.16	564 048	2	13.8	25
284	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	50	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	50	1 053 159.43	576 688	1	201.5	157
285	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	5	45	6	30	1 442 362.32	157 824	5	35.8	181
286	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	5	5	34	17	40	2 151 560.03	30 528	10	20.1	69
287	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	36	12	25	986 628.09	564 048	3	42.6	73
288	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	42	28	25	1 321 504.15	741 456	1	217.1	169
289	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	5	88	44	25	2 899 388.89	139 104	10	35	177
290	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
291	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	66	66	20	2 051 000.84	527 904	3	78.6	133
292	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	48	72	25	2 522 450.68	696 960	1	373.1	289
293	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	6	1	25	100	20	5 151 494.79	131 760	12	39.8	201
294	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
295	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	108	36	25	2 907 303.63	427 392	3	129	217
296	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	78	13	30	3 607 324.72	619 520	3	201.5	157
297	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
298	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
299	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	50	5	3	P 0,6	08-КП	1	4	120	15	35	4 062 275.22	360 080	4	143.4	241
300	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	93	31	25	4 502 663.02	589 952	3	240.5	187
301	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
302	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
303	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	176	44	25	4 834 581.55	400 000	3	210.6	353
304	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	118	59	25	5 630 210.46	567 936	3	305.5	237
зі збільшенням ціни металу в 30 разів																					
305	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	50	5	3	P 0,2	08-КП	1	1	10	16	20	765 832.96	134 064	1	31.8	161
306	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	50	5	3	P 0,3	08-КП	1	2	22	22	20	736 137.27	30 464	2	12.9	45
307	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	50	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	7	3	25	547 207.92	438 704	1	24.6	43
308	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	55	3 089 294.64	659 072	1	201.5	157
309	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	40	5	3	P 0,2	08-КП	1	4	50	20	20	3 629 314.43	87 680	4	39.8	201
310	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	40	5	3	P 0,3	08-КП	4	4	30	30	25	4 338 773.62	16 960	8	17.7	61

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
311	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	32	16	20	2 442 722.92	564 048	3	37.8	65
312	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	26	78	25	3 375 342.13	741 456	1	201.5	157
313	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	40	5	3	P 0,2	08-КП	1	4	99	33	20	7 275 173.53	77 280	8	39.4	199
314	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
315	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	64	32	20	4 837 242.39	527 904	3	76.2	129
316	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	42	63	20	5 914 052.53	696 960	1	326.3	253
317	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	6	1	25	100	20	11 671 130.79	131 760	12	39.8	201
318	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
319	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	96	48	20	7 232 503.32	493 397	3	114.6	193
320	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	2	2	32	96	20	8 924 573.14	696 960	2	248.3	193
321	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
322	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
323	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	128	64	20	9 635 565.71	462 960	3	153	257
324	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	84	42	20	11 304 918.46	663 696	3	217.1	169
325	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
326	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
327	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	176	44	25	12 439 048.75	450 000	3	210.6	353
328	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	106	53	20	14 208 779.78	638 928	3	274.3	213

зі збільшенням ціни води в 30 разів

[illegible]

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
375	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	55	5	3	P 0,6	08-КП	5	5	250	125	40	1 933 056.41	351 936	5	299.4	501
376	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	50	5	3	P 1,3	08-КП	3	3	276	138	40	2 336 342.90	411 920	3	716.3	553
з введенням коефіцієнту корекції $k_k=0,4$ до коефіцієнту теплопередачі																					
377	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	50	5	3	P 0,2	08-КП	1	3	17	5	25	139 492.58	134 064	3	33.8	171
378	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	50	5	3	P 0,3	08-КП	3	3	32	8	30	134 830.71	30 464	6	18.9	65
379	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	45	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	20	8	30	94 458.72	376 032	2	47.4	81
380	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	6	35	144 798.92	659 072	1	201.5	157
381	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	6	50	20	25	683 283.92	157 824	12	39.8	201
382	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	45	5	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	20 352	-	-	-
383	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	6	56	8	30	398 830.99	564 048	6	66.6	113
384	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	66	12	30	535 137.99	741 456	2	341.9	265
385	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	139 104	-	-	-
386	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	25 488	-	-	-
387	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	6	112	16	30	760 762.17	527 904	6	133.8	225
388	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	5	96	16	30	987 730.24	696 960	5	248.3	193
389	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	131 760	-	-	-
390	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
391	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	6	174	29	30	1 175 787.30	480 816	6	208.2	349
392	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	6	108	12	30	1 400 315.96	696 960	6	279.5	217
393	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
394	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
395	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	6	224	32	30	1 522 859.96	411 520	6	268.2	449
396	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	6	147	21	30	1 815 554.26	589 952	6	380.9	295
397	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
398	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
399	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	6	250	50	25	1 987 581.29	450 000	6	299.4	501
400	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	5	240	48	30	2 382 623.06	638 928	5	622.7	481
з введенням коефіцієнту корекції $k_k=0,7$ до коефіцієнту теплопередачі																					
401	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	55	5	3	P 0,2	08-КП	1	2	32	6	30	91 650.81	153 216	2	38.2	193
402	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	55	5	3	P 0,3	08-КП	4	4	32	4	35	82 918.56	34 816	4	18.9	65
403	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	27	18	35	63 008.28	501 376	1	64.2	109
404	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	13	50	136 540.12	659 072	1	201.5	157

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
405	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	55	5	3	P 0,2	08-КП	1	5	80	16	30	429 574.41	140 288	10	31.8	161
406	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	55	5	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	34	25	847 405.22	27 136	12	20.1	69
407	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	4	52	13	35	273 096.27	501 376	4	61.8	105
408	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	77	22	30	354 862.52	659 072	1	399.1	309
409	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	6	98	49	20	1 083 582.76	139 104	12	39	197
410	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	25 488	-	-	-
411	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	4	104	26	35	522 581.28	469 248	4	124.2	209
412	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	98	14	35	653 673.71	619 520	3	253.5	197
413	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	131 760	-	-	-
414	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	20 736	-	-	-
415	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	5	116	29	35	786 573.93	427 392	5	138.6	233
416	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	147	21	35	938 841.79	619 520	3	380.9	295
417	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	120 816	-	-	-
418	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
419	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	4	205	41	35	1 045 182.01	411 520	4	245.4	411
420	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	4	132	22	35	1 235 171.20	589 952	4	341.9	265
421	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	55	5	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	100 224	-	-	-
422	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
423	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	4	248	31	35	1 307 445.86	400 000	4	297	497
424	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	4	150	50	30	1 550 336.04	567 936	4	388.7	301
з введенням коефіцієнту корекції $k_k=1,3$ до коефіцієнту теплопередачі																					
425	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	3	15	2	35	60 561.57	172 368	3	11.8	61
426	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	2	1	34	34	40	64 017.56	39 168	2	20.1	69
427	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	32	8	40	41 665.03	501 376	1	37.8	65
428	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	55	135 672.48	659 072	1	201.5	157
429	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	5	96	8	35	256 562.04	157 824	5	38.2	193
430	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	34	20	608 235.50	30 528	6	20.1	69
431	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	64	16	40	183 872.21	501 376	2	76.2	129
432	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	96	32	35	228 107.01	659 072	1	248.3	193
433	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	55	5	3	P 0,2	08-КП	1	4	100	20	35	574 512.19	123 648	8	39.8	201
434	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	17	35	3 884 794.85	25 488	12	20.1	69
435	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	125	25	40	356 888.09	469 248	2	149.4	251
436	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	84	21	40	442 819.32	619 520	2	217.1	169

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
437	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	55	5	3	P 0,2	08-КП	6	1	50	100	25	1 042 006.09	117 120	12	39.8	201
438	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
439	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	192	48	40	543 469.24	427 392	2	229.8	385
440	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	125	25	40	638 332.82	619 520	2	323.7	251
441	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	55	5	3	P 0,2	08-КП	6	6	33	11	20	9 955 811.39	107 392	12	39.4	199
442	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
443	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	250	50	40	718 175.87	411 520	2	299.4	501
444	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	148	74	35	846 473.43	589 952	2	383.5	297
445	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
446	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
447	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	6	6	132	22	40	919 211.34	400 000	6	157.8	265
448	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	208	52	40	1 076 168.59	567 936	2	539.5	417
з введенням коефіцієнту корекції $k_k=1,6$ до коефіцієнту теплопередачі																					
449		1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	1	33	9	40	50 705.11	172 368	1	39.4	199
450	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	2	2	33	11	50	61 724.89	39 168	2	19.5	67
451	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	21	7	35	37 333.94	564 048	1	24.6	43
452	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	55	135 672.48	659 072	1	201.5	157
453	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	55	5	3	P 0,2	08-КП	1	4	99	11	35	223 223.54	140 288	4	39.4	199
454	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	17	35	423 746.14	30 528	6	20.1	69
455	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	120	40	40	156 823.19	564 048	1	143.4	241
456	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	80	20	40	199 271.09	741 456	1	206.7	161
457	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	6	100	20	30	456 641.79	139 104	6	39.8	201
458	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	17	45	3 836 875.36	25 488	12	20.1	69
459	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	2	2	120	40	40	313 646.38	527 904	2	143.4	241
460	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	142	71	35	373 813.94	696 960	1	367.9	285
461	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	6	1	49	98	35	816 572.40	131 760	12	39	197
462	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	20 736	-	-	-
463	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	3	3	120	40	40	470 469.58	480 816	3	143.4	241
464	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	236	59	40	561 941.51	696 960	1	612.3	473
465	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	6	1	50	100	25	1 376 445.26	120 816	12	39.8	201
466	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
467	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	4	4	120	40	40	627 292.77	411 520	4	143.4	241
468	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	2	2	142	71	35	747 627.88	589 952	2	367.9	285

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
469	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	112 752	-	-	-
470	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
471	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	5	5	120	40	40	784 115.96	450 000	5	143.4	241
472	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	3	3	132	33	40	936 693.67	638 928	3	341.9	265
з введенням коефіцієнту корекції $k_{ARO}=0,4$ до гідравлічного опору по середовищу О																					
473	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	4	15	2	35	67 244.02	172 368	4	11.8	61
474	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	3	3	27	9	35	59 615.71	39 168	3	15.9	55
475	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	18	4	40	46 672.99	501 376	1	42.6	73
476	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	55	135 208.02	741 456	1	201.5	157
477	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	5	49	14	30	282 978.61	157 824	5	39	197
478	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	17	45	449 685.15	30 528	12	20.1	69
479	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	45	9	35	197 073.18	564 048	3	53.4	91
480	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	54	36	35	250 142.91	659 072	1	279.5	217
481	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	5	96	24	30	575 292.33	139 104	10	38.2	193
482	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	25 488	-	-	-
483	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	93	31	35	374 673.16	469 248	3	111	187
484	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	105	21	35	475 719.39	619 520	2	271.7	211
485	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	6	1	25	100	20	1 746 812.76	131 760	12	39.8	201
486	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	20 736	-	-	-
487	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	4	92	23	35	553 822.28	427 392	4	109.8	185
488	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	93	31	35	684 063.19	696 960	3	240.5	187
489	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	120 816	-	-	-
490	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	18 288	-	-	-
491	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	4	126	42	35	731 918.96	462 960	4	150.6	253
492	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	120	30	35	878 672.20	589 952	3	310.7	241
493	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	112 752	-	-	-
494	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	14 832	-	-	-
495	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	55	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	228	57	35	926 693.43	400 000	3	273	457
496	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	153	51	35	1 081 443.23	567 936	3	396.5	307
з введенням коефіцієнту корекції $k_{ARO}=0,7$ до гідравлічного опору по середовищу О																					
497	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	1	4	15	2	35	69 813.49	-	4	11.8	61
498	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	3	3	30	6	40	63 794.82	39 168	3	17.7	61
499	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	18	4	40	49 240.30	564 048	1	42.6	73

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
500	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	-	-	-	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	55	135 440.25	-	1	201.5	157
501	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	5	49	14	30	304 033.16	157 824	5	39	197
502	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	17	45	608 555.75	-	12	20.1	69
503	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	91	13	40	209 284.34	564 048	2	108.6	183
504	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	60	40	40	266 353.60	741 456	1	310.7	241
505	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	5	96	24	30	626 562.28	13 910	10	38.2	193
506	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
507	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	93	31	35	400 407.82	527 904	3	111	187
508	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	-	-	-	3	P 1,3	08-КП	1	2	105	21	35	492 970.93	-	2	271.7	211
509	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	6	1	25	100	20	1 982 235.67	-	12	39.8	201
510	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
511	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	4	111	37	40	602 661.81	480 816	4	132.6	223
512	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	154	22	35	719 675.22	696 960	2	399.1	309
513	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
514	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
515	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	210	35	40	800 928.55	462 960	3	251.4	421
516	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	120	30	35	940 634.38	663 696	3	310.7	241
517	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
518	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
519	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	-	-	-	3	P 0,6	08-КП	1	3	228	57	35	995 592.59	-	3	273	457
520	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	-	-	-	3	P 1,3	08-КП	1	3	153	51	35	1 157 910.36	-	3	396.5	307
з введенням коефіцієнту корекції kДРО=1,3 до гідравлічного опору по середовищу О																					
521	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	30	50	5	3	P 0,2	08-КП	1	4	15	2	35	74 952.42	95 760	4	11.8	61
522	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	3	3	30	6	40	71 717.67	39 168	3	17.7	61
523	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	-	-	-	3	P 0,6	08-КП	1	1	42	14	35	51 102.04	-	1	49.8	85
524	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	55	135 904.71	741 456	1	201.5	157
525	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	1	6	99	11	30	319 435.85	-	6	39.4	199
526	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	17	45	926 296.94	-	12	20.1	69
527	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	-	-	-	3	P 0,6	08-КП	1	2	91	13	40	221 979.81	-	2	108.6	183
528	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	50	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	123	41	30	283 445.76	411 920	1	318.5	247
529	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	1	5	99	33	30	727 596.51	-	10	39.4	199
530	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
531	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	50	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	108	27	40	445 471.41	313 360	3	129	217
532	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	-	-	-	3	P 1,3	08-КП	1	2	105	21	35	527 474.01	-	2	271.7	211
533	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	6	1	25	100	20	2 453 081.50	-	12	39.8	201
534	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
535	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	-	-	-	3	P 0,6	08-КП	1	2	235	47	35	653 610.10	-	2	281.4	471
536	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	-	-	-	3	P 1,3	08-КП	1	2	154	22	35	772 606.08	-	2	399.1	309
537	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
538	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
539	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	50	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	210	35	40	896 078.58	293 280	3	251.4	421
540	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	50	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	213	71	35	1 049 677.44	411 920	2	552.5	427
541	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
542	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
543	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	50	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	234	78	35	1 133 341.68	293 280	3	280.2	469
544	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	50	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	264	66	35	1 288 971.83	387 200	2	685.1	529
з введенням коефіцієнту корекції k _{аро} =1,6 до гідравлічного опору по середовищу О																					
545	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	5	28	2	35	76 979.31	172 368	5	11	57
546	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	3	3	33	3	45	75 438.16	39 168	3	19.5	67
547	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	42	14	35	51 652.18	564 048	1	49.8	85
548	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	55	136 136.95	741 456	1	201.5	157
549	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	6	99	11	30	325 692.52	157 824	6	39.4	199
550	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	17	45	1 085 167.54	30 528	12	20.1	69
551	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	50	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	91	13	40	228 327.55	313 360	2	108.6	183
552	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	55	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	138	23	35	286 751.17	494 304	1	357.5	277
553	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	5	99	33	30	777 649.85	139 104	10	39.4	199
554	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
555	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	185	37	40	459 182.15	527 904	2	221.4	371
556	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	50	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	105	21	35	544 725.55	411 920	2	271.7	211
557	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	6	1	25	100	20	2 688 504.42	131 760	12	39.8	201
558	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
559	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	50	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	235	47	35	677 734.59	293 280	2	281.4	471
560	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	50	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	154	22	35	799 071.51	411 920	2	399.1	309
561	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
562	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
563	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	50	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	216	54	40	942 703.51	293 280	3	258.6	433
564	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	50	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	213	71	35	1 085 276.36	411 920	2	552.5	427
565	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
566	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
567	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	30	50	5	3	P 0,6	08-КП	5	5	205	41	35	1 178 937.15	293 280	5	245.4	411
568	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	30	50	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	264	66	35	1 334 327.18	387 200	2	685.1	529
з введенням коефіцієнту корекції $K_{APB}=0,4$ до гідравлічного опору по середовищу В																					
569	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	4	15	2	35	71 602.15	172 368	4	11.8	61
570	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	3	3	30	6	40	67 568.64	39 168	3	17.7	61
571	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	40	5	35	49 697.73	564 048	1	47.4	81
572	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	55	135 672.42	741 456	1	201.5	157
573	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	6	96	8	30	308 571.23	157 824	6	38.2	193
574	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	17	45	767 065.78	30 528	12	20.1	69
575	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	91	13	40	213 730.49	564 048	2	108.6	183
576	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	135	15	35	277 422.22	741 456	1	349.7	271
577	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	5	96	24	30	673 264.42	139 104	10	38.2	193
578	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	20	60	5	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	25 488	-	-	-
579	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	105	15	40	420 359.99	527 904	3	125.4	211
580	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	105	21	35	506 353.08	696 960	2	271.7	211
581	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	6	1	25	100	20	2 036 777.42	131 760	12	39.8	201
582	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
583	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	235	47	35	623 991.67	480 816	2	281.4	471
584	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	154	22	35	730 911.89	696 960	2	399.1	309
585	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
586	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
587	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	210	35	40	842 097.11	462 960	3	251.4	421
588	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	138	23	40	994 738.00	663 696	3	357.5	277
589	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
590	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
591	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	228	57	35	1 058 207.01	450 000	3	273	457
592	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	150	30	35	1 231 073.93	638 928	3	388.7	301

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
з введенням коефіцієнту корекції $k_{\Delta P B}=0,7$ до гідравлічного опору по середовищу В																					
593	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	1	4	15	2	35	71 992.55	-	4	11.8	61
594	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	3	3	30	6	40	94 916.79	-	3	17.7	61
595	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	1	40	5	35	50 132.74	564 048	1	47.4	81
596	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	-	-	-	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	55	135 672.45	-	1	201.5	157
597	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	6	96	8	30	311 102.46	157 824	6	38.2	193
598	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	17	45	767 246.06	-	12	20.1	69
599	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	-	-	-	3	P 0,6	08-КП	1	2	91	13	40	214 681.28	-	2	108.6	183
600	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	1	138	23	35	279 198.11	741 456	1	357.5	277
601	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	1	5	96	24	30	675 548.32	139 104	10	38.2	193
602	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
603	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	108	27	40	422 687.12	527 904	3	129	217
604	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	-	-	-	3	P 1,3	08-КП	1	2	105	21	35	508 287.78	-	2	271.7	211
605	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	6	1	25	100	20	2 127 218.01	-	12	39.8	201
606	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
607	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	-	-	-	3	P 0,6	08-КП	1	2	235	47	35	626 738.63	-	2	281.4	471
608	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	-	-	-	3	P 1,3	08-КП	1	2	154	22	35	738 526.27	-	2	399.1	309
609	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
610	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
611	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	-	-	-	3	P 0,6	08-КП	1	3	210	35	40	845 302.84	-	3	251.4	421
612	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	140	35	40	997 963.86	663 696	3	362.7	281
613	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
614	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
615	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	-	-	-	3	P 0,6	08-КП	1	3	228	57	35	1 061 349.38	-	3	273	457
616	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	153	51	35	1 232 875.82	638 928	3	396.5	307
з введенням коефіцієнту корекції $k_{\Delta P B}=1,3$ до гідравлічного опору по середовищу В																					
617	10	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	1	4	15	2	35	72 773.36	-	4	11.8	61
618	10	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	3	3	30	6	40	67 850.05	-	3	17.7	61
619	10	1÷6	max	P 0,6	08-КП	-	-	-	3	P 0,6	08-КП	1	1	42	14	35	50 578.82	-	1	49.8	85
620	10	1÷6	max	P 1,3	08-КП	-	-	-	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	55	135 672.51	-	1	201.5	157
621	50	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	1	6	99	11	30	314 266.52	-	6	39.4	199
622	50	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	6	6	34	17	45	767 606.63	-	12	20.1	69

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
623	50	1÷6	max	P 0,6	08-КП	-	-	-	3	P 0,6	08-КП	1	2	91	13	40	216 582.87	-	2	108.6	183
624	50	1÷6	max	P 1,3	08-КП	-	-	-	3	P 1,3	08-КП	1	1	123	41	30	280 165.42	-	1	318.5	247
625	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	1	5	99	33	30	678 524.26	-	10	39.4	199
626	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
627	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	-	-	-	3	P 0,6	08-КП	1	3	108	27	40	423 687.73	-	3	129	217
628	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	108	36	35	511 919.34	696 960	2	279.5	217
629	150	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	6	1	25	100	20	2 308 099.17	-	12	39.8	201
630	150	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
631	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	243	81	35	632 145.79	480 816	2	291	487
632	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	-	-	-	3	P 1,3	08-КП	1	2	154	22	35	2 801 522.24	-	2	399.1	309
633	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
634	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
635	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	216	54	40	851 009.14	462 960	3	258.6	433
636	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	-	-	-	3	P 1,3	08-КП	1	3	140	35	40	1 000 205.61	-	3	362.7	281
637	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
638	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
639	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	234	78	35	1 067 427.81	450 000	3	280.2	469
640	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	-	-	-	3	P 1,3	08-КП	1	3	153	51	35	1 235 879.15	-	3	396.5	307

з введенням коефіцієнту корекції $k_{\Delta P B}=1,6$ до гідравлічного опору по середовищу В

[illegible]

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
655	150	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	2	243	81	35	632 781.60	480 816	2	291	487
656	150	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	2	154	22	35	738 526.27	696 960	2	399.1	309
657	200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	20	60	5	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	120 816	-	-	-
658	200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
659	200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	216	54	40	852 009.75	462 960	3	258.6	433
660	200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	140	35	40	1 001 326.49	663 696	3	362.7	281
661	250	1÷6	max	P 0,2	08-КП	-	-	-	3	P 0,2	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
662	250	1÷6	max	P 0,3	08-КП	-	-	-	3	P 0,3	08-КП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
663	250	1÷6	max	P 0,6	08-КП	20	60	5	3	P 0,6	08-КП	1	3	234	78	35	1 068 789.04	450 000	3	280.2	460
664	250	1÷6	max	P 1,3	08-КП	20	60	5	3	P 1,3	08-КП	1	3	153	51	35	1 237 380.82	638 928	3	396.5	307

Таблиця Г.2 – ПРОТОКОЛ ПРОВЕДЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ 2
пошук оптимальних конструктивних параметрів теплообмінників системи опалення

№ п/п	Q, кВт	Опис переборів					Оптимальний варіант							Кількість перебраних варіантів	Параметри ТО		
		U _{max}	N _{кан max}	ТИП _{пл}	МАТ _{пл}	Вид кр. опт	ТИП _{пл}	МАТ _{пл}	U _о	U _в	N _{канО}	N _{канВ}	Кр. опт		Кіл. ап. п _А	Пов. ап. F _А	Кіл. пласт. п _{плΣА}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	7	11 431.29	19 152	1	8.2	43
2	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	2	3	5 662.45	4 352	1	3.3	13
3	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	14 824.38	62 672	1	11.4	21
4	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	36 745.05	30 320	1	49.7	73
5	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	12 958.94	4 496	1	11.9	19
6	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	130 162.04	82 384	1	201.5	157
7	300	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	14	23 293.19	19 152	1	16.6	85
8	300	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	3	5	12 767.77	4 352	1	8.7	31
9	300	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	5	10	17 213.18	62 672	1	11.4	21
10	300	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	39 113.50	30 320	1	49.7	73
11	300	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	5	16 083.50	4 496	1	13.3	21
12	300	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	132 527.31	82 384	1	201.5	157
13	500	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	11	29 509.03	19 152	1	21.8	111
14	500	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	6	30	21 228.27	4 352	1	17.7	61

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
15	500	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	3	4	22 190.41	62 672	1	13.8	25
16	500	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	41 496.07	30 320	1	49.7	73
17	500	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	7	21 484.67	4 496	1	18.9	29
18	500	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	134 893.15	82 384	1	201.5	157
19	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	16	39 208.85	19 152	1	31.8	161
20	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	3	4	31 116.31	4 352	3	6.9	25
21	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	9	28 174.37	62 672	1	21	37
22	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	43 896.50	30 320	1	49.7	73
23	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	26 892.01	4 496	1	24.5	37
24	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	137 259.82	82 384	1	201.5	157
25	900	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	17	43 998.84	19 152	1	33.8	171
26	900	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	12	24	37 143.45	4 352	2	14.1	49
27	900	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	7	28	37 618.34	62 672	1	33	57
28	900	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	18	36	46 359.42	30 320	1	49.7	73
29	900	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	11	32 309.70	4 496	1	30.1	45
30	900	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	139 627.56	82 384	1	201.5	157
31	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	8	14	65 824.01	19 152	2	22.2	113
32	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	16	32	47 825.97	4 352	2	18.9	65
33	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	15	43 750.95	62 672	1	35.4	61
34	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	50 305.43	30 320	1	49.7	73
35	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	40 427.95	4 496	1	38.5	57
36	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	143 181.67	82 384	1	201.5	157
37	1500	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	5	16	80 052.33	19 152	2	31.8	161
38	1500	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	6	30	63 684.81	4 352	3	17.7	61
39	1500	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	8	40	53 904.52	62 672	1	47.4	81
40	1500	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	14	42	58 719.71	30 320	1	58.1	85
41	1500	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	11	47 800.19	4 496	1	45.5	67
42	1500	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	146 739.40	82 384	1	201.5	157
43	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	7	13	95 457.54	19 152	2	36.2	183
44	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	14	28	82 939.72	3 808	4	16.5	57
45	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	14	56	71 108.81	62 672	1	66.6	113
46	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	13	52	73 574.79	30 320	1	72.1	105
47	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	64 663.20	4 496	2	27.3	41

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
48	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	152 678.75	82 384	1	201.5	157
49	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	К	P 0,2	08-КП	1	1	3	7	34 145.05	19 152	1	8.2	43
50	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	К	P 0,3	08-КП	1	1	2	3	14 725.35	4 352	1	3.3	13
51	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	К	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	45 471.04	62 672	1	11.4	21
52	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	К	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	118 534.55	30 320	1	49.7	73
53	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	К	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	39 254.72	4 496	1	11.9	19
54	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	К	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	429 931.72	82 384	1	201.5	157
55	300	1÷6	max	P 0,2	08-КП	К	P 0,2	08-КП	1	1	3	14	65 472.22	19 152	1	16.6	85
56	300	1÷6	max	P 0,3	08-КП	К	P 0,3	08-КП	1	1	3	5	27 977.75	4 352	1	8.7	31
57	300	1÷6	max	P 0,6	08-КП	К	P 0,6	08-КП	1	1	5	10	45 501.17	62 672	1	11.4	21
58	300	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	К	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	118 541.43	30 320	1	49.7	73
59	300	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	К	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	5	41 783.06	4 496	1	13.3	21
60	300	1÷6	max	P 1,3	08-КП	К	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	429 932.04	82 384	1	201.5	157
61	500	1÷6	max	P 0,2	08-КП	К	P 0,2	08-КП	1	1	5	11	77 612.18	19 152	1	21.8	111
62	500	1÷6	max	P 0,3	08-КП	К	P 0,3	08-КП	1	1	3	8	46 606.64	4 352	1	14.1	49
63	500	1÷6	max	P 0,6	08-КП	К	P 0,6	08-КП	1	1	3	4	51 778.72	62 672	1	13.8	25
64	500	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	К	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	118 563.67	30 320	1	49.7	73
65	500	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	К	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	7	51 893.82	4 496	1	18.9	29
66	500	1÷6	max	P 1,3	08-КП	К	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	429 933.07	82 384	1	201.5	157
67	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	К	P 0,2	08-КП	1	1	5	16	100 868.76	19 152	1	31.8	161
68	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	К	P 0,3	08-КП	1	1	3	11	64 895.92	4 352	1	19.5	67
69	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	К	P 0,6	08-КП	1	1	6	9	65 266.50	62 672	1	21	37
70	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	К	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	118 608.53	30 320	1	49.7	73
71	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	К	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	62 012.40	4 496	1	24.5	37
72	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	К	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	429 935.16	82 384	1	201.5	157
73	900	1÷6	max	P 0,2	08-КП	К	P 0,2	08-КП	1	1	7	12	106 293.61	19 152	1	33.4	169
74	900	1÷6	max	P 0,3	08-КП	К	P 0,3	08-КП	3	3	3	5	83 933.24	4 352	3	8.7	31
75	900	1÷6	max	P 0,6	08-КП	К	P 0,6	08-КП	1	1	3	7	75 953.85	62 672	1	24.6	43
76	900	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	К	P 0,7-1	08-КП	1	1	18	36	118 732.60	30 320	1	49.7	73
77	900	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	К	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	11	72 144.10	4 496	1	30.1	45
78	900	1÷6	max	P 1,3	08-КП	К	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	429 938.61	82 384	1	201.5	157
79	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	К	P 0,2	08-КП	1	1	8	14	161 969.03	19 152	2	22.2	113
80	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	К	P 0,3	08-КП	1	1	10	30	104 113.56	4 352	2	17.7	61

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
81	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	К	P 0,6	08-КП	1	1	4	14	92 441.80	62 672	1	33	57
82	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	К	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	119 237.56	30 320	1	49.7	73
83	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	К	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	87 331.16	4 496	1	38.5	57
84	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	К	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	429 946.95	82 384	1	201.5	157
85	1500	1÷6	max	P 0,2	08-КП	К	P 0,2	08-КП	1	1	5	12	187 645.37	19 152	2	23.8	121
86	1500	1÷6	max	P 0,3	08-КП	К	P 0,3	08-КП	2	2	3	11	134 492.91	4 352	2	19.5	67
87	1500	1÷6	max	P 0,6	08-КП	К	P 0,6	08-КП	1	1	9	12	112 882.05	62 672	1	42.6	73
88	1500	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	К	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	18	123 091.84	30 320	1	49.7	73
89	1500	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	К	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	11	100 007.02	4 496	1	45.5	67
90	1500	1÷6	max	P 1,3	08-КП	К	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	429 959.86	82 384	1	201.5	157
91	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	К	P 0,2	08-КП	1	1	10	10	223 909.22	19 152	2	31.8	161
92	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	К	P 0,3	08-КП	2	2	6	24	179 943.24	3 808	4	14.1	49
93	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	К	P 0,6	08-КП	1	1	10	25	144 729.88	62 672	1	59.4	101
94	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	К	P 0,7-1	08-КП	1	1	16	24	155 537.45	30 320	1	66.5	97
95	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	К	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	135 083.42	4 496	2	27.3	41
96	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	К	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	429 993.82	82 384	1	201.5	157
зі збільшенням ціни електроенергії в 2 рази: ціна електроенергії = 2,8022																	
97	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	7	11 436.55	19 152	1	8.2	43
98	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	2	3	5 724.79	4 352	1	3.3	13
99	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	14 824.94	-	1	11.4	21
100	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	36 743.22	-	1	49.7	73
101	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	12 958.95	-	1	11.9	19
102	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	130 162.05	-	1	201.5	157
103	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	16	39 879.50	19 152	1	31.8	161
104	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	3	15	32 721.97	4 352	3	8.7	31
105	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	9	28 491.22	62 672	1	21	37
106	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	43 932.85	-	1	49.7	73
107	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	26 902.71	-	1	24.5	37
108	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	137 261.51	-	1	201.5	157
109	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	9	21	68 430.84	19 152	2	25	127
110	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	16	32	49 206.95	4 352	2	18.9	65
111	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	15	44 602.67	62 672	1	35.4	61
112	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	50 649.45	30 320	1	49.7	73

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
113	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	40 466.42	-	1	38.5	57
114	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	143 189.13	-	1	201.5	157
115	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	7	13	99 277.01	19 152	2	36.2	183
116	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	14	28	84 618.25	3 808	4	16.5	57
117	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	25	69 908.26	62 672	1	59.4	101
118	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	13	52	74 810.56	30 320	1	72.1	105
119	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	65 151.14	4 496	2	27.3	41
120	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	152 709.13	-	1	201.5	157
зі збільшенням ціни електроенергії в 5 разів: ціна електроенергії = 7,0055																	
121	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	7	11 452.33	19 152	1	8.2	43
122	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	2	3	5 911.80	4 352	1	3.3	13
123	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	14 826.61	-	1	11.4	21
124	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	36 743.74	-	1	49.7	73
125	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	12 958.99	4 496	1	11.9	19
126	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	130 162.08	-	1	201.5	157
127	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	6	28	40 991.92	19 152	1	33.4	169
128	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	3	15	33 624.25	4 352	3	8.7	31
129	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	9	29 441.76	62 672	1	21	37
130	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	44 041.93	-	1	49.7	73
131	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	26 934.84	-	1	24.5	37
132	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	137 266.59	-	1	201.5	157
133	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	9	21	72 715.39	19 152	2	25	127
134	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	16	32	53 349.86	4 352	2	18.9	65
135	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	15	47 157.84	62 672	1	35.4	61
136	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	51 681.52	30 320	1	49.7	73
137	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	40 581.84	-	1	38.5	57
138	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	143 211.50	-	1	201.5	157
139	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	7	13	110 735.40	19 152	2	36.2	183
140	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	4	4	6	30	88 791.47	3 808	4	17.7	61
141	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	14	56	72 600.94	62 672	1	66.6	113
142	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	13	52	78 517.88	30 320	1	72.1	105
143	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	66 614.99	4 496	2	27.3	41
144	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	152 800.28	-	1	201.5	157

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
зі збільшенням ціни електроенергії в 10 разів: ціна електроенергії = 14,011																	
145	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	7	11 478.62	19 152	1	8.2	43
146	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	2	3	6 223.48	4 352	1	3.3	13
147	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	14 829.40	-	1	11.4	21
148	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	36 744.60	-	1	49.7	73
149	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	12 959.05	4 496	1	11.9	19
150	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	130 162.14	-	1	201.5	157
151	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	9	30	42 353.56	19 152	1	35.8	181
152	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	8	24	34 496.26	4 352	2	14.1	49
153	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	5	20	30 436.90	62 672	1	23.4	41
154	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	44 223.72	-	1	49.7	73
155	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	26 988.39	-	1	24.5	37
156	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	137 275.06	-	1	201.5	157
157	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	16	40	77 428.33	19 152	2	31.8	161
158	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	9	27	57 298.92	4 352	3	15.9	55
159	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	12	36	47 940.08	62 672	1	42.6	73
160	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	19	38	53 363.49	30 320	1	52.5	77
161	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	40 774.20	-	1	38.5	57
162	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	143 248.78	-	1	201.5	157
163	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	3	3	10	16	122 249.90	19 152	3	31.8	161
164	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	4	4	8	32	92 118.66	3 808	4	18.9	65
165	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	14	56	74 466.09	62 672	1	66.6	113
166	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	19	57	82 103.76	30 320	1	79.1	115
167	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	7	68 566.58	4 496	2	28.7	43
168	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	152 952.19	-	1	201.5	157
зі збільшенням ціни води в 2 рази: ціна води = 0,4302																	
169	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	7	12 613.80	19 152	1	8.2	43
170	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	2	3	6 844.96	4 352	1	3.3	13
171	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	16 006.89	-	1	11.4	21
172	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	37 925.56	-	1	49.7	73
173	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	14 141.45	4 496	1	11.9	19
174	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	131 344.55	-	1	201.5	157
175	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	16	47 486.43	19 152	1	31.8	161

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
176	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	3	4	39 393.89	4 352	3	6.9	25
177	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	9	36 451.95	-	1	21	37
178	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	52 174.07	-	1	49.7	73
179	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	35 169.58	-	1	24.5	37
180	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	145 537.40	-	1	201.5	157
181	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	8	14	80 014.15	19 152	2	22.2	113
182	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	10	30	61 872.05	4 352	2	17.7	61
183	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	4	14	57 713.86	62 672	1	33	57
184	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	64 495.56	-	1	49.7	73
185	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	54 618.09	-	1	38.5	57
186	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	157 371.81	-	1	201.5	157
187	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	7	13	125 269.93	19 152	2	36.2	183
188	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	14	28	106 589.94	-	4	16.5	57
189	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	25	92 138.95	62 672	1	59.4	101
190	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	16	24	96 933.94	30 320	1	66.5	97
191	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	88 313.42	-	2	27.3	41
192	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	176 328.97	-	1	201.5	157
зі збільшенням ціни води в 5 разів: ціна води = 1,0755																	
193	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	7	16 161.33	19 152	1	8.2	43
194	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	2	3	10 392.50	-	1	3.3	13
195	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	19 554.42	-	1	11.4	21
196	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	41 473.09	-	1	49.7	73
197	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	17 688.98	-	1	11.9	19
198	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	134 892.08	-	1	201.5	157
199	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	16	72 319.16	19 152	1	31.8	161
200	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	3	4	64 226.62	4 352	3	6.9	25
201	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	9	61 284.68	-	1	21	37
202	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	77 006.81	-	1	49.7	73
203	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	60 002.32	4 496	1	24.5	37
204	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	170 370.13	-	1	201.5	157
205	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	8	14	122 584.54	19 152	2	22.2	113
206	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	10	30	104 442.45	4 352	2	17.7	61
207	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	4	14	100 284.26	62 672	1	33	57

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
208	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	107 065.96	-	1	49.7	73
209	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	97 188.48	-	1	38.5	57
210	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	199 942.21	-	1	201.5	157
211	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	7	13	190 058.43	19 152	2	36.2	183
212	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	14	28	177 540.61	-	4	16.5	57
213	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	25	163 089.61	62 672	1	59.4	101
214	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	16	24	167 884.60	30 320	1	66.5	97
215	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	159 264.08	-	2	27.3	41
216	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	247 279.64	-	1	201.5	157
зі збільшенням ціни води в 10 разів: ціна води = 2,151																	
217	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	7	22 073.89	19 152	1	8.2	43
218	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	2	3	16 305.05	-	1	3.3	13
219	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	25 466.98	-	1	11.4	21
220	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	47 385.65	-	1	49.7	73
221	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	23 601.54	-	1	11.9	19
222	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	140 804.64	-	1	201.5	157
223	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	16	113 707.05	19 152	1	31.8	161
224	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	3	4	105 614.51	4 352	3	6.9	25
225	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	9	102 672.57	-	1	21	37
226	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	118 394.69	-	1	49.7	73
227	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	101 390.20	-	1	24.5	37
228	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	211 758.02	-	1	201.5	157
229	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	8	14	195 535.21	19 152	2	22.2	113
230	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	10	30	175 393.12	4 352	2	17.7	61
231	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	4	14	171 234.93	62 672	1	33	57
232	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	178 016.62	-	1	49.7	73
233	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	168 139.15	-	1	38.5	57
234	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	270 892.87	-	1	201.5	157
235	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	7	13	308 309.54	19 152	2	36.2	183
236	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	14	28	295 791.72	-	4	16.5	57
237	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	25	281 340.72	62 672	1	59.4	101
238	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	16	24	286 135.71	30 320	1	66.5	97
239	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	277 515.19	-	2	27.3	41

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
240	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	365 530.75	-	1	201.5	157
зі збільшенням ціни металу в 2 рази																	
241	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	7	17 242.74	19 152	1	8.2	43
242	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	2	3	8 195.11	4 352	1	3.3	13
243	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	22 364.22	62 672	1	11.4	21
244	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	64 963.39	30 320	1	49.7	73
245	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	20 158.61	4 496	1	11.9	19
246	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	232 011.08	82 384	1	201.5	157
247	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	16	60 968.00	19 152	1	31.8	161
248	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	3	4	45 727.81	4 352	3	6.9	25
249	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	9	41 458.85	62 672	1	21	37
250	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	72 116.84	30 320	1	49.7	73
251	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	40 912.42	4 496	1	24.5	37
252	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	239 108.86	82 384	1	201.5	157
253	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	8	14	96 367.91	19 152	2	22.2	113
254	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	10	30	71 449.96	4 352	2	17.7	61
255	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	4	14	63 989.01	62 672	1	33	57
256	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	78 525.77	30 320	1	49.7	73
257	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	62 026.96	4 496	1	38.5	57
258	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	245 030.71	82 384	1	201.5	157
259	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	7	13	144 922.44	19 152	2	36.2	183
260	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	6	24	121 745.57	3 808	4	14.1	49
261	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	9	15	101 210.35	62 672	1	53.4	91
262	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	16	24	110 781.97	30 320	1	66.5	97
263	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	95 735.46	4 496	2	27.3	41
264	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	254 527.79	82 384	1	201.5	157
зі збільшенням ціни металу в 5 разів																	
265	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	7	34 677.09	19 152	1	8.2	43
266	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	2	3	15 793.09	4 352	1	3.3	13
267	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	44 983.74	62 672	1	11.4	21
268	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	149 624.41	30 320	1	49.7	73
269	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	41 757.62	4 496	1	11.9	19
270	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	537 558.20	82 384	1	201.5	157

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
271	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	16	126 245.45	19 152	1	31.8	161
272	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	3	11	85 460.96	4 352	1	19.5	67
273	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	9	81 312.29	62 672	1	21	37
274	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	156 777.86	30 320	1	49.7	73
275	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	82 973.65	4 496	1	24.5	37
276	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	544 655.98	82 384	1	201.5	157
277	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	4	13	183 528.70	19 152	2	20.6	105
278	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	10	30	142 754.08	4 352	2	17.7	61
279	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	4	14	125 384.85	62 672	1	33	57
280	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	163 186.79	30 320	1	49.7	73
281	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	126 823.99	4 496	1	38.5	57
282	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	550 577.83	92 384	1	201.5	157
283	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	10	16	277 081.92	19 152	2	31.8	161
284	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	3	10	234 170.05	3 808	3	17.7	61
285	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	9	15	199 228.27	62 672	1	53.4	91
286	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	6	21	210 350.38	30 320	1	58.1	85
287	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	188 952.24	4 496	2	27.3	41
288	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	560 074.91	82 384	1	201.5	157
зі збільшенням ціни металу в 10 разів																	
289	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	1	9	60 760.13	19 152	2	3.4	19
290	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	2	3	28 456.39	4 352	1	3.3	13
291	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	82 682.94	62 672	1	11.4	21
292	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	290 726.11	30 320	1	49.7	73
293	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	77 755.97	4 496	1	11.9	19
294	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	1 046 803.40	82 384	1	201.5	157
295	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	16	235 041.20	19 152	1	31.8	161
296	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	3	11	150 725.66	4 352	1	19.5	67
297	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	9	147 734.69	62 672	1	21	37
298	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	297 879.56	30 320	1	49.7	73
299	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	153 075.70	4 496	1	24.5	37
300	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	1 053 901.18	82 384	1	201.5	157
301	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	4	13	325 436.20	19 152	2	20.6	105
302	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	4	7	256 035.74	4 352	2	16.5	57

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
303	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	4	14	227 711.25	62 672	1	33	57
304	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	304 288.49	30 320	1	49.7	73
305	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	234 819.04	4 496	1	38.5	57
306	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	1 059 823.03	82 384	1	201.5	157
307	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	10	16	494 673.42	19 152	2	31.8	161
308	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	3	10	412 430.35	3 808	3	17.7	61
309	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	4	22	362 046.55	62 672	1	52.2	89
310	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	6	21	374 646.88	30 320	1	58.1	85
311	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	344 313.54	4 496	2	27.3	41
312	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	1 069 320.11	82 384	1	201.5	157
зі збільшенням ціни електроенергії в 30 разів: ціна електроенергії = 42,033																	
313	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	7	11 583.82	19 152	1	8.2	43
314	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	4	8	6 545.76	4 352	1	4.5	17
315	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	14 840.55	62 672	1	11.4	21
316	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	36 748.05	30 320	1	49.7	73
317	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	12 959.28	4 496	1	11.9	19
318	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	130 162.35	82 384	1	201.5	157
319	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	9	30	45 224.86	19 152	1	35.8	181
320	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	8	24	36 069.61	4 352	2	14.1	49
321	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	7	21	31 928.70	62 672	1	24.6	43
322	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	44 950.88	30 320	1	49.7	73
323	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	27 202.57	4 496	1	24.5	37
324	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	137 308.93	82 384	1	201.5	157
325	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	12	21	82 862.63	19 152	2	33.4	169
326	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	9	27	60 769.31	4 352	3	15.9	55
327	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	19	38	50 170.17	62 672	1	45	77
328	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	19	38	57 258.17	30 320	1	52.5	77
329	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	41 543.64	4 496	1	38.5	57
330	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	143 397.92	82 384	1	201.5	157
331	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	3	3	9	30	132 836.54	19 152	3	35.8	181
332	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	5	5	9	27	101 282.19	3 808	5	15.9	55
333	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	20	60	79 411.51	62 672	1	71.4	121
334	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	31	62	89 625.33	30 320	1	86.1	125

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
335	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	2	2	3	8	71 203.61	4 496	2	32.9	49
336	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	153 559.85	82 384	1	201.5	157
зі збільшенням ціни води в 30 разів: ціна води = 6,453																	
337	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	7	45 724.11	19 152	1	8.2	43
338	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	2	3	39 955.27	4 352	1	3.3	13
339	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	49 117.20	62 672	1	11.4	21
340	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	71 035.87	30 320	1	49.7	73
341	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	47 251.76	4 496	1	11.9	19
342	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	164 454.86	82 384	1	201.5	157
343	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	16	279 258.61	19 152	1	31.8	161
344	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	3	4	271 166.06	4 352	3	6.9	25
345	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	9	268 224.13	62 672	1	21	37
346	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	283 946.25	30 320	1	49.7	73
347	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	266 941.76	4 496	1	24.5	37
348	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	377 309.57	82 384	1	201.5	157
349	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	8	14	477 337.87	19 152	2	22.2	113
350	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	10	30	459 195.78	4 352	2	17.7	61
351	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	4	14	455 037.59	62 672	1	33	57
352	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	461 819.29	30 320	1	49.7	73
353	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	451 941.81	4 496	1	38.5	57
354	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	554 695.53	82 384	1	201.5	157
355	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	7	13	781 313.98	19 152	2	36.2	183
356	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	14	28	768 796.16	3 808	4	16.5	57
357	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	25	754 345.16	62 672	1	59.4	101
358	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	16	24	759 140.15	30 320	1	66.5	97
359	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	750 519.63	4 496	2	27.3	41
360	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	838 535.19	82 384	1	201.5	157
зі збільшенням ціни металу в 30 разів																	
361	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	1	9	163 474.13	19 152	2	3.4	19
362	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	2	3	79 109.59	4 352	1	3.3	13
363	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	233 479.74	62 672	1	11.4	21
364	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	855 132.91	30 320	1	49.7	73
365	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	221 749.37	4 496	1	11.9	19

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
366	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	3 083 784.20	82 384	1	201.5	157
367	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	16	670 224.20	19 152	1	31.8	161
368	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	3	11	411 784.46	4 352	1	19.5	67
369	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	1	17	402 117.51	62 672	1	19.8	35
370	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	862 286.36	30 320	1	49.7	73
371	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	433 483.90	4 496	1	24.5	37
372	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	3 090 881.98	82 384	1	201.5	157
373	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	17	882 604.69	19 152	2	20.2	103
374	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	4	7	700 225.34	4 352	2	16.5	57
375	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	3	4	591 624.31	62 672	2	13.8	25
376	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	868 695.29	30 320	1	49.7	73
377	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	666 799.24	4 496	1	38.5	57
378	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	3 096 803.83	82 384	1	201.5	157
379	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	10	16	1 365 039.42	19 152	2	31.8	161
380	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	3	10	1 125 471.55	3 808	3	17.7	61
381	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	3	14	973 883.67	62 672	1	49.8	85
382	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	8	10	1 011 958.37	30 320	1	55.3	81
383	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	965 758.74	4 496	2	27.3	41
384	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	3 106 300.91	82 384	1	201.5	157
з введенням коефіцієнта корекції $k_k=0,4$ до коефіцієнту теплопередачі																	
385	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	12	25 631.47	19 152	1	23.8	121
386	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	1	9	12 616.66	4 352	2	5.1	19
387	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	2	5	14 833.60	62 672	1	11.4	21
388	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	18	36	36 743.14	30 320	1	49.7	73
389	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	7	16 748.30	4 496	1	18.9	29
390	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	130 162.04	82 384	1	201.5	157
391	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	18	75 550.69	19 152	2	35.8	181
392	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	6	8	61 873.19	4 352	4	14.1	49
393	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	4	11	47 732.28	62 672	1	52.2	89
394	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	3	14	53 082.74	30 320	1	58.1	85
395	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	8	54 591.19	4 496	2	32.9	49
396	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	137 259.82	82 384	1	201.5	157
397	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	5	16	136 419.83	19 152	4	31.8	16

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
398	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	3	8	101 631.57	4 352	6	14.1	49
399	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	4	18	84 703.40	62 672	2	42.6	73
400	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	5	13	85 652.71	30 320	1	90.3	131
401	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	5	7	77 290.78	4 496	2	48.3	71
402	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	143 185.73	82 384	1	201.5	157
403	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	3	3	8	11	223 666.55	19 152	6	35	177
404	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	5	5	3	8	169 385.95	3 808	10	14.1	49
405	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	24	122 328.03	62 672	1	143.4	241
406	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	9	39	133 532.40	30 320	1	163.1	235
407	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	2	2	3	10	134 543.11	4 496	4	41.3	61
408	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	16	40	155 752.32	82 384	1	206.7	161
з введенням коефіцієнта корекції $k_k=0,7$ до коефіцієнту теплопередачі																	
409	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	4	7	13 323.79	19 152	1	11	57
410	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	2	5	7 181.84	4 352	1	5.7	21
411	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	14 824.38	62 672	1	11.4	21
412	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	36 743.05	30 320	1	49.7	73
413	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	1	9	12 959.15	4 496	1	11.9	19
414	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	130 162.04	82 384	1	201.5	157
415	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	4	13	55 394.71	19 152	2	20.6	105
416	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	4	14	37 626.47	4 352	2	16.5	57
417	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	4	14	35 614.79	62 672	1	33	57
418	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	43 963.90	30 320	1	49.7	73
419	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	34 367.43	4 496	1	38.5	57
420	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	137 259.82	82 384	1	201.5	157
421	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	6	28	80 565.77	19 152	2	33.4	169
422	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	4	7	63 349.71	4 352	3	16.5	57
423	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	14	53 143.69	62 672	1	49.8	85
424	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	6	21	58 086.35	30 320	1	58.1	85
425	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	54 609.09	4 496	2	27.3	41
426	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	143 181.67	82 384	1	201.5	157
427	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	7	9	144 308.44	19 152	4	25	127
428	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	5	5	4	7	105 582.85	3 808	5	16.5	57
429	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	22	85 492.86	62 672	1	78.6	133

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
430	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	14	35	89 196.42	30 320	1	97.3	141
431	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	10	79 460.42	4 496	2	41.3	61
432	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	152 678.75	82 384	1	201.5	157
з введенням коефіцієнта корекції $k_k=1,3$ до коефіцієнту теплопередачі																	
433	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	4	8 656.91	19 152	1	4.6	25
434	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	3	6	5 579.72	4 352	1	3.3	13
435	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	14 824.38	62 672	1	11.4	21
436	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	36 743.05	30 320	1	49.7	73
437	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	9	9	12 958.93	4 496	1	11.9	19
438	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	130 162.04	82 384	1	201.5	157
439	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	4	13	31 836.15	19 152	1	20.6	105
440	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	6	30	24 188.75	4 352	1	17.7	61
441	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	5	15	25 709.44	62 672	1	17.4	31
442	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	43 896.50	30 320	1	49.7	73
443	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	7	23 859.45	4 496	1	18.9	29
444	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	137 259.82	-	1	201.5	157
445	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	8	22	47 934.39	19 152	1	35	177
446	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	8	12	41 817.39	4 352	2	14.1	49
447	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	14	28	41 124.90	62 672	1	33	57
448	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	50 008.65	30 320	1	49.7	73
449	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	7	35 120.09	4 496	1	28.7	43
450	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	143 181.67	-	1	201.5	157
451	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	9	21	84 387.61	19 152	2	25	127
452	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	10	30	69 372.75	3 808	3	17.7	61
453	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	12	18	58 871.78	62 672	1	42.6	73
454	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	9	36	63 004.91	30 320	1	49.7	73
455	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	11	53 830.28	4 496	1	45.5	67
456	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	152 678.75	82 384	1	201.5	157
з введенням коефіцієнта корекції $k_k=1,6$ до коефіцієнту теплопередачі																	
457	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	2	5	8 111.69	19 152	1	3.8	21
458	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	6	6	5 575.22	4 352	1	3.3	13
459	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	14 824.38	62 672	1	11.4	21
460	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	36 743.05	30 320	1	49.7	73

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
461	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	9	9	12 958.93	4 496	1	11.9	19
462	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	-	-	-	-	-	82 384	-	-	-
463	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	14	29 579.99	19 152	1	16.6	85
464	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	8	24	21 398.73	4 352	1	14.1	49
465	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	2	10	23 030.60	62 672	1	11.4	21
466	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	43 896.50	-	1	49.7	73
467	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	5	20 829.33	4 496	1	13.3	21
468	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	137 259.82	82 384	1	201.5	157
469	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	12	43 907.29	19 152	1	23.8	121
470	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	11	22	38 311.97	4 352	2	12.9	45
471	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	20	35 343.89	62 672	1	23.4	41
472	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	50 008.65	30 320	1	49.7	73
473	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	32 863.35	4 496	1	24.5	37
474	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	143 181.67	82 384	1	201.5	157
475	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	4	13	75 026.50	19 152	2	20.6	105
476	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	8	32	57 948.35	3 808	2	18.9	65
477	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	30	54 754.16	62 672	1	35.4	61
478	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	18	36	60 617.66	30 320	1	49.7	73
479	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	13	48 700.00	4 496	1	35.7	53
480	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	152 678.75	82 384	1	201.5	157
з введенням коефіцієнта корекції $K_{\text{ДРО}}=0,4$ до гідравлічного опору по середовищу О																	
481	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	7	11 429.29	19 152	1	8.2	43
482	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	1	6	5 617.80	4 352	1	3.3	13
483	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	14 824.35	62 672	1	11.4	21
484	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	36 743.04	30 320	1	49.7	73
485	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	12 958.93	4 496	1	11.9	19
486	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	130 162.04	-	1	201.5	157
487	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	16	38 815.97	19 152	1	31.8	161
488	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	3	11	29 572.12	4 352	1	19.5	67
489	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	3	18	27 947.40	62 672	1	21	37
490	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	43 894.42	30 320	1	49.7	73
491	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	26 883.75	4 496	1	24.5	37
492	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	137 259.72	-	1	201.5	157

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
493	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	8	14	65 159.05	19 152	2	22.2	113
494	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	10	30	46 608.04	4 352	2	17.7	61
495	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	4	14	42 497.26	62 672	1	33	57
496	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	50 118.24	30 320	1	49.7	73
497	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	40 419.55	4 496	1	38.5	57
498	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	143 181.25	-	1	201.5	157
499	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	7	13	94 512.66	19 152	2	36.2	183
500	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	6	24	79 320.42	3 808	4	14.1	49
501	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	9	15	67 814.98	62 672	1	53.4	91
502	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	8	48	71 154.57	30 320	1	66.5	97
503	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	64 614.26	4 496	2	27.3	41
504	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	152 677.02	-	1	201.5	157
з введенням коефіцієнта корекції $k_{\text{дпо}}=0,7$ до гідравлічного опору по середовищу О																	
505	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	7	11 430.29	-	1	8.2	43
506	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	1	6	5 650.32	4 352	1	3.3	13
507	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	14 824.36	-	1	11.4	21
508	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	36 743.04	-	1	49.7	73
509	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	12 958.94	4 496	1	11.9	19
510	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	130 162.04	-	1	201.5	157
511	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	16	39 012.41	-	1	31.8	161
512	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	3	4	31 018.55	4 352	3	6.9	25
513	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	3	18	28 112.71	62 672	1	21	37
514	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	43 895.46	-	1	49.7	73
515	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	26 887.88	4 496	1	24.5	37
516	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	137 259.77	-	1	201.5	157
517	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	8	14	65 491.53	-	2	22.2	113
518	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	10	30	47 144.98	4 352	2	17.7	61
519	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	4	14	43 010.50	62 672	1	33	57
520	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	50 211.83	-	1	49.7	73
521	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	40 423.75	4 496	1	38.5	57
522	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	143 181.46	-	1	201.5	157
523	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	7	13	94 985.10	-	2	36.2	183
524	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	6	24	81 440.64	3 808	4	14.1	49

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
525	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	9	15	68 176.35	62 672	1	53.4	91
526	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	10	50	72 632.50	30 320	1	69.3	101
527	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	64 638.73	4 496	2	27.3	41
528	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	152 677.88	-	1	201.5	157
з введенням коефіцієнта корекції $K_{ARO}=1,3$ до гідравлічного опору по середовищу О																	
529	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	7	11 432.28	-	1	8.2	43
530	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	2	3	5 667.29	4 352	1	3.3	13
531	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	14 824.40	-	1	11.4	21
532	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	36 743.05	-	1	49.7	73
533	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	12 958.94	4 496	1	11.9	19
534	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	130 162.04	-	1	201.5	157
535	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	16	39 405.30	-	1	31.8	161
536	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	3	4	31 214.08	4 352	3	6.9	25
537	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	9	28 198.95	62 672	1	21	37
538	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	43 897.53	-	1	49.7	73
539	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	26 896.13	4 496	1	24.5	37
540	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	137 259.87	-	1	201.5	157
541	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	8	14	66 156.49	-	2	22.2	113
542	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	16	32	47 983.24	4 352	2	18.9	65
543	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	15	43 931.26	62 672	1	35.4	61
544	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	50 399.02	-	1	49.7	73
545	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	40 432.16	4 496	1	38.5	57
546	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	143 181.89	-	1	201.5	157
547	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	7	13	95 929.98	-	2	36.2	183
548	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	14	28	83 180.37	3 808	4	16.5	57
549	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	25	68 789.25	62 672	1	59.4	101
550	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	16	24	73 514.22	30 320	1	66.5	97
551	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	64 687.66	4 496	2	27.3	41
552	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	152 679.62	-	1	201.5	157
з введенням коефіцієнта корекції $K_{ARO}=1,6$ до гідравлічного опору по середовищу О																	
553	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	7	11 433.28	19 152	1	8.2	43
554	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	2	3	5 672.12	4 352	1	3.3	13
555	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	14 824.41	62 672	1	11.4	21

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
556	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	36 743.06	30 320	1	49.7	73
557	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	12 958.95	4 496	1	11.9	19
558	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	130 162.04	-	1	201.5	157
559	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	16	39 601.74	19 152	1	31.8	161
560	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	3	4	31 311.84	4 352	3	6.9	25
561	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	9	28 223.52	62 672	1	21	37
562	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	43 898.57	30 320	1	49.7	73
563	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	26 900.26	4 496	1	24.5	37
564	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	137 259.92	-	1	201.5	157
565	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	8	14	66 488.97	19 152	2	22.2	113
566	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	16	32	48 140.50	4 352	2	18.9	65
567	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	15	44 111.57	62 672	1	35.4	61
568	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	50 492.61	30 320	1	49.7	73
569	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	40 436.36	4 496	1	38.5	57
570	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	143 182.10	-	1	201.5	157
571	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	7	13	96 402.42	19 152	2	36.2	183
572	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	14	28	83 421.03	3 808	4	16.5	57
573	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	25	69 089.77	62 672	1	59.4	101
574	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	16	24	73 744.73	30 320	1	66.5	97
575	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	64 712.13	4 496	2	27.3	41
576	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	152 680.48	-	1	201.5	157
з введенням коефіцієнта корекції $k_{\Delta P B}=0,4$ до гідравлічного опору по середовищу В																	
577	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	7	11 428.19	19 152	1	8.2	43
578	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	2	3	5 611.78	4 352	1	3.3	13
579	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	14 823.87	62 672	1	11.4	21
580	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	36 742.89	30 320	1	49.7	73
581	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	12 958.94	4 496	1	11.9	19
582	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	130 162.03	-	1	201.5	157
583	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	16	38 952.54	19 152	1	31.8	161
584	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	3	4	29 699.58	4 352	3	6.9	25
585	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	9	27 916.81	62 672	1	21	37
586	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	43 863.37	30 320	1	49.7	73
587	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	26 889.90	4 496	1	24.5	37

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
588	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	137 258.28	-	1	201.5	157
589	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	8	14	63 543.14	19 152	2	22.2	113
590	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	10	30	46 570.29	4 352	2	17.7	61
591	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	4	14	43 000.35	62 672	1	33	57
592	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	50 159.59	30 320	1	49.7	73
593	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	40 399.12	4 496	1	38.5	57
594	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	143 174.88	-	1	201.5	157
595	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	7	13	92 705.13	19 152	2	36.2	183
596	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	14	28	81 796.19	3 808	4	16.5	57
597	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	9	15	65 702.68	62 672	1	53.4	91
598	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	16	24	70 867.54	30 320	1	66.5	97
599	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	64 239.79	4 496	2	27.3	41
600	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	152 651.07	-	1	201.5	157
з введенням коефіцієнта корекції $K_{\Delta P B}=0,7$ до гідравлічного опору по середовищу В																	
601	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	7	11 429.74	19 152	1	8.2	43
602	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	2	3	5 637.12	4 352	1	3.3	13
603	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	14 824.77	-	1	11.4	21
604	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	36 742.97	30 320	1	49.7	73
605	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	12 958.94	4 496	1	11.9	19
606	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	130 162.03	-	1	201.5	157
607	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	16	39 080.70	19 152	1	31.8	161
608	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	3	4	30 407.94	4 352	3	6.9	25
609	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	6	9	28 045.59	62 672	1	21	37
610	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	43 879.93	-	1	49.7	73
611	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	26 890.95	4 496	1	24.5	37
612	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	137 259.05	-	1	201.5	157
613	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	8	14	64 683.58	19 152	2	22.2	113
614	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	10	30	47 126.10	4 352	2	17.7	61
615	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	4	14	27 935.53	-	1	33	57
616	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	50 232.51	-	1	49.7	73
617	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	40 413.53	4 496	1	38.5	57
618	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	143 178.28	-	1	201.5	157
619	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	7	13	94 081.34	19 152	2	36.2	183

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
620	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	14	28	82 367.96	3 808	4	16.5	57
621	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	9	15	67 120.20	62 672	1	53.4	91
622	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	16	24	72 075.63	30 320	1	66.5	97
623	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	64 451.49	4 496	2	27.3	41
624	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	152 664.91	-	1	201.5	157
з введенням коефіцієнта корекції $K_{\Delta P B}=1,3$ до гідравлічного опору по середовищу В																	
625	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	7	11 432.84	-	1	8.2	43
626	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	1	6	5 686.61	4 352	1	3.3	13
627	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	14 824.63	-	1	11.4	21
628	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	36 743.13	-	1	49.7	73
629	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	12 958.94	4 496	1	11.9	19
630	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	130 162.04	-	1	201.5	157
631	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	16	39 337.01	19 152	1	31.8	161
632	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	3	4	31 824.68	4 352	3	6.9	25
633	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	3	18	28 297.15	62 672	1	21	37
634	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	43 913.06	30 320	1	49.7	73
635	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	26 893.06	4 496	1	24.5	37
636	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	137 260.59	-	1	201.5	157
637	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	8	14	66 964.45	19 152	2	22.2	113
638	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	10	30	48 237.73	4 352	2	17.7	61
639	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	4	14	27 936.10	-	1	33	57
640	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	50 378.34	-	1	49.7	73
641	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	40 442.37	4 496	1	38.5	57
642	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	143 185.07	-	1	201.5	157
643	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	7	13	96 833.75	19 152	2	36.2	183
644	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	14	28	83 511.49	3 808	4	16.5	57
645	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	25	68 875.27	62 672	1	59.4	101
646	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	10	50	73 674.17	30 320	1	69.3	101
647	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	64 874.90	4 496	2	27.3	41
648	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	152 692.59	-	1	201.5	157
з введенням коефіцієнта корекції $K_{\Delta P B}=1,6$ до гідравлічного опору по середовищу В																	
649	100	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	3	7	11 434.39	19 152	1	8.2	43
650	100	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	1	6	5 690.37	4 352	1	3.3	13

Продовження табл. Г.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
651	100	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	10	14 824.89	62 672	1	11.4	21
652	100	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	36 743.21	30 320	1	49.7	73
653	100	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	3	9	12 958.95	4 496	1	11.9	19
654	100	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	39	78	130 162.05	-	1	201.5	157
655	700	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	5	16	39 465.16	19 152	1	31.8	161
656	700	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	3	3	2	14	32 067.12	4 352	3	8.1	29
657	700	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	3	18	28 316.30	62 672	1	21	37
658	700	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	36	36	43 929.62	30 320	1	49.7	73
659	700	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	2	9	26 894.11	4 496	1	24.5	37
660	700	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	137 261.36	-	1	201.5	157
661	1200	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	1	1	9	21	67 844.06	19 152	2	25	127
662	1200	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	1	1	10	30	48 793.54	4 352	2	17.7	61
663	1200	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	4	14	44 047.11	62 672	1	33	57
664	1200	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	12	36	50 451.26	30 320	1	49.7	73
665	1200	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	7	40 456.79	4 496	1	38.5	57
666	1200	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	143 188.47	-	1	201.5	157
667	2000	1÷6	max	P 0,2	08-КП	3	P 0,2	08-КП	2	2	7	13	98 209.96	19 152	2	36.2	183
668	2000	1÷6	max	P 0,3	08-КП	3	P 0,3	08-КП	2	2	14	28	84 083.25	3 808	4	16.5	57
669	2000	1÷6	max	P 0,6	08-КП	3	P 0,6	08-КП	1	1	10	25	69 261.82	62 672	1	59.4	101
670	2000	1÷6	max	P 0,7-1	08-КП	3	P 0,7-1	08-КП	1	1	10	50	73 841.37	30 320	1	69.3	101
671	2000	1÷6	max	P 0,7-2	08-КП	3	P 0,7-2	08-КП	1	1	4	5	65 086.60	4 496	2	27.3	41
672	2000	1÷6	max	P 1,3	08-КП	3	P 1,3	08-КП	1	1	78	78	152 706.43	-	1	201.5	157

Продовження таблиці Д.1.а

№канО, ШТ	Витрата мастила, G, кг/с										
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
56	60176,49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	-	138237,3	-	608409,4	-	-	-	-	-	-	-
63	111661,3	-	-	-	912010,5	-	-	-	-	-	-
65	-	246950,6	511076,4	-	-	-	-	-	-	-	-
70	-	-	-	606844,6	-	-	-	-	-	-	-
72	-	-	-	-	924747,1	-	-	-	-	-	-
80	-	-	-	627317,7	-	-	-	-	-	-	-
85	-	313464,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
88	-	-	-	-	-	1238695	-	-	-	-	-
90	-	179245,1	-	757319,1	-	-	-	-	-	-	-
91	157119,4	-	215632,1	-	-	-	-	-	-	-	-
94	-	-	-	-	-	-	1150165	-	-	-	-
95	-	341393,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
98	89836,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
99	-	-	-	-	-	840087,3	-	-	-	-	-
100	-	193270,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
104	-	-	232110	-	-	-	-	-	-	-	-
105	177059,7	369550,1	-	503693,8	-	-	-	-	-	-	-
108	-	-	-	-	423187,4	-	-	-	-	-	-
110	-	207394	-	-	-	1375771	-	-	-	-	-
111	-	-	-	-	-	-	-	1638046	-	-	-
112	99820,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
115	-	397874,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
117	-	-	249175,7	-	-	-	-	-	-	-	-
119	197053,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
120	-	221590	-	314473,4	-	-	-	-	-	-	-
121	-	-	-	-	-	892875	-	-	-	-	-
125	-	426325,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
126	109827,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
130	-	235842,1	266652,9	-	-	-	-	-	-	-	-
132	-	-	-	-	-	525018,9	-	-	-	-	-
170	-	304970	-	-	-	-	-	-	-	-	-
171	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1723295
175	-	-	-	-	-	-	-	-	1412042	-	-
176	-	-	-	-	-	616852,2	-	-	-	-	-
180	-	319373,4	-	401559,7	-	-	-	-	-	1532636,547	-
182	155849,8	-	350668,9	-	-	-	-	-	-	-	-
185	-	-	-	-	-	-	-	743915,3	-	-	-
188	-	-	-	-	-	-	979809,1	-	-	-	-
189	-	-	-	-	586003,2	-	-	-	-	-	-
190	-	333793,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
195	-	-	369086,4	-	-	-	-	-	-	-	-
196	165902,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
198	-	-	-	-	-	657750,1	-	-	-	-	-

Продовження таблиці Д.1.а

N _{канО} , ШТ	Витрата мастила, G, кг/с																					
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250											
200	-	348227,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
208	-		387592,1	-	-	-	-	-	-	-	-											
210	175959,4	362673,4	-	441803,4	-	-	-	-	848508,6	-	-											
216	-	-	-	-	639490,8	-	-	-	-	-	-											
220	-	377129,9	-	-	-	700167,6	-	-	-	-	-											
221	-	-	406170,4	-	-	-	-	-	-	-	-											
222	-	-	-	-	-	-	-	803491,8	-	-	-											
224	186019,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
228	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1064492											
230	-	391595,4		-	-	-	-	-	-	-	-											
234	-	-	424809,2	-	-	-	-	-	-	-	-											
235	-	-	-	-	-	-	629485,6	-	-	-	-											
238	196082,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
240	-	406068,9	-	482906,6	-	-	-	-	-	948857,3957	-											
242	-	-	-	-	-	743690,1	-	-	-	-	-											
243	-	-	-	-	694110,3	-	-	-	-	-	-											
245	-	-	-	-	-	-	-	-	904730,3	-	-											
247	-	-	443499	-	-	-	-	-	-	-	-											
250	-	420549,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
	показник ефективності в безрозмірній формі											незалежна змінна в безрозмірній формі										
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
6	2,741	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,857	1,850	1,934	1,950	1,944	1,955	1,974	1,968	1,971	1,975	1,974
7	2,164	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,833	1,825	1,923	1,942	1,935	1,947	1,970	1,962	1,967	1,971	1,969
8	2,496	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,810	1,800	1,912	1,933	1,926	1,939	1,966	1,957	1,962	1,967	1,965
9	4,530	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,786	1,775	1,901	1,925	1,917	1,932	1,962	1,951	1,957	1,963	1,961
13	4,715	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,690	1,675	1,857	1,892	1,880	1,902	1,945	1,930	1,938	1,946	1,943
14	2,746	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,667	1,650	1,846	1,883	1,870	1,894	1,940	1,924	1,933	1,942	1,939
15	4,896	3,165	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,643	1,625	1,835	1,875	1,861	1,886	1,936	1,919	1,929	1,938	1,934
16	2,628	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,619	1,600	1,824	1,867	1,852	1,879	1,932	1,914	1,924	1,933	1,930
17	5,127	5,174	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,595	1,575	1,813	1,858	1,843	1,871	1,928	1,908	1,919	1,929	1,925
18	2,753	2,719	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,571	1,550	1,802	1,850	1,833	1,864	1,923	1,903	1,914	1,925	1,921
19	-	5,168	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,548	1,525	1,791	1,842	1,824	1,856	1,919	1,897	1,910	1,921	1,917
20	-	1,944	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,524	1,500	1,780	1,833	1,815	1,848	1,915	1,892	1,905	1,917	1,912
21	1,109	5,212	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,500	1,475	1,769	1,825	1,806	1,841	1,911	1,886	1,900	1,913	1,908
22	-	2,762	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,476	1,450	1,758	1,817	1,796	1,833	1,906	1,881	1,895	1,908	1,904
23	-	5,293	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,452	1,425	1,747	1,808	1,787	1,826	1,902	1,876	1,890	1,904	1,899
24	-	2,810	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,429	1,400	1,736	1,800	1,778	1,818	1,898	1,870	1,886	1,900	1,895
25	-	1,363	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,405	1,375	1,725	1,792	1,769	1,811	1,894	1,865	1,881	1,896	1,890
26	3,485	2,870	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,381	1,350	1,714	1,783	1,759	1,803	1,889	1,859	1,876	1,892	1,886
28	2,199	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,333	1,300	1,692	1,767	1,741	1,788	1,881	1,849	1,867	1,883	1,877
30	3,829	2,314	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,286	1,250	1,670	1,750	1,722	1,773	1,872	1,838	1,857	1,875	1,868
32	4,006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,238	1,200	1,648	1,733	1,704	1,758	1,864	1,827	1,848	1,867	1,860
34	4,186	3,297	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,190	1,150	1,626	1,717	1,685	1,742	1,855	1,816	1,838	1,858	1,851
36	-	3,390	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,143	1,100	1,604	1,700	1,667	1,727	1,847	1,805	1,829	1,850	1,842

Продовження таблиці Д.1.а

	показник ефективності в безрозмірній формі											незалежна змінна в безрозмірній формі										
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
38	-	3,488	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,095	1,050	1,582	1,683	1,648	1,712	1,838	1,795	1,819	1,842	1,833
39	-	-	1,333	-	-	-	-	-	-	-	-	1,071	1,025	1,571	1,675	1,639	1,705	1,834	1,789	1,814	1,838	1,829
40	-	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,048	1,000	1,560	1,667	1,630	1,697	1,830	1,784	1,810	1,833	1,825
42	1,000	3,692	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000	1,050	1,538	1,650	1,611	1,682	1,821	1,773	1,800	1,825	1,816
44	-	3,798	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,048	1,100	1,516	1,633	1,593	1,667	1,813	1,762	1,790	1,817	1,807
45	-	1,726	-	3,327	-	-	-	-	-	-	-	1,071	1,125	1,505	1,625	1,583	1,659	1,809	1,757	1,786	1,813	1,803
46	-	3,906	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,095	1,150	1,495	1,617	1,574	1,652	1,804	1,751	1,781	1,808	1,798
48	-	4,015	-	2,913	-	-	-	-	-	-	-	1,143	1,200	1,473	1,600	1,556	1,636	1,796	1,741	1,771	1,800	1,789
49	1,824	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,167	1,225	1,462	1,592	1,546	1,629	1,791	1,735	1,767	1,796	1,785
50	-	1,107	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,190	1,250	1,451	1,583	1,537	1,621	1,787	1,730	1,762	1,792	1,781
52	-	-	2,088	-	-	-	-	-	-	-	-	1,238	1,300	1,429	1,567	1,519	1,606	1,779	1,719	1,752	1,783	1,772
55	-	1,949	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,310	1,375	1,396	1,542	1,491	1,583	1,766	1,703	1,738	1,771	1,759
56	1,190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,333	1,400	1,385	1,533	1,481	1,576	1,762	1,697	1,733	1,767	1,754
60	-	1,222	-	1,935	-	-	-	-	-	-	-	1,429	1,500	1,341	1,500	1,444	1,545	1,745	1,676	1,714	1,750	1,737
63	2,209	-	-	-	2,155	-	-	-	-	-	-	1,500	1,575	1,308	1,475	1,417	1,523	1,732	1,659	1,700	1,738	1,724
65	-	2,183	2,370	-	-	-	-	-	-	-	-	1,548	1,625	1,286	1,458	1,398	1,508	1,723	1,649	1,690	1,729	1,715
70	-	-	-	1,930	-	-	-	-	-	-	-	1,667	1,750	1,231	1,417	1,352	1,470	1,702	1,622	1,667	1,708	1,693
72	-	-	-	-	2,185	-	-	-	-	-	-	1,714	1,800	1,209	1,400	1,333	1,455	1,694	1,611	1,657	1,700	1,684
80	-	-	-	1,995	-	-	-	-	-	-	-	1,905	2,000	1,121	1,333	1,259	1,394	1,660	1,568	1,619	1,667	1,649
85	-	2,771	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,024	2,125	1,066	1,292	1,213	1,356	1,638	1,541	1,595	1,646	1,627
88	-	-	-	-	-	2,359	-	-	-	-	-	2,095	2,200	1,033	1,267	1,185	1,333	1,626	1,524	1,581	1,633	1,614
90	-	1,584	-	2,408	-	-	-	-	-	-	-	2,143	2,250	1,011	1,250	1,167	1,318	1,617	1,514	1,571	1,625	1,605
91	3,108	-	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	2,167	2,275	1,000	1,242	1,157	1,311	1,613	1,508	1,567	1,621	1,601
94	-	-	-	-	-	-	1,827	-	-	-	-	2,238	2,350	1,033	1,217	1,130	1,288	1,600	1,492	1,552	1,608	1,588
95	-	3,018	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,262	2,375	1,044	1,208	1,120	1,280	1,596	1,486	1,548	1,604	1,583
98	1,777	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,333	2,450	1,077	1,183	1,093	1,258	1,583	1,470	1,533	1,592	1,570
99	-	-	-	-	-	1,600	-	-	-	-	-	2,357	2,475	1,088	1,175	1,083	1,250	1,579	1,465	1,529	1,588	1,566
100	-	1,708	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,381	2,500	1,099	1,167	1,074	1,242	1,574	1,459	1,524	1,583	1,561
104	-	-	1,076	-	-	-	-	-	-	-	-	2,476	2,600	1,143	1,133	1,037	1,212	1,557	1,438	1,505	1,567	1,544
105	3,503	3,267	-	1,602	-	-	-	-	-	-	-	2,500	2,625	1,154	1,125	1,028	1,205	1,553	1,432	1,500	1,563	1,539
108	-	-	-	-	1,000	-	-	-	-	-	-	2,571	2,700	1,187	1,100	1,000	1,182	1,540	1,416	1,486	1,550	1,526
110	-	1,833	-	-	-	2,620	-	-	-	-	-	2,619	2,750	1,209	1,083	1,019	1,167	1,532	1,405	1,476	1,542	1,518
111	-	-	-	-	-	-	-	2,202	-	-	-	2,643	2,775	1,220	1,075	1,028	1,159	1,528	1,400	1,471	1,538	1,513
112	1,975	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,667	2,800	1,231	1,067	1,037	1,152	1,523	1,395	1,467	1,533	1,509
115	-	3,517	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,738	2,875	1,264	1,042	1,065	1,129	1,511	1,378	1,452	1,521	1,496
117	-	-	1,156	-	-	-	-	-	-	-	-	2,786	2,925	1,286	1,025	1,083	1,114	1,502	1,368	1,443	1,513	1,487
119	3,898	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,833	2,975	1,308	1,008	1,102	1,098	1,494	1,357	1,433	1,504	1,478
120	-	1,959	-	1,000	-	-	-	-	-	-	-	2,857	3,000	1,319	1,000	1,111	1,091	1,489	1,351	1,429	1,500	1,474
121	-	-	-	-	-	1,701	-	-	-	-	-	2,881	3,025	1,330	1,008	1,120	1,083	1,485	1,346	1,424	1,496	1,469
125	-	3,769	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,976	3,125	1,374	1,042	1,157	1,053	1,468	1,324	1,405	1,479	1,452
126	2,173	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,000	3,150	1,385	1,050	1,167	1,045	1,464	1,319	1,400	1,475	1,447
130	-	2,085	1,237	-	-	-	-	-	-	-	-	3,095	3,250	1,429	1,083	1,204	1,015	1,447	1,297	1,381	1,458	1,430
132	-	-	-	-	-	1,000	-	-	-	-	-	3,143	3,300	1,451	1,100	1,222	1,000	1,438	1,286	1,371	1,450	1,421
170	-	2,696	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,048	4,250	1,868	1,417	1,574	1,288	1,277	1,081	1,190	1,292	1,254

Продовження таблиці Д.1.а

	показник ефективності в безрозмірній формі											незалежна змінна в безрозмірній формі										
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
171	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,619	4,071	4,275	1,879	1,425	1,583	1,295	1,272	1,076	1,186	1,288	1,250
175	-	-	-	-	-	-	-	-	1,664	-	-	4,167	4,375	1,923	1,458	1,620	1,326	1,255	1,054	1,167	1,271	1,232
176	-	-	-	-	-	1,175	-	-	-	-	-	4,190	4,400	1,934	1,467	1,630	1,333	1,251	1,049	1,162	1,267	1,228
180	-	2,823	-	1,277	-	-	-	-	-	1,615	-	4,286	4,500	1,978	1,500	1,667	1,364	1,234	1,027	1,143	1,250	1,211
182	3,083	-	1,626	-	-	-	-	-	-	-	-	4,333	4,550	2,000	1,517	1,685	1,379	1,226	1,016	1,133	1,242	1,202
185	-	-	-	-	-	-	-	1,000	-	-	-	4,405	4,625	2,033	1,542	1,713	1,402	1,213	1,000	1,119	1,229	1,189
188	-	-	-	-	-	-	1,557	-	-	-	-	4,476	4,700	2,066	1,567	1,741	1,424	1,200	1,016	1,105	1,217	1,175
189	-	-	-	-	1,385	-	-	-	-	-	-	4,500	4,725	2,077	1,575	1,750	1,432	1,196	1,022	1,100	1,213	1,171
190	-	2,951	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,524	4,750	2,088	1,583	1,759	1,439	1,191	1,027	1,095	1,208	1,167
195	-	-	1,712	-	-	-	-	-	-	-	-	4,643	4,875	2,143	1,625	1,806	1,477	1,170	1,054	1,071	1,188	1,145
196	3,282	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,667	4,900	2,154	1,633	1,815	1,485	1,166	1,059	1,067	1,183	1,140
198	-	-	-	-	-	1,253	-	-	-	-	-	4,714	4,950	2,176	1,650	1,833	1,500	1,157	1,070	1,057	1,175	1,132
200	-	3,078	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,762	5,000	2,198	1,667	1,852	1,515	1,149	1,081	1,048	1,167	1,123
208	-	-	1,797	-	-	-	-	-	-	-	-	4,952	5,200	2,286	1,733	1,926	1,576	1,115	1,124	1,010	1,133	1,088
210	3,481	3,206	-	1,405	-	-	-	-	1,000	-	-	5,000	5,250	2,308	1,750	1,944	1,591	1,106	1,135	1,000	1,125	1,079
216	-	-	-	-	1,511	-	-	-	-	-	-	5,143	5,400	2,374	1,800	2,000	1,636	1,081	1,168	1,029	1,100	1,053
220	-	3,334	-	-	-	1,334	-	-	-	-	-	5,238	5,500	2,418	1,833	2,037	1,667	1,064	1,189	1,048	1,083	1,035
221	-	-	1,884	-	-	-	-	-	-	-	-	5,262	5,525	2,429	1,842	2,046	1,674	1,060	1,195	1,052	1,079	1,031
222	-	-	-	-	-	-	-	1,080	-	-	-	5,286	5,550	2,440	1,850	2,056	1,682	1,055	1,200	1,057	1,075	1,026
224	3,680	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,333	5,600	2,462	1,867	2,074	1,697	1,047	1,211	1,067	1,067	1,018
228	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000	5,429	5,700	2,505	1,900	2,111	1,727	1,030	1,232	1,086	1,050	1,000
230	-	3,462	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,476	5,750	2,527	1,917	2,130	1,742	1,021	1,243	1,095	1,042	1,009
234	-	-	1,970	-	-	-	-	-	-	-	-	5,571	5,850	2,571	1,950	2,167	1,773	1,004	1,265	1,114	1,025	1,026
235	-	-	-	-	-	-	1,000	-	-	-	-	5,595	5,875	2,582	1,958	2,176	1,780	1,000	1,270	1,119	1,021	1,031
238	3,879	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,667	5,950	2,615	1,983	2,204	1,803	1,013	1,286	1,133	1,008	1,044
240	-	3,589	-	1,536	-	-	-	-	-	1,000	-	5,714	6,000	2,637	2,000	2,222	1,818	1,021	1,297	1,143	1,000	1,053
242	-	-	-	-	-	1,417	-	-	-	-	-	5,762	6,050	2,659	2,017	2,241	1,833	1,030	1,308	1,152	1,008	1,061
243	-	-	-	-	1,640	-	-	-	-	-	-	5,786	6,075	2,670	2,025	2,250	1,841	1,034	1,314	1,157	1,013	1,066
245	-	-	-	-	-	-	-	-	1,066	-	-	5,833	6,125	2,692	2,042	2,269	1,856	1,043	1,324	1,167	1,021	1,075
247	-	-	2,057	-	-	-	-	-	-	-	-	5,881	6,175	2,714	2,058	2,287	1,871	1,051	1,335	1,176	1,029	1,083
250	-	3,717	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,952	6,250	2,747	2,083	2,315	1,894	1,064	1,351	1,190	1,042	1,096

б) залежність приведених витрат від кількості каналів по середовищу В $N_{канВ}$ для різних витрат мастила в розмірній і безрозмірній формі

$N_{канВ}$, шт	Витрата мастила, G, кг/с										
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
1	177734,4	560123,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	69381,32	178895,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	56665,88	316773,3	-	1655462	1123429	2103058	-	-	-	-	-
4	-	122226	-	921083,5	739719,2	1236783	-	-	-	-	-
5	191925,7	117688	-	641780,8	-	-	-	2113309	3091154	-	-
6	51384,37	261026,2	-	511778,8	525859,2	753966,4	-	-	2202646	3101465	-
7	51065,74	-	229852,4	-	-	-	-	-	1731072	-	-
8	-	113802	-	402612,8	837727,8	-	-	-	-	1922612	-

Продовження таблиці Д.1.б

N _{канВ} , ШТ	Витрата мастила, G, кг/с										
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
9	115355,7	-	-	-	455733,2	-	-	-	-	-	-
10	185444,7	113127,4	-	361094,2	-	-	-	-	1172782	1474264	-
11	-	-	-	-	-	562888,9	-	-	-	-	-
12	-	252739,3	-	341769,2	437029,9	553422,7	-	-	-	1265580	1814420
13	-	-	215632,1	-	-	-	-	-	-	-	-
14	50551,91	-	381238,9	-	-	-	-	-	970605,2	-	-
15	184684,1	252075,7	-	328155	-	-	-	-	947658	1118564	-
16	-	-	-	559197,2	-	-	-	-	-	1090342	-
18	114583,3	-	-	-	426605,6	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1268909
20	-	195337,1	-	319369,8	-	-	-	-	-	1023695	-
21	89158,46	-	-	-	-	-	-	-	881362,9	-	-
22	-	-	-	-	-	525018,9	-	-	-	-	-
24	-	251507,5	-	316497,2	747737,7	-	-	-	-	992673,7	-
25	-	402330,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	-	-	377011,2	-	-	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	423187,4	-	-	-	-	-	-
30	184368,2	251408,9	-	314473,4	-	-	-	-	854149,9	970819,7	-
33	-	-	-	-	-	922838,3	-	-	-	-	-
35	184349,2	-	-	-	-	-	-	-	848508,6	-	-
36	-	-	-	-	1247522	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-	-	743915,3	-	-	-
38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1085961
40	-	195135,5	-	904172,4	-	-	-	-	-	956717,3	-
42	89108,37	-	-	-	-	-	-	-	1499292	-	-
44	-	-	-	-	-	920467,7	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	-	629485,6	-	-	-	-
48	-	471554,8	-	533594,9	-	-	-	-	-	952106	-
50	-	402057,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
54	-	-	-	-	1246506	-	-	-	-	-	-
57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1064492
60	-	251309,7	-	902716,7	-	-	-	-	-	948857,4	-
63	114452,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
66	-	-	-	-	-	919146,4	-	-	-	-	-
70	184318,4	-	-	-	-	-	-	-	1489524	-	-
72	-	-	-	-	743351,3	-	-	-	-	-	-
80	-	-	-	532604,9	-	-	-	-	-	1680562	-
91	-	-	662525,2	-	-	-	-	-	-	-	-
100	-	402017,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
105	184314,8	-	-	-	-	-	-	-	1487389	-	-
108	-	-	-	-	1246084	-	-	-	-	-	-
120	-	251295	-	902112	-	-	-	-	-	1678225	-
126	114449,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
132	-	-	-	-	-	918597,6	-	-	-	-	-

Продовження таблиці Д.1.б

N _{канВ} , ШТ	Витрата мастила, G, кг/с																							
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250													
182	-	-	376073,4	-	-	-	-	-	-	-	-													
185	-	-	-	-	-	-	-	1311136	-	-	-													
200	-	402011,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
210	184313,3	-	-	-	-	-	-	-	1486502	-	-													
216	-	-	-	-	743137,5	-	-	-	-	-	-													
235	-	-	-	-	-	-	1063506	-	-	-	-													
240	-	471491,6	-	532298,7	-	-	-	-	-	1677254	-													
	показник ефективності в безрозмірній формі												незалежна змінна в безрозмірній формі											
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250		
1	3,516	4,951	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,929	1,900	1,923	1,967	1,963	1,955	1,979	1,973	1,971	1,983	1,982		
2	1,372	1,581	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,857	1,800	1,846	1,933	1,926	1,909	1,957	1,946	1,943	1,967	1,965		
3	1,121	2,800	-	5,264	2,655	4,006	-	-	-	-	-	1,786	1,700	1,769	1,900	1,889	1,864	1,936	1,919	1,914	1,950	1,947		
4	-	1,080	-	2,929	1,748	2,356	-	-	-	-	-	1,714	1,600	1,692	1,867	1,852	1,818	1,915	1,892	1,886	1,933	1,930		
5	3,797	1,040	-	2,041	-	-	-	2,841	3,643	-	-	1,643	1,500	1,615	1,833	1,815	1,773	1,894	1,865	1,857	1,917	1,912		
6	1,016	2,307	-	1,627	1,243	1,436	-	-	2,596	3,269	-	1,571	1,400	1,538	1,800	1,778	1,727	1,872	1,838	1,829	1,900	1,895		
7	1,010	-	1,066	-	-	-	-	-	2,040	-	-	1,500	1,300	1,462	1,767	1,741	1,682	1,851	1,811	1,800	1,883	1,877		
8	-	1,006	-	1,280	1,980	-	-	-	-	2,026	-	1,429	1,200	1,385	1,733	1,704	1,636	1,830	1,784	1,771	1,867	1,860		
9	2,282	-	-	-	1,077	-	-	-	-	-	-	1,357	1,100	1,308	1,700	1,667	1,591	1,809	1,757	1,743	1,850	1,842		
10	3,668	1,000	-	1,148	-	-	-	-	1,382	1,554	-	1,286	1,000	1,231	1,667	1,630	1,545	1,787	1,730	1,714	1,833	1,825		
11	-	-	-	-	-	1,072	-	-	-	-	-	1,214	1,100	1,154	1,633	1,593	1,500	1,766	1,703	1,686	1,817	1,807		
12	-	2,234	-	1,087	1,033	1,054	-	-	-	1,334	1,704	1,143	1,200	1,077	1,600	1,556	1,455	1,745	1,676	1,657	1,800	1,789		
13	-	-	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	1,071	1,300	1,000	1,567	1,519	1,409	1,723	1,649	1,629	1,783	1,772		
14	1,000	-	1,768	-	-	-	-	-	1,144	-	-	1,000	1,400	1,077	1,533	1,481	1,364	1,702	1,622	1,600	1,767	1,754		
15	3,653	2,228	-	1,044	-	-	-	-	1,117	1,179	-	1,071	1,500	1,154	1,500	1,444	1,318	1,681	1,595	1,571	1,750	1,737		
16	-	-	-	1,778	-	-	-	-	-	1,149	-	1,143	1,600	1,231	1,467	1,407	1,273	1,660	1,568	1,543	1,733	1,719		
18	2,267	-	-	-	1,008	-	-	-	-	-	-	1,286	1,800	1,385	1,400	1,333	1,182	1,617	1,514	1,486	1,700	1,684		
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,192	1,357	1,900	1,462	1,367	1,296	1,136	1,596	1,486	1,457	1,683	1,667		
20	-	1,727	-	1,016	-	-	-	-	-	1,079	-	1,429	2,000	1,538	1,333	1,259	1,091	1,574	1,459	1,429	1,667	1,649		
21	1,764	-	-	-	-	-	-	-	1,039	-	-	1,500	2,100	1,615	1,300	1,222	1,045	1,553	1,432	1,400	1,650	1,632		
22	-	-	-	-	-	1,000	-	-	-	-	-	1,571	2,200	1,692	1,267	1,185	1,000	1,532	1,405	1,371	1,633	1,614		
24	-	2,223	-	1,006	1,767	-	-	-	-	1,046	-	1,714	2,400	1,846	1,200	1,111	1,091	1,489	1,351	1,314	1,600	1,579		
25	-	3,556	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,786	2,500	1,923	1,167	1,074	1,136	1,468	1,324	1,286	1,583	1,561		
26	-	-	1,748	-	-	-	-	-	-	-	-	1,857	2,600	2,000	1,133	1,037	1,182	1,447	1,297	1,257	1,567	1,544		
27	-	-	-	-	1,000	-	-	-	-	-	-	1,929	2,700	2,077	1,100	1,000	1,227	1,426	1,270	1,229	1,550	1,526		
30	3,647	2,222	-	1,000	-	-	-	-	1,007	1,023	-	2,143	3,000	2,308	1,000	1,111	1,364	1,362	1,189	1,143	1,500	1,474		
33	-	-	-	-	-	1,758	-	-	-	-	-	2,357	3,300	2,538	1,100	1,222	1,500	1,298	1,108	1,057	1,450	1,421		
35	3,647	-	-	-	-	-	-	-	1,000	-	-	2,500	3,500	2,692	1,167	1,296	1,591	1,255	1,054	1,000	1,417	1,386		
36	-	-	-	-	2,948	-	-	-	-	-	-	2,571	3,600	2,769	1,200	1,333	1,636	1,234	1,027	1,029	1,400	1,368		
37	-	-	-	-	-	-	-	1,000	-	-	-	2,643	3,700	2,846	1,233	1,370	1,682	1,213	1,000	1,057	1,383	1,351		
38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,020	2,714	3,800	2,923	1,267	1,407	1,727	1,191	1,027	1,086	1,367	1,333		
40	-	1,725	-	2,875	-	-	-	-	-	1,008	-	2,857	4,000	3,077	1,333	1,481	1,818	1,149	1,081	1,143	1,333	1,298		
42	1,763	-	-	-	-	-	-	-	1,767	-	-	3,000	4,200	3,231	1,400	1,556	1,909	1,106	1,135	1,200	1,300	1,263		
44	-	-	-	-	-	1,753	-	-	-	-	-	3,143	4,400	3,385	1,467	1,630	2,000	1,064	1,189	1,257	1,267	1,228		
47	-	-	-	-	-	-	1,000	-	-	-	-	3,357	4,700	3,615	1,567	1,741	2,136	1,000	1,270	1,343	1,217	1,175		

Продовження таблиці Д.1.б

	показник ефективності в безрозмірній формі												незалежна змінна в безрозмірній формі											
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250		
48	-	4,168	-	1,697	-	-	-	-	-	1,003	-	3,429	4,800	3,692	1,600	1,778	2,182	1,021	1,297	1,371	1,200	1,158		
50	-	3,554	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,571	5,000	3,846	1,667	1,852	2,273	1,064	1,351	1,429	1,167	1,123		
54	-	-	-	-	2,946	-	-	-	-	-	-	3,857	5,400	4,154	1,800	2,000	2,455	1,149	1,459	1,543	1,100	1,053		
57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000	4,071	5,700	4,385	1,900	2,111	2,591	1,213	1,541	1,629	1,050	1,000		
60	-	2,221	-	2,871	-	-	-	-	-	1,000	-	4,286	6,000	4,615	2,000	2,222	2,727	1,277	1,622	1,714	1,000	1,053		
63	2,264	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,500	6,300	4,846	2,100	2,333	2,864	1,340	1,703	1,800	1,050	1,105		
66	-	-	-	-	-	1,751	-	-	-	-	-	4,714	6,600	5,077	2,200	2,444	3,000	1,404	1,784	1,886	1,100	1,158		
70	3,646	-	-	-	-	-	-	-	1,755	-	-	5,000	7,000	5,385	2,333	2,593	3,182	1,489	1,892	2,000	1,167	1,228		
72	-	-	-	-	1,757	-	-	-	-	-	-	5,143	7,200	5,538	2,400	2,667	3,273	1,532	1,946	2,057	1,200	1,263		
80	-	-	-	1,694	-	-	-	-	-	1,771	-	5,714	8,000	6,154	2,667	2,963	3,636	1,702	2,162	2,286	1,333	1,404		
91	-	-	3,072	-	-	-	-	-	-	-	-	6,500	9,100	7,000	3,033	3,370	4,136	1,936	2,459	2,600	1,517	1,596		
100	-	3,554	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,143	10,000	7,692	3,333	3,704	4,545	2,128	2,703	2,857	1,667	1,754		
105	3,646	-	-	-	-	-	-	-	1,753	-	-	7,500	10,500	8,077	3,500	3,889	4,773	2,234	2,838	3,000	1,750	1,842		
108	-	-	-	-	2,945	-	-	-	-	-	-	7,714	10,800	8,308	3,600	4,000	4,909	2,298	2,919	3,086	1,800	1,895		
120	-	2,221	-	2,869	-	-	-	-	-	1,769	-	8,571	12,000	9,231	4,000	4,444	5,455	2,553	3,243	3,429	2,000	2,105		
126	2,264	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,000	12,600	9,692	4,200	4,667	5,727	2,681	3,405	3,600	2,100	2,211		
132	-	-	-	-	-	1,750	-	-	-	-	-	9,429	13,200	10,154	4,400	4,889	6,000	2,809	3,568	3,771	2,200	2,316		
182	-	-	1,744	-	-	-	-	-	-	-	-	13,000	18,200	14,000	6,067	6,741	8,273	3,872	4,919	5,200	3,033	3,193		
185	-	-	-	-	-	-	-	1,762	-	-	-	13,214	18,500	14,231	6,167	6,852	8,409	3,936	5,000	5,286	3,083	3,246		
200	-	3,554	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14,286	20,000	15,385	6,667	7,407	9,091	4,255	5,405	5,714	3,333	3,509		
210	3,646	-	-	-	-	-	-	-	1,752	-	-	15,000	21,000	16,154	7,000	7,778	9,545	4,468	5,676	6,000	3,500	3,684		
216	-	-	-	-	1,756	-	-	-	-	-	-	15,429	21,600	16,615	7,200	8,000	9,818	4,596	5,838	6,171	3,600	3,789		
235	-	-	-	-	-	-	1,689	-	-	-	-	16,786	23,500	18,077	7,833	8,704	10,682	5,000	6,351	6,714	3,917	4,123		
240	-	4,168	-	1,693	-	-	-	-	-	1,768	-	17,143	24,000	18,462	8,000	8,889	10,909	5,106	6,486	6,857	4,000	4,211		

в) залежність приведених витрат від кількості рядів апаратів по середовищу $O U_0$ для різних витрат мастила в розмірній і безрозмірній формі (при $U_B=1$)

U ₀ , шт	Витрата мастила, G, кг/с																					
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250											
1	50551,91	129722,2	397389,5	548353,5	934338,6	-	762341,7	-	-	-	-											
2	86438,65	188422,9	662656,5	880305,9	917535,5	705640,4	1044469	960229	1147292	1182333	1377243											
3	122936,7	142354,2	281006,5	387196,9	423187,4	878112,5	776564,8	1199381	1413166	1492897	1653178											
4	159587,5	176718,8	351232,8	477002,2	506724,7	1065779	951691	1468866	1715354	1825534	1958122											
5	196299,4	211484,6	422164,4	568010,9	590595,7	688917,8	1129275	956243,5	1108310	1195986	1292559											
6	233041,9	246450,9	493448,7	659621,4	674606,3	787309,7	1308089	1097361	1266739	1375432	1461766											
	показник ефективності в безрозмірній формі											незалежна змінна в безрозмірній формі										
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
1	1,000	1,000	1,414	1,416	2,208	-	1,000	-	-	-	-	1,000	1,000	1,667	1,667	1,667	1,800	1,000	1,800	1,800	1,500	1,800
2	1,710	1,453	2,358	2,274	2,168	1,024	1,370	1,004	1,035	1,000	1,066	2,000	2,000	1,333	1,333	1,333	1,600	2,000	1,600	1,600	1,000	1,600
3	2,432	1,097	1,000	1,000	1,000	1,275	1,019	1,254	1,275	1,263	1,279	3,000	3,000	1,000	1,000	1,000	1,400	3,000	1,400	1,400	1,500	1,400
4	3,157	1,362	1,250	1,232	1,197	1,547	1,248	1,536	1,548	1,544	1,515	4,000	4,000	1,333	1,333	1,333	1,200	4,000	1,200	1,200	2,000	1,200
5	3,883	1,630	1,502	1,467	1,396	1,000	1,481	1,000	1,000	1,012	1,000	5,000	5,000	1,667	1,667	1,667	1,000	5,000	1,000	1,000	2,500	1,000
6	4,610	1,900	1,756	1,704	1,594	1,143	1,716	1,148	1,143	1,163	1,131	6,000	6,000	2,000	2,000	2,000	1,200	6,000	1,200	1,200	3,000	1,200

г) залежність приведених витрат від кількості рядів апаратів по середовищу O U_B для різних витрат мастила в розмірній і безрозмірній формі (при $U_O=1$)

U _B , шт	Витрата мастила, G, кг/с										
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
1	50551,91	129722,2	397389,5	548353,5	934338,6	-	762341,7	-	-	-	-
2	87292,5	113127,4	215632,1	314473,4	859283,4	742527,3	629485,6	1043023	1203159	1322954	1502518
3	124082,6	148090,3	286011,2	406073,4	1170768	525018,9	806104,1	743915,3	848508,6	948857,4	1064492
4	160881	183302,8	357384,1	498422,5	1494138	623834,2	985594	887068,9	1007601	1132202	1236593
5	197682,1	218593,8	429069,1	591006,8	541301	723972,9	1165985	1031343	1168832	1316315	1410791
6	234484,3	253917,5	500884,5	683689,4	623120,7	824664,9	1346753	1176085	1330958	1500748	1585866
показник ефективності в безрозмірній формі											
незалежна змінна в безрозмірній формі											
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
1	1,000	1,147	1,843	1,744	1,726	-	1,211	-	-	-	-
2	1,727	1,000	1,000	1,000	1,587	1,414	1,000	1,402	1,418	1,394	1,411
3	2,455	1,309	1,326	1,291	2,163	1,000	1,281	1,000	1,000	1,000	1,000
4	3,182	1,620	1,657	1,585	2,760	1,188	1,566	1,192	1,187	1,193	1,162
5	3,910	1,932	1,990	1,879	1,000	1,379	1,852	1,386	1,378	1,387	1,325
6	4,638	2,245	2,323	2,174	1,151	1,571	2,139	1,581	1,569	1,582	1,490

д) залежність приведених витрат від кількості рядів апаратів по середовищах O і B $U_O=U_B$ для різних витрат мастила в розмірній і безрозмірній формі

U _O =U _B , шт	Витрата мастила, G, кг/с										
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
1	50551,91	129722,2	397389,5	548353,5	934338,6	-	762341,7	-	-	-	-
2	86375,61	184658,7	647674,7	869013,2	843255,6	642090,4	1001185	906442,5	1044593	1145477	1272854
3	122860,1	140067,4	271905,1	380336,6	1151294	800900	750269,7	1134031	1288388	1448118	1527146
4	159505,7	174277,1	341514,8	469677,1	1473345	983335,9	923614,4	1399089	1582122	1777721	1823803
5	196215,1	208966,4	412141,8	560456,3	530578,6	646403,9	1100319	920261,3	1039606	1171330	1223353
6	232956,1	243888,9	483251,8	651935,4	612212	744057	1278629	1060753	1196842	1350348	1391390
показник ефективності в безрозмірній формі											
незалежна змінна в безрозмірній формі											
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
1	1,000	1,000	1,462	1,442	1,761	-	1,016	-	-	-	-
2	1,709	1,423	2,382	2,285	1,589	1,000	1,334	1,000	1,005	1,000	1,040
3	2,430	1,080	1,000	1,000	2,170	1,247	1,000	1,251	1,239	1,264	1,248
4	3,155	1,343	1,256	1,235	2,777	1,531	1,231	1,543	1,522	1,552	1,491
5	3,881	1,611	1,516	1,474	1,000	1,007	1,467	1,015	1,000	1,023	1,000
6	4,608	1,880	1,777	1,714	1,154	1,159	1,704	1,170	1,151	1,179	1,137

е) залежність приведених витрат від площі пластини $F_{пл}$ для різних витрат мастила в розмірній і безрозмірній формі

F _{пл} , м ²	Витрата мастила, G, кг/с										
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
0,6	50551,91	113127,4	215632,1	314473,4	423187,4	525018,9	629485,6	743915,3	848508,6	948857,4	1064492
1,3			357267,2	485185,9	655139,6	790376,1	952904,6		1287257	1437851	1517001
показник ефективності в безрозмірній формі											
незалежна змінна в безрозмірній формі											
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
0,6	1,0	1,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
1,3	-	-	1,657	1,543	1,548	1,505	1,514	-	1,517	1,515	1,425

ж) залежність приведених витрат від кінцевої температури середовища В t_{BK} для різних витрат мастила в розмірній і безрозмірній формі

tBK, oC	Витрата мастила, G, кг/с																					
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250											
20	90076,93	238234	679462,6	689793,3	945512,8	1570834	1586740	1895214	2537331	2139243	2440883											
25	62877,96	147300,8	323956,2	416993,6	584526,4	780306,1	860233,7	1057969	1258224	1312847	1420971											
30	54595,37	123939,7	257136,6	346910,3	491399,9	624627,4	699745,7	871770,5	1008218	1102597	1175704											
35	50551,91	113127,4	230185,1	314473,4	448235	560262,4	629485,6	790075,4	904990,3	1005286	1064492											
40	86835,78	190052,8	215632,1	886864	423187,4	525018,9	1037688	743915,3	848508,6	948857,4	1764628											
45	85223,96	185777,3	658420,3	874037,4	1232273	906746,5	1010152	1290165	1467666	1646275	1720793											
50	84076,36	182779,4	651448,6	865043,7	1220296	889869,3	991177,3	1268079	1440618	1619293	1690248											
55	83219,12	180561,6	646448	858390,4	1211434	877687,4	977299,3	1251917	1421101	1599334	1667743											
56	-	-	-	-	-	875645,1	974957,7	1249189	1417829	1595948	-											
59	-	606696,6	-	-	2357880	-	-	-	-	-	-											
60	302156,9	-	972628,9	1667071	-	-	-	-	-	-	-											
	показник ефективності в безрозмірній формі											незалежна змінна в безрозмірній формі										
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
20	1,78	2,10	3,151	2,19	2,234	2,992	2,521	2,548	2,990	2,255	2,293	1,429	1,429	1,500	1,429	1,500	1,500	1,429	1,500	1,500	1,500	1,429
25	1,24	1,30	1,502	1,32	1,381	1,486	1,367	1,422	1,483	1,384	1,335	1,286	1,286	1,375	1,286	1,375	1,375	1,286	1,375	1,375	1,375	1,286
30	1,08	1,09	1,192	1,10	1,161	1,190	1,112	1,172	1,188	1,162	1,104	1,143	1,143	1,250	1,143	1,250	1,250	1,143	1,250	1,250	1,250	1,143
35	1,0	1,0	1,067	1,0	1,059	1,067	1,000	1,062	1,067	1,059	1,000	1,000	1,000	1,125	1,000	1,125	1,125	1,000	1,125	1,125	1,125	1,000
40	1,71	1,68	1,0	2,82	1,000	1,000	1,648	1,000	1,000	1,000	1,658	1,143	1,143	1,000	1,143	1,000	1,000	1,143	1,000	1,000	1,000	1,143
45	1,68	1,64	3,053	2,77	2,912	1,727	1,605	1,734	1,730	1,735	1,617	1,286	1,286	1,125	1,286	1,125	1,125	1,286	1,125	1,125	1,125	1,286
50	1,66	1,61	3,021	2,75	2,884	1,695	1,575	1,705	1,698	1,707	1,588	1,429	1,429	1,250	1,429	1,250	1,250	1,429	1,250	1,250	1,250	1,429
55	1,64	1,59	2,998	2,73	2,863	1,672	1,553	1,683	1,675	1,686	1,567	1,571	1,571	1,375	1,571	1,375	1,375	1,571	1,375	1,375	1,375	1,571
56	-	-	-	-	-	1,668	1,549	1,679	1,671	1,682	-	1,600	1,600	1,400	1,600	1,400	1,400	1,600	1,400	1,400	1,400	1,600
59	-	5,36	-	-	5,572	-	-	-	-	-	-	1,686	1,686	1,475	1,686	1,475	1,475	1,686	1,475	1,475	1,475	1,686
60	5,977	-	4,511	5,301	-	-	-	-	-	-	-	1,714	1,714	1,500	1,714	1,500	1,500	1,714	1,500	1,500	1,500	1,714

Таблиця Д.2 – Результати ранжирування незалежних змінних для маслоохолоджувачів по капітальних вкладеннях

а) залежність капітальних вкладень від кількості каналів по середовищу О $N_{канО}$ для різних витрат мастила в розмірній і безрозмірній формі

N _{канО} , шт	Витрата мастила, G, кг/с										
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
6	993888	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	996492,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	1017107	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	204885	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	99940,53		-	-	-	-	-	-	-	-	-
58	-	624322,6	367700	1213575	-	-	-	-	-	-	-
62	173010,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
85	-	-	-	-	-	873613,3	-	-	-	-	-
87	-	477767,3	983581,4	531516,6	-	-	-	-	-	-	-
93	247130,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
99	-	-	-	-	-	-	1022180	-	-	-	-

Продовження таблиці Д.2.а

116	-	308741	627999,8	-	694863	-	-	1191591	-	-	-											
124	321512,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
170	-	-	-	-	-	1464 569	-	-	-	1683011	1763823											
174	-	467249	941511,3	961154	-	-	-	-	-	-	-											
186	490133,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
198	-	-	-	-	-	-	1695507	-	-	-	-											
217	564702,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
232	-	607040	1219340		125465 1	-	-	1971362	1404148	-	-											
248	639291,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
N _{кан} о, шт	показник ефективності в безрозмірній формі											незалежна змінна в безрозмірній формі										
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
6	9,945	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,80	1,79	1,89	1,93	1,94	1,929	1,93	1,94	1,974	1,965	1,965
7	9,971	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,77	1,75	1,87	1,92	1,94	1,918	1,92	1,94	1,970	1,959	1,959
8	10,177	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,74	1,72	1,86	1,90	1,93	1,906	1,91	1,93	1,966	1,953	1,953
29	-	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,06	1,0	1,5	1,66	1,75	1,659	1,70	1,75	1,875	1,829	1,829
31	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,0	1,06	1,46	1,64	1,73	1,635	1,68	1,73	1,866	1,818	1,818
58	-	3,047	1,0	2,28	-	-	-	-	-	-	-	1,87	2,0	1,0	1,33	1,5	1,318	1,41	1,5	1,750	1,659	1,659
62	1,731	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	2,13	1,06	1,28	1,46	1,271	1,37	1,46	1,733	1,635	1,635
85	-	-	-	-	-	1,0	-	-	-	-	-	2,74	2,93	1,46	1,02	1,26	1,0	1,14	1,26	1,634	1,5	1,5
87	-	2,332	2,67	1,0	-	-	-	-	-	-	-	2,80	3,0	1,5	1,0	1,25	1,024	1,12	1,25	1,625	1,488	1,488
93	2,473	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0	3,20	1,60	1,06	1,19	1,094	1,06	1,19	1,599	1,453	1,453
99	-	-	-	-	-	-	1,0	-	-	-	-	3,19	3,41	1,70	1,13	1,14	1,165	1,0	1,14	1,573	1,418	1,418
116	-	1,507	1,70	-	1,0	-	-	1,0	-	-	-	3,74	4,0	2,0	1,33	1,0	1,365	1,17	1,0	1,500	1,318	1,318
124	3,217	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0	4,27	2,13	1,42	1,06	1,459	1,25	1,06	1,466	1,271	1,271
170	-	-	-	-	-	1,67	-	-	-	1	1	5,48	5,86	2,93	1,95	1,46	2,0	1,71	1,46	1,267	1,0	1,0
174	-	2,281	2,56	1,80	-	-	-	-	-	-	-	5,61	6,0	3,0	2,0	1,5	2,047	1,75	1,5	1,250	1,024	1,024
186	4,904	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,0	6,41	3,20	2,13	1,60	2,188	1,87	1,60	1,198	1,094	1,094
198	-	-	-	-	-	-	1,659	-	-	-	-	6,38	6,82	3,41	2,27	1,70	2,329	2,0	1,70	1,147	1,165	1,165
217	5,65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,0	7,48	3,74	2,49	1,87	2,553	2,19	1,87	1,065	1,276	1,276
232	-	2,963	3,31	-	1,806	-	-	1,654	1,0	-	-	7,48	8,0	4,0	2,66	2,0	2,729	2,34	2,0	1,0	1,365	1,365
248	6,397	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,0	8,55 2	4,27 6	2,85 1	2,13 8	2,918	2,50 5	2,13 8	1,069	1,459	1,459

б) залежність капітальних вкладень від кількості каналів по середовищу В
 $N_{канВ}$ для різних витрат мастила в розмірній і безрозмірній формі

NканВ, шт	Витрата мастила, G, кг/с										
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
3	1071816	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	825753,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	748921,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	768798	2832447	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	807470,6	2473293	4778307	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	11646805	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	9992766	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	7134586	-	-	-	-

Продовження таблиці Д.2.6

NканВ, шт	Витрата мастила, G, кг/с																					
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250											
7	-	-	-	-	-	1824545	-	-	-	11357597	14689861											
18	-	-	-	-	-	-	5162176	-	-	-	-											
22	-	-	-	-	-	-	3820685	-	-	-	-											
29		376391,4	388760	639160,5	1020331	-	-	1937529	5867342	-	-											
31	99940,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
33	-	-	-	-	-	-	1306272	-	-	-	-											
34	-	-	-	-	-	1996803	-	-	-	3106475	3665686											
58	-	204885	367700	1078423	736983,3	-	-	1288125	2055083	-	-											
62	176979,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
66	-	-	-	-	-	-	2087917	-	-	-	-											
85	-	-	-	-	-	873613,3	-	-	-	1781718	1895703											
87	-	294400,2	1046284	531516,6	-	-	-	-	-	-	-											
93	254262,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
99	-	-	-	-	-	-	1022180	-	-	-	-											
116	-	384491,9	684843,7		694863,3	-	-	1191591	1488387	-	-											
124	331587	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
170	-	-	-	-	-	1714090	-	-	-	1683012	1763823											
174	-	584707,1	1043204	1046420	-	-	-	-	-	-	-											
186	505861,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
198	-	-	-	-	-	-	2003456	-	-	-	-											
203	-	675093	-	-	-	-	-	-	-	-	-											
217	583207																					
232		765499,6	1362719		1368339			2329181	1404148													
248	660554																					
	показник ефективності в безрозмірній формі											незалежна змінна в безрозмірній формі										
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
3	10,725	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,903	1,948	1,948	1,966	1,974	1,965	1,970	1,974	1,987	1,982	1,982
4	8,262	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,871	1,931	1,931	1,954	1,966	1,953	1,960	1,966	1,983	1,976	1,976
6	7,494	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,806	1,897	1,897	1,931	1,948	1,929	1,939	1,948	1,974	1,965	1,965
7	7,693	13,825	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,774	1,879	1,879	1,920	1,940	1,918	1,929	1,940	1,970	1,959	1,959
8	8,080	12,072	12,995	-	-	-	-	-	-	-	-	1,742	1,862	1,862	1,908	1,931	1,906	1,919	1,931	1,966	1,953	1,953
9	-	-	-	-	-	-	11,394	-	-	-	-	1,710	1,845	1,845	1,897	1,922	1,894	1,909	1,922	1,961	1,947	1,947
10	-	-	-	-	-	11,438	-	-	-	-	-	1,677	1,828	1,828	1,885	1,914	1,882	1,899	1,914	1,957	1,941	1,941
11	-	-	-	-	-	-	6,980	-	-	-	-	1,645	1,810	1,810	1,874	1,905	1,871	1,889	1,905	1,953	1,935	1,935
17	-	-	-	-	-	2,089	-	-	-	6,748	8,328	1,452	1,707	1,707	1,805	1,853	1,800	1,828	1,853	1,927	1,900	1,900
18	-	-	-	-	-	-	5,050	-	-	-	-	1,419	1,690	1,690	1,793	1,845	1,788	1,818	1,845	1,922	1,894	1,894
22	-	-	-	-	-	-	3,738	-	-	-	-	1,290	1,621	1,621	1,747	1,810	1,741	1,778	1,810	1,905	1,871	1,871
29	-	1,837	1,057	1,203	1,468	-	-	1,626	4,179	-	-	1,065	1,500	1,500	1,667	1,750	1,659	1,707	1,750	1,875	1,829	1,829
31	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,000	1,466	1,466	1,644	1,733	1,635	1,687	1,733	1,866	1,818	1,818
33	-	-	-	-	-	-	1,278	-	-	-	-	1,065	1,431	1,431	1,621	1,716	1,612	1,667	1,716	1,858	1,806	1,806
34	-	-	-	-	-	2,286	-	-	-	1,846	2,078	1,097	1,414	1,414	1,609	1,707	1,600	1,657	1,707	1,853	1,800	1,800
58	-	1,000	1,000	2,029	1,061	-	-	1,081	1,464	-	-	1,871	1,000	1,000	1,333	1,500	1,318	1,414	1,500	1,750	1,659	1,659
62	1,771	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,000	1,069	1,069	1,287	1,466	1,271	1,374	1,466	1,733	1,635	1,635
66	-	-	-	-	-	-	2,043	-	-	-	-	2,129	1,138	1,138	1,241	1,431	1,224	1,333	1,431	1,716	1,612	1,612

Продовження таблиці Д.2.б

	показник ефективності в безрозмірній формі											незалежна змінна в безрозмірній формі										
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
85	-	-	-	-	-	1,000	-	-	-	1,059	1,075	2,742	1,466	1,466	1,023	1,267	1,000	1,141	1,267	1,634	1,500	1,500
87	-	1,437	2,845	1,000	-	-	-	-	-	-	-	2,806	1,500	1,500	1,000	1,250	1,024	1,121	1,250	1,625	1,488	1,488
93	2,544	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,000	1,603	1,603	1,069	1,198	1,094	1,061	1,198	1,599	1,453	1,453
99	-	-	-	-	-	-	1,000	-	-	-	-	3,194	1,707	1,707	1,138	1,147	1,165	1,000	1,147	1,573	1,418	1,418
116	-	1,877	1,863	-	1,000	-	-	1,000	1,060	-	-	3,742	2,000	2,000	1,333	1,000	1,365	1,172	1,000	1,500	1,318	1,318
124	3,318	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,000	2,138	2,138	1,425	1,069	1,459	1,253	1,069	1,466	1,271	1,271
170	-	-	-	-	-	1,962	-	-	-	1,000	1,000	5,484	2,931	2,931	1,954	1,466	2,000	1,717	1,466	1,267	1,000	1,000
174	-	2,854	2,837	1,969	-	-	-	-	-	-	-	5,613	3,000	3,000	2,000	1,500	2,047	1,758	1,500	1,250	1,024	1,024
186	5,062	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,000	3,207	3,207	2,138	1,603	2,188	1,879	1,603	1,198	1,094	1,094
198	-	-	-	-	-	-	1,960	-	-	-	-	6,387	3,414	3,414	2,276	1,707	2,329	2,000	1,707	1,147	1,165	1,165
203	-	3,295	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,548	3,500	3,500	2,333	1,750	2,388	2,051	1,750	1,125	1,194	1,194
217	5,836	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,000	3,741	3,741	2,494	1,871	2,553	2,192	1,871	1,065	1,276	1,276
232	-	3,736	3,706	-	1,969	-	-	1,955	1,000	-	-	7,484	4,000	4,000	2,667	2,000	2,729	2,343	2,000	1,000	1,365	1,365
248	6,609	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,000	4,276	4,276	2,851	2,138	2,918	2,505	2,138	1,069	1,459	1,459

в) залежність капітальних вкладень від кількості рядів апаратів по середовищу $O U_O$ для різних витрат мастила в розмірній і безрозмірній формі ($U_B=1$)

U_O , шт	Витрата мастила, G, кг/с											
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	
1	99940,53	204885	708487,6	1085264	1421632	2409081	2876456	3342758	1707734	-	-	
2	194715,5	344826,4	1266028	1936502	2527848	2140886	2501362	2900587	2718533	2400822	2566947	
3	290540	498791,1	509321,1	734138,3	958204,8	2978388	3454542	4003053	1920760	3194902	3336814	
4	386626,8	656261,7	666791,7	959270,3	1250998	3845793	4448920	5154220	2503794	2015541	4158656	
5	482818,6	815134,6	825664,6	1186506	1546597	1252020	1452997	1684220	3092437	2449662	2510040	
6	579062,8	974708,7	985238,6	1414793	1843597	1471643	1704717	1975436	3683884	2888628	2946733	

	показник ефективності в безрозмірній формі											незалежна змінна в безрозмірній формі										
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
1	1,000	1,000	1,391	1,478	1,484	1,924	1,980	1,985	1,000	-	-	1,000	1,000	1,667	1,667	1,667	1,800	1,800	1,800	1,000	1,750	1,800
2	1,948	1,683	2,486	2,638	2,638	1,710	1,722	1,722	1,592	1,191	1,023	2,000	2,000	1,333	1,333	1,333	1,600	1,600	1,600	2,000	1,500	1,600
3	2,907	2,434	1,000	1,000	1,000	2,379	2,378	2,377	1,125	1,585	1,329	3,000	3,000	1,000	1,000	1,000	1,400	1,400	1,400	3,000	1,250	1,400
4	3,869	3,203	1,309	1,307	1,306	3,072	3,062	3,060	1,466	1,000	1,657	4,000	4,000	1,333	1,333	1,333	1,200	1,200	1,200	4,000	1,000	1,200
5	4,831	3,978	1,621	1,616	1,614	1,000	1,000	1,000	1,811	1,215	1,000	5,000	5,000	1,667	1,667	1,667	1,000	1,000	1,000	5,000	1,250	1,000
6	5,794	4,757	1,934	1,927	1,924	1,175	1,173	1,173	2,157	1,433	1,174	6,000	6,000	2,000	2,000	2,000	1,200	1,200	1,200	6,000	1,500	1,200

г) залежність капітальних вкладень від кількості рядів апаратів по середовищу $O U_B$ для різних витрат мастила в розмірній і безрозмірною формі ($U_O=1$)

U_B , шт	Витрата мастила, G, кг/с											
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	
1	99940,53	204885	708487,6	1085264	1421632	2409081	2876456	3342758	1707734	-	-	
2	195978,5	364569,4	367700	531516,6	694863,3	2210829	2580751	2992830	1404148	2514461	2690428	
3	292260,8	525268,1	526807,9	759104,6	990931,5	873613,3	1022180	1191591	1989727	1683012	1763823	
4	388584,4	686138,1	687068,9	988422,3	1289306	1094663	1275535	1478598	2575915	2114714	2200240	
5	484921	847062	847691,8	1218283	1588404	1318016	1531805	1775110	3171558	2560000	2635011	
6	581262,9	1008008	1008466	1448371	1887805	1542334	1789292	2073032	3767807	3006728	3081092	

Продовження таблиці Д.2.г

показник ефективності в безрозмірній формі											незалежна змінна в безрозмірній формі										
10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
11,000	1,000	1,927	2,042	2,046	2,758	2,814	2,805	1,216	-	-	1,000	1,000	1,500	1,500	1,500	1,667	1,667	1,667	1,500	1,667	1,667
21,961	1,779	1,000	1,000	1,000	2,531	2,525	2,512	1,000	1,494	1,525	2,000	2,000	1,000	1,000	1,000	1,333	1,333	1,333	1,000	1,333	1,333
32,924	2,564	1,433	1,428	1,426	1,000	1,000	1,000	1,417	1,000	1,000	3,000	3,000	1,500	1,500	1,500	1,000	1,000	1,000	1,500	1,000	1,000
43,888	3,349	1,869	1,860	1,855	1,253	1,248	1,241	1,835	1,257	1,247	4,000	4,000	2,000	2,000	2,000	1,333	1,333	1,333	2,000	1,333	1,333
54,852	4,134	2,305	2,292	2,286	1,509	1,499	1,490	2,259	1,521	1,494	5,000	5,000	2,500	2,500	2,500	1,667	1,667	1,667	2,500	1,667	1,667
65,816	4,920	2,743	2,725	2,717	1,765	1,750	1,740	2,683	1,787	1,747	6,000	6,000	3,000	3,000	3,000	2,000	2,000	2,000	3,000	2,000	2,000

д) залежність капітальних вкладень від кількості рядів апаратів по середовищах О і В $U_O=U_B$ для різних витрат мастила в розмірній і безрозмірною формі

U ₀ =U _В , шт			Витрата мастила, G, кг/с																									
			10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250															
1			99940,53	204885	708487,6	1085264	1421632	2409081	2876456	3342758	1707734	-	-															
2			194404,3	343534,4	1248645	1907049	2487077	2025540	2354699	2729396	2624981	2204779	2308105															
3			290161,8	497221,4	498761,2	714920,4	931079,6	2834561	3271045	3793969	1862506	2953115	3017881															
4			386223,1	654585,6	655516,3	938979,3	1222442	3692857	4253907	4925672	2434671	3755393	3815251															
5			482402,2	813406	814035,8	1165685	1517334	1168611	1345889	1557456	3021900	2308450	2324454															
6			578639,2	972950	973407,8	1393669	1813930	1386947	1595983	1846789	3612540	2745489	2758574															
			показник ефективності в безрозмірній формі											незалежна змінна в безрозмірній формі														
			10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250				
1			1,000	1,000	1,420	1,518	1,527	2,061	2,137	2,146	1,000	-	-	1,000	1,000	1,667	1,667	1,667	1,800	1,800	1,800	1,000	1,500	1,500				
2			1,945	1,677	2,503	2,667	2,671	1,733	1,750	1,752	1,537	1,000	1,000	2,000	2,000	1,333	1,333	1,333	1,600	1,600	1,600	2,000	1,000	1,000				
3			2,903	2,427	1,000	1,000	1,000	2,426	2,430	2,436	1,091	1,339	1,308	3,000	3,000	1,000	1,000	1,000	1,400	1,400	1,400	3,000	1,500	1,500				
4			3,865	3,195	1,314	1,313	1,313	3,160	3,161	3,163	1,426	1,703	1,653	4,000	4,000	1,333	1,333	1,333	1,200	1,200	1,200	4,000	2,000	2,000				
5			4,827	3,970	1,632	1,631	1,630	1,000	1,000	1,000	1,770	1,047	1,007	5,000	5,000	1,667	1,667	1,667	1,000	1,000	1,000	5,000	2,500	2,500				
6			5,790	4,749	1,952	1,949	1,948	1,187	1,186	1,186	2,115	1,245	1,195	6,000	6,000	2,000	2,000	2,000	1,200	1,200	1,200	6,000	3,000	3,000				

е) залежність капітальних вкладень від площі пластини $F_{пл}$ для різних витрат мастила в розмірній і безрозмірній формі

F _{пл} , м ²	Витрата мастила, G, кг/с																							
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250													
0,2	346302,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
0,3	325421,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-													
0,6	99940,53	204885	367700	531516,6	694863,3	873613,3	1022180	1191591	1404148	1683012	1763823													
1,3	-	-	-	990074,8	1258368	1527311	1743795	1998790	2496772	-	-													
	показник ефективності в безрозмірній формі												незалежна змінна в безрозмірній формі											
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250		
0,23,465	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,667	1,667	1,667	1,667	1,667	1,667	1,667	1,667	1,667	1,667	1,667		
0,33,256	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500		
0,61,000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,00	1,00	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		
1,3	-	-	-	1,863	1,811	1,748	1,706	1,677	1,778	-	-	2,167	2,167	2,167	2,167	2,167	2,167	2,167	2,167	2,167	2,167	2,167		

ж) залежність капітальних вкладень від кінцевої температури середовища В
 t_{BK} для різних витрат мастила в розмірній і безрозмірній формі

tBK, oC	Витрата мастила, G, кг/с										
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
20	99940,53	204885	367700	531516,6	694863,3	873613,3	1022180	1191591	1404148	1683012	1763823
25	347528,1	684288,4	1284437	1962851	2562418	3059997	3550411	4114142	2759160	3316329	3463306
30	347440,6	683925,1	1283710	1961761	2560965	3057721	3547534	4110811	2756253	3312923	3458756
35	347417,4	683828,8	1283517	1961472	2560580	3057118	3546772	4109928	2755482	3312020	3457550
40	347408,6	683792,4	1283445	1961363	2560434	3056890	3546483	4109594	2755191	3311679	3457094
45	347404,6	683775,5	1283411	1961312	2560367	3056785	3546350	4109440	2755057	3311521	3456883
50	347402,4	683766,7	2875628	3006115	3926549	4767498	5545537	6427547	-	3311439	-
55	743706,6	1500911	2875613	3006084	3926508	4767434	5545456	6427453	-	-	-
58	-	-	-	-	-	6113370	7092447	8218587	-	-	-
59	-	-	-	3922525	5120601	-	-	-	-	-	-
60	743705,5	1500907	4834750	-	-	-	-	-	-	-	-

	показник ефективності в безрозмірній формі											незалежна змінна в безрозмірній формі										
	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	10	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
20	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
25	3,477	3,340	3,493	3,693	3,688	3,503	3,473	3,453	1,965	1,970	1,964	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250	1,250
30	3,476	3,338	3,491	3,691	3,686	3,500	3,471	3,450	1,963	1,968	1,961	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
35	3,476	3,338	3,491	3,690	3,685	3,499	3,470	3,449	1,962	1,968	1,960	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750	1,750
40	3,476	3,337	3,490	3,690	3,685	3,499	3,470	3,449	1,962	1,968	1,960	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
45	3,476	3,337	3,490	3,690	3,685	3,499	3,469	3,449	1,962	1,968	1,960	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250
50	3,476	3,337	7,821	5,656	5,651	5,457	5,425	5,394	-	1,968	-	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500
55	7,441	7,326	7,821	5,656	5,651	5,457	5,425	5,394	-	-	-	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750
58	-	-	-	-	-	6,998	6,939	6,897	-	-	-	2,900	2,900	2,900	2,900	2,900	2,900	2,900	2,900	2,900	2,900	2,900
59	-	-	-	7,380	7,369	-	-	-	-	-	-	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950	2,950
60	7,441	7,326	13,149	-	-	-	-	-	-	-	-	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000

Таблиця Д.3 – Результати ранжирування незалежних змінних для теплообмінників системи опалення за приведеними витратами

а) залежність приведених витрат від кількості каналів по середовищу О $N_{канО}$
для різних теплових навантажень в розмірній і безрозмірній формі

$N_{канО}$, шт	Теплова потужність теплообмінника, Q, кВт							
	100	300	500	700	900	1200	1500	2000
1	10134,11	33829,05	-	45567,97	54130,56	119575,2	109043,3	-
2	5662,452	17942,85	27635,3	26892,01	32309,7	66683,94	61308,68	105356
3	17961,99	12767,77	23108,52	84543,29	40631,57	56050,04	47800,19	108053
4	8073,424	-	-	-	-	40427,95	-	64663,2
5	9283,024	28805,39	21442	-	-	45740,46	-	185303
6	14787,41	20678,93	21228,27	45480,25	-	-	-	80131,79
7	-	-	-	-	-	171657,8	-	87877,33
8	14108,56	-	-	-	-	-	-	-
9	6857,872	-	-	84536,85	-	-	-	-
10	16530,4	16854,03	36048,53	-	-	-	-	163175,9
11	17741,4	-	-	-	100545,6	-	104294,8	-

Продовження таблиці Д.3.а

N _{канО} , шт	Теплова потужність теплообмінника, Q, кВт															
	100	300	500	700	900	1200	1500	2000								
12	8068,867	-	-	-	-	-	-	-								
14	-	-	-	-	-	92814,39	-	-								
15	9279,94	35529,48	35940,22	-	-	-	-	135477,8								
18	-	-	-	45478,97	-	-	-	-								
21	-	-	-	-	-	56003,9	-	-								
22	-	-	-	-	53909,75	-	-	-								
24	14107,21	-	-	-	-	-	-	-								
25	-	18297,12	-	-	-	-	-	-								
27	15318,34	-	-	59123,94	-	-	-	-								
28	-	-	-	-	-	66637,88	-	-								
30	16529,48	20599,32	35895,24	-	-	-	-	80092,16								
33	17740,62	-	-	-	70587,56	-	77728,32	-								
35	-	-	-	-	-	77271,91	-	87847,07								
	показник ефективності в безрозмірній формі											незалежна змінна в безрозмірній формі				
	100	300	500	700	900	1200	1500	2000	100	300	500	700	900	1200	1500	2000
1	1,790	2,650	-	1,694	1,675	2,958	2,281	-	1,500	1,667	1,833	1,500	1,500	1,750	1,667	1,750
2	1,000	1,405	1,302	1,000	1,000	1,649	1,283	1,629	1,000	1,333	1,667	1,000	1,000	1,500	1,333	1,500
3	3,172	1,000	1,089	3,144	1,258	1,386	1,000	1,671	1,500	1,000	1,500	1,500	1,500	1,250	1,000	1,250
4	1,426	-	-	-	-	1,000	-	1,000	2,000	1,333	1,333	2,000	2,000	1,000	1,333	1,000
5	1,639	2,256	1,010	-	-	1,131	-	2,866	2,500	1,667	1,167	2,500	2,500	1,250	1,667	1,250
6	2,611	1,620	1,000	1,691	-	-	-	1,239	3,000	2,000	1,000	3,000	3,000	1,500	2,000	1,500
7	-	-	-	-	-	4,246	-	1,359	3,500	2,333	1,167	3,500	3,500	1,750	2,333	1,750
8	2,492	-	-	-	-	-	-	-	4,000	2,667	1,333	4,000	4,000	2,000	2,667	2,000
9	1,211	-	-	3,144	-	-	-	-	4,500	3,000	1,500	4,500	4,500	2,250	3,000	2,250
10	2,919	1,320	1,698	-	-	-	-	2,523	5,000	3,333	1,667	5,000	5,000	2,500	3,333	2,500
11	3,133	-	-	-	3,112	-	2,182	-	5,500	3,667	1,833	5,500	5,500	2,750	3,667	2,750
12	1,425	-	-	-	-	-	-	-	6,000	4,000	2,000	6,000	6,000	3,000	4,000	3,000
14	-	-	-	-	-	2,296	-	-	7,000	4,667	2,333	7,000	7,000	3,500	4,667	3,500
15	1,639	2,783	1,693	-	-	-	-	2,095	7,500	5,000	2,500	7,500	7,500	3,750	5,000	3,750
18	-	-	-	1,691	-	-	-	-	9,000	6,000	3,000	9,000	9,000	4,500	6,000	4,500
21	-	-	-	-	-	1,385	-	-	10,500	7,000	3,500	10,500	10,500	5,250	7,000	5,250
22	-	-	-	-	1,669	-	-	-	11,000	7,333	3,667	11,000	11,000	5,500	7,333	5,500
24	2,491	-	-	-	-	-	-	-	12,000	8,000	4,000	12,000	12,000	6,000	8,000	6,000
25	-	1,433	-	-	-	-	-	-	12,500	8,333	4,167	12,500	12,500	6,250	8,333	6,250
27	2,705	-	-	2,199	-	-	-	-	13,500	9,000	4,500	13,500	13,500	6,750	9,000	6,750
28	-	-	-	-	-	1,648	-	-	14,000	9,333	4,667	14,000	14,000	7,000	9,333	7,000
30	2,919	1,613	1,691	-	-	-	-	1,239	15,000	10,000	5,000	15,000	15,000	7,500	10,000	7,500
33	3,133	-	-	-	2,185	-	1,626	-	16,500	11,000	5,500	16,500	16,500	8,250	11,000	8,250
35	-	-	-	-	-	1,911	-	1,359	17,500	11,667	5,833	17,500	17,500	8,750	11,667	8,750

б) залежність приведених витрат від кількості каналів по середовищу В $N_{канВ}$ для різних теплових навантажень в розмірній і безрозмірній формі

N _{канВ} , шт	Теплова потужність теплообмінника, Q, кВт															
	100	300	500	700	900	1200	1500	2000								
1	16069,4	-	-	118399,1	180997,8	-	-	-								
2	14594,3	45268,93	-	145136,8	178483,4	198940,8	159237,6	233629,3								
3	5662,452	47580,86	84762,02	64154,92	103448,4	84493,9	295691,2	119775,8								
4	11572,35	32296,66	44150,78	76644,59	111310	197658,3	87977,57	226164								
5	7181,845	12767,77	29828,83	48538,28	50938,12	54609,08	73421,7	64663,2								
6	14674,27	25163,04	60720,24	64093,51	103285	83772,96	129568,4	116838,2								
7	8735,774	-	-	60661,4	63058,61	40427,95	59697,92	76507,53								
8	6370,236	17035,01	35417,49	77735,34	80125,09	131072,9	64229,56	162846,5								
9	-	15222,7	-	26892,01	47905,87	-	92256,85	-								
10	7152,434	19330,26	22453,31	48521,53	93771,54	54461,63	73314,27	-								
11	13057,81	20504,83	-	29925,46	32309,7	-	47800,19	-								
12	7935,683	29307,91	45446,27	54586,67	56972,09	83665,79	87303,03	116401,6								
13	14624,91	-	-	32959,33	35345,99	-	-	-								
14	8719,452	-	-	60652,11	63040,07	66583,94	-	76174,12								
15	16192,78	34042,48	21587,78	35993,42	38382,72	-	100957,8	-								
16	9503,51	-	-	66717,71	69108,38	72626,18	-	111448,4								
17	17761,09	-	-	39027,64	41419,7	-	-	-								
18	-	-	-	45500,45	47893,92	-	55013,87	-								
20	-	-	-	48534,77	50931,11	54439,72	-	-								
21	-	-	-	-	-	-	59571,25	-								
22	13050,41	-	-	29923,36	53968,39	-	-	-								
24	13834,88	16590,72	31796,96	31440,55	57005,73	60505,55	64129,29	70048,04								
26	14619,39	-	-	32957,76	60043,11	-	-	-								
27	-	17809,61	-	-	-	-	68687,73	-								
28	15403,92	-	-	34474,98	36861,56	66571,78	-	76124,55								
30	16188,48	19029,61	21228,27	35992,2	38380,28	-	73246,42	-								
32	16973,05	-	-	37509,42	39899	72638,22	-	82201,94								
33	-	20250,37	-	-	-	-	77805,27	-								
34	17757,63	-	-	39026,65	41417,74	-	-	-								
показник ефективності в безрозмірній формі																
	100	300	500	700	900	1200	1500	2000	100	300	500	700	900	1200	1500	2000
1	2,838	-	-	4,403	5,602	-	-	-	1,667	1,800	1,967	1,889	1,909	1,857	1,909	1,800
2	2,577	3,546	-	5,397	5,524	4,921	3,331	3,613	1,333	1,600	1,933	1,778	1,818	1,714	1,818	1,600
3	1,000	3,727	3,993	2,386	3,202	2,090	6,186	1,852	1,000	1,400	1,900	1,667	1,727	1,571	1,727	1,400
4	2,044	2,530	2,080	2,850	3,445	4,889	1,841	3,498	1,333	1,200	1,867	1,556	1,636	1,429	1,636	1,200
5	1,268	1,000	1,405	1,805	1,577	1,351	1,536	1,000	1,667	1,000	1,833	1,444	1,545	1,286	1,545	1,000
6	2,592	1,971	2,860	2,383	3,197	2,072	2,711	1,807	2,000	1,200	1,800	1,333	1,455	1,143	1,455	1,200
7	1,543	-	-	2,256	1,952	1,000	1,249	1,183	2,333	1,400	1,767	1,222	1,364	1,000	1,364	1,400
8	1,125	1,334	1,668	2,891	2,480	3,242	1,344	2,518	2,667	1,600	1,733	1,111	1,273	1,143	1,273	1,600
9	-	1,192	-	1,000	1,483	-	1,930	-	3,000	1,800	1,700	1,000	1,182	1,286	1,182	1,800
10	1,263	1,514	1,058	1,804	2,902	1,347	1,534	-	3,333	2,000	1,667	1,111	1,091	1,429	1,091	2,000
11	2,306	1,606	-	1,113	1,000	-	1,000	-	3,667	2,200	1,633	1,222	1,000	1,571	1,000	2,200
12	1,401	2,295	2,141	2,030	1,763	2,070	1,826	1,800	4,000	2,400	1,600	1,333	1,091	1,714	1,091	2,400

Продовження таблиці Д.3.б

	показник ефективності в безрозмірній формі									незалежна змінна в безрозмірній формі						
	100	300	500	700	900	1200	1500	2000	100	300	500	700	900	1200	1500	2000
13	2,583	-	-	1,226	1,094	-	-	-	4,333	2,600	1,567	1,444	1,182	1,857	1,182	2,600
14	1,540	-	-	2,255	1,951	1,647	-	1,178	4,667	2,800	1,533	1,556	1,273	2,000	1,273	2,800
15	2,860	2,666	1,017	1,338	1,188	-	2,112	-	5,000	3,000	1,500	1,667	1,364	2,143	1,364	3,000
16	1,678	-	-	2,481	2,139	1,796	-	1,724	5,333	3,200	1,467	1,778	1,455	2,286	1,455	3,200
17	3,137	-	-	1,451	1,282	-	-	-	5,667	3,400	1,433	1,889	1,545	2,429	1,545	3,400
18	-	-	-	1,692	1,482	-	1,151	-	6,000	3,600	1,400	2,000	1,636	2,571	1,636	3,600
20	-	-	-	1,805	1,576	1,347	-	-	6,667	4,000	1,333	2,222	1,818	2,857	1,818	4,000
21	-	-	-	-	-	-	1,246	-	7,000	4,200	1,300	2,333	1,909	3,000	1,909	4,200
22	2,305	-	-	1,113	1,670	-	-	-	7,333	4,400	1,267	2,444	2,000	3,143	2,000	4,400
24	2,443	1,299	1,498	1,169	1,764	1,497	1,342	1,083	8,000	4,800	1,200	2,667	2,182	3,429	2,182	4,800
26	2,582	-	-	1,226	1,858	-	-	-	8,667	5,200	1,133	2,889	2,364	3,714	2,364	5,200
27	-	1,395	-	-	-	-	1,437	-	9,000	5,400	1,100	3,000	2,455	3,857	2,455	5,400
28	2,720	-	-	1,282	1,141	1,647	-	1,177	9,333	5,600	1,067	3,111	2,545	4,000	2,545	5,600
30	2,859	1,490	1,000	1,338	1,188	-	1,532	-	10,000	6,000	1,000	3,333	2,727	4,286	2,727	6,000
32	2,997	-	-	1,395	1,235	1,797	-	1,271	10,667	6,400	1,067	3,556	2,909	4,571	2,909	6,400
33	-	1,586	-	-	-	-	1,628	-	11,000	6,600	1,100	3,667	3,000	4,714	3,000	6,600
34	3,136	-	-	1,451	1,282	-	-	-	11,333	6,800	1,133	3,778	3,091	4,857	3,091	6,800

в) залежність приведених витрат від кількості рядів апаратів по середовищу
О U_O для різних теплових навантажень в розмірній і безрозмірною формі
($U_B=1$)

[illegible]

г) залежність приведених витрат від кількості рядів апаратів по середовищу В U_B для різних теплових навантажень в розмірній і безрозмірною формі ($U_O=1$)

[illegible]

Продовження таблиці Д.3.2

	показник ефективності в безрозмірній формі										незалежна змінна в безрозмірній формі					
	100	300	500	700	900	1200	1500	2000	100	300	500	700	900	1200	1500	2000
4	3,307	2,777	3,106	3,075	3,008	2,941	2,880	1,611	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
5	4,080	3,392	3,809	3,766	3,678	3,589	3,507	1,922	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
6	4,853	4,009	4,512	4,458	4,347	4,236	4,134	2,233	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000

д) залежність приведених витрат від кількості рядів апаратів по середовищах О і В $U_O=U_B$ для різних теплових навантажень в розмірній і безрозмірній формі

$U_O=U_B$, шт	Теплова потужність теплообмінника, Q, кВт															
	100	300	500	700	900	1200	1500	2000	100	300	500	700	900	1200	1500	2000
1	5662,452	12767,77	21228,27	26892,01	32309,7	40427,95	47800,19	64663,2								
2	9971,151	19716,43	35878,1	45477,01	53911,23	66560,09	77696,74	104335,7								
3	14335,33	27401,01	50743,66	64071,55	75534	92726,46	107647,1	84046,39								
4	18708,88	35209,97	65645,68	82667,7	97160,36	118898,6	137606,5	104136,5								
5	23085,38	43057,98	80559,15	101264,4	118787,9	145072,6	167568,7	124238,1								
6	27463,1	50922,31	95477,4	119861,2	140415,8	171247,3	197532,2	144344,6								
	показник ефективності в безрозмірній формі										незалежна змінна в безрозмірній формі					
	100	300	500	700	900	1200	1500	2000	100	300	500	700	900	1200	1500	2000
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	1,761	1,544	1,690	1,691	1,669	1,646	1,625	1,614	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
3	2,532	2,146	2,390	2,383	2,338	2,294	2,252	1,300	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
4	3,304	2,758	3,092	3,074	3,007	2,941	2,879	1,610	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
5	4,077	3,372	3,795	3,766	3,677	3,588	3,506	1,921	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000
6	4,850	3,988	4,498	4,457	4,346	4,236	4,132	2,232	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000

е) залежність приведених витрат від площі пластини $F_{пл}$ для різних теплових навантажень в розмірній і безрозмірній формі

$F_{пл}$, м ²	Теплова потужність теплообмінника, Q, кВт															
	100	300	500	700	900	1200	1500	2000	100	300	500	700	900	1200	1500	2000
0,2	23631,01	65432,63	103780,1	-	159182	140667	-	-								
0,3	5662,452	12767,77	21228,27	-	-	134896,7	-	-								
0,6	-	20998,81	34163,7	29772,86	-	48519,55	59980	190509,6								
0,7	-	19872,9	33604,55	26892,01	32309,7	40427,95	47800,19	64663,2								
	показник ефективності в безрозмірній формі										незалежна змінна в безрозмірній формі					
	100	300	500	700	900	1200	1500	2000	100	300	500	700	900	1200	1500	2000
0,2	4,173	5,125	4,889	-	4,927	3,479	-	-	1,333	1,333	1,333	1,714	1,714	1,714	1,714	1,714
0,3	1,000	1,000	1,000	-	-	3,337	-	-	1,000	1,000	1,000	1,571	1,571	1,571	1,571	1,571
0,6	-	1,645	1,609	1,107	-	1,200	1,255	2,946	2,000	2,000	2,000	1,143	1,143	1,143	1,143	1,143
0,7	-	1,556	1,583	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2,333	2,333	2,333	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Таблиця Д.4 – Результати ранжирування незалежних змінних для теплообмінників системи опалення по капітальних вкладеннях

а) залежність капітальних вкладень від кількості каналів по середовищу О
 $N_{канО}$ для різних теплових навантажень в розмірній і безрозмірній формі

N _{канО} , шт	Теплова потужність теплообмінника, Q, кВт															
	100	300	500	700	900	1200	1500	2000								
1	29440,2	87254,45	-	124102,8	144483,1	349874,4	301438	-								
2	14725,35	42778,98	135107,9	62012,4	72144,1	174685,3	144588,3	269761,1								
3	55653,48	27977,75	46606,64	254194,2	99913,81	139288,3	100007	278598,1								
4	22610,83	-	129294,6	-	-	87331,16	-	135083,4								
5	26558,78	81081,05	-	-	-	105024	-	537293,4								
6	44997,44	52545,31	89400,88	123991,6	-	-	-	186002								
7	-	-	-	-	-	524760,4	-	211475,6								
8	42385,91	-	212802,3	-	-	-	-	-								
9	18655,33	-	-	254186	-	-	-	-								
10	50285,16	41399,17	-	-	-	-	-	462878,4								
11	54234,88	-	-	-	299660,5	-	288435,4	-								
12	22605,05	-	88834,17	-	-	-	-	-								
14	-	-	-	-	-	261880,4	-	-								
15	26554,87	102200,2	-	-	-	-	-	370565,1								
16	-	-	107938,2	-	-	-	-	-								
18	-	-	-	123990	-	-	-	-								
21	-	-	-	-	-	139229,8	-	-								
22	-	-	-	-	144203,2	-	-	-								
24	42384,2	-	88749,92	-	-	-	-	-								
25	-	45501,82	-	-	-	-	-	-								
27	46334,09	-	-	169466	-	-	-	-								
28	-	-	-	-	-	174627	-	-								
30	50283,99	52444,42	-	-	-	-	-	185951,8								
32	-	-	111132,6	-	-	-	-	-								
33	54233,9	-	-	-	199785,8	-	199843,7	-								
35	-	-	-	-	-	210024,2	-	211437,2								
	показник ефективності в безрозмірній формі											незалежна змінна в безрозмірній формі				
	100	300	500	700	900	1200	1500	2000	100	300	500	700	900	1200	1500	2000
1	1,999	3,119	-	2,001	2,003	4,006	3,014	-	1,500	1,667	1,667	1,500	1,500	1,750	1,667	1,750
2	1,000	1,529	2,899	1,000	1,000	2,000	1,446	1,997	1,000	1,333	1,333	1,000	1,000	1,500	1,333	1,500
3	3,779	1,000	1,000	4,099	1,385	1,595	1,000	2,062	1,500	1,000	1,000	1,500	1,500	1,250	1,000	1,250
4	1,536	-	2,774	-	-	1,000	-	1,000	2,000	1,333	1,333	2,000	2,000	1,000	1,333	1,000
5	1,804	2,898	-	-	-	1,203	-	3,977	2,500	1,667	1,667	2,500	2,500	1,250	1,667	1,250
6	3,056	1,878	1,918	1,999	-	-	-	1,377	3,000	2,000	2,000	3,000	3,000	1,500	2,000	1,500
7	-	-	-	-	-	6,009	-	1,566	3,500	2,333	2,333	3,500	3,500	1,750	2,333	1,750
8	2,878	-	4,566		-	-	-	-	4,000	2,667	2,667	4,000	4,000	2,000	2,667	2,000
9	1,267	-	-	4,099	-	-	-	-	4,500	3,000	3,000	4,500	4,500	2,250	3,000	2,250
10	3,415	1,480	-	-	-	-	-	3,427	5,000	3,333	3,333	5,000	5,000	2,500	3,333	2,500
11	3,683	-	-	-	4,154	-	2,884	-	5,500	3,667	3,667	5,500	5,500	2,750	3,667	2,750
12	1,535	-	1,906	-	-	-	-	-	6,000	4,000	4,000	6,000	6,000	3,000	4,000	3,000

Продовження таблиці Д.4.а

	показник ефективності в безрозмірній формі											незалежна змінна в безрозмірній формі				
	100	300	500	700	900	1200	1500	2000	100	300	500	700	900	1200	1500	2000
14	-	-	-	-	-	2,999	-	-	7,000	4,667	4,667	7,000	7,000	3,500	4,667	3,500
15	1,803	3,653	-	-	-	-	-	2,743	7,500	5,000	5,000	7,500	7,500	3,750	5,000	3,750
16	-	-	2,316	-	-	-	-	-	8,000	5,333	5,333	8,000	8,000	4,000	5,333	4,000
18	-	-	-	1,999	-	-	-	-	9,000	6,000	6,000	9,000	9,000	4,500	6,000	4,500
21	-	-	-	-	-	1,594	-	-	10,500	7,000	7,000	10,500	10,500	5,250	7,000	5,250
22	-	-	-	-	1,999	-	-	-	11,000	7,333	7,333	11,000	11,000	5,500	7,333	5,500
24	2,878	-	1,904	-	-	-	-	-	12,000	8,000	8,000	12,000	12,000	6,000	8,000	6,000
25	-	1,626	-	-	-	-	-	-	12,500	8,333	8,333	12,500	12,500	6,250	8,333	6,250
27	3,147	-	-	2,733	-	-	-	-	13,500	9,000	9,000	13,500	13,500	6,750	9,000	6,750
28	-	-	-	-	-	2,000	-	-	14,000	9,333	9,333	14,000	14,000	7,000	9,333	7,000
30	3,415	1,875	-	-	-	-	-	1,377	15,000	10,000	10,000	15,000	15,000	7,500	10,000	7,500
32	-	-	2,384	-	-	-	-	-	16,000	10,667	10,667	16,000	16,000	8,000	10,667	8,000
33	3,683	-	-	-	2,769	-	1,998	-	16,500	11,000	11,000	16,500	16,500	8,250	11,000	8,250
35	-	-	-	-	-	2,405	-	1,565	17,500	11,667	11,667	17,500	17,500	8,750	11,667	8,750

б) залежність капітальних вкладень від кількості каналів по середовищу В
 $N_{канВ}$ для різних теплових навантажень в розмірній і безрозмірній формі

$N_{канВ}$, ШТ	Теплова потужність теплообмінника, Q, кВт							
	100	300	500	700	900	1200	1500	2000
1	46009,84	-	-	364671,9	561692	-	-	-
2	44140,52	94506,36	-	455768,1	558505,7	612694,3	465380,2	681644,7
3	14725,35	137268,2	373673,6	186080,3	308880,5	232546,7	924365,4	313087,4
4	34482,92	88443,09	102374,3	227804,7	335345,1	611069	232465,7	672184,2
5	19870,91	27977,75	113275	134130,1	134174,2	134330,6	184991,4	135083,4
6	44854,06	69027,19	175382,7	186002,5	308673,4	231633,1	372257	309364,8
7	25060,25	-	-	174546	174586,8	87331,16	139415,5	175146
8	17232,34	43097,38	46606,64	231474,6	231505,9	389497,7	154553	463304,9
9	-	37721,81	142038,5	62012,4	124068,4	-	248127,5	-
10	19833,64	50836,21	54179,56	134108,9	276983,8	134143,8	184855,2	-
11	39444,29	54739,77	58105,13	72119,75	72144,1	-	100007	-
12	22436,27	84655,59	86941,81	154321,3	154347,2	231497,3	231610,9	308811,4
13	44650,32	-	-	82227,63	82255,05	-	-	-
14	25039,56	-	-	174534,2	174563,3	174558,6		174723,5
15	49857,31	100315,8	102831,5	92335,79	92366,55	-	277099,4	-
16	27643,22	-	-	194747,2	194779,7	194742,1	-	292295,7
17	55064,86	-	-	102444,1	102478,4	-	-	-
18	-	-	-	124017,2	124053,3	-	124084,8	-
20	-	-	-	134125,7	134165,4	134116	-	-
21	-	-	-	-	-	-	139254,9	-
22	39434,92	-	-	72117,08	144277,5	-	-	-
24	42039,09	42534,36	88625,16	77171,35	154389,8	154329,4	154425,9	154433,8
26	44643,31	-	-	82225,64	164502,1	-	-	-
27	-	46494,07	96933,93	-	-	-	169597,4	-
28	47247,57	-	-	87279,93	87307,26	174543,2	-	174660,7

Продовження таблиці Д.4.6

N _{канВ} , ШТ			Теплова потужність теплообмінника, Q, кВт															
			100		300		500		700		900		1200		1500		2000	
30			49851,86		50455,21		52627,13		92334,24		92363,46		-		184769,2		-	
32			52456,16		-		-		97388,55		97419,67		194757,3		-		194888,6	
33			-		54417,3		56791,19		-		-		-		199941,3		-	
34			55060,49		-		-		102442,9		102475,9		-		-		-	
	показник ефективності в безрозмірній формі												незалежна змінна в безрозмірній формі					
	100	300	500	700	900	1200	1500	2000	100	300	500	700	900	1200	1500	2000		
1	3,125	-	-	5,881	7,786	-	-	-	1,667	1,800	1,875	1,889	1,909	1,857	1,909	1,800		
2	2,998	3,378	-	7,350	7,742	7,016	4,653	5,046	1,333	1,600	1,750	1,778	1,818	1,714	1,818	1,600		
3	1,000	4,906	8,018	3,001	4,281	2,663	9,243	2,318	1,000	1,400	1,625	1,667	1,727	1,571	1,727	1,400		
4	2,342	3,161	2,197	3,674	4,648	6,997	2,324	4,976	1,333	1,200	1,500	1,556	1,636	1,429	1,636	1,200		
5	1,349	1,000	2,430	2,163	1,860	1,538	1,850	1,000	1,667	1,000	1,375	1,444	1,545	1,286	1,545	1,000		
6	3,046	2,467	3,763	2,999	4,279	2,652	3,722	2,290	2,000	1,200	1,250	1,333	1,455	1,143	1,455	1,200		
7	1,702	-	-	2,815	2,420	1,000	1,394	1,297	2,333	1,400	1,125	1,222	1,364	1,000	1,364	1,400		
8	1,170	1,540	1,000	3,733	3,209	4,460	1,545	3,430	2,667	1,600	1,000	1,111	1,273	1,143	1,273	1,600		
9	-	1,348	3,048	1,000	1,720	-	2,481	-	3,000	1,800	1,125	1,000	1,182	1,286	1,182	1,800		
10	1,347	1,817	1,162	2,163	3,839	1,536	1,848	-	3,333	2,000	1,250	1,111	1,091	1,429	1,091	2,000		
11	2,679	1,957	1,247	1,163	1,000	-	1,000	-	3,667	2,200	1,375	1,222	1,000	1,571	1,000	2,200		
12	1,524	3,026	1,865	2,489	2,139	2,651	2,316	2,286	4,000	2,400	1,500	1,333	1,091	1,714	1,091	2,400		
13	3,032	-	-	1,326	1,140	-	-	-	4,333	2,600	1,625	1,444	1,182	1,857	1,182	2,600		
14	1,700	-	-	2,815	2,420	1,999	-	1,293	4,667	2,800	1,750	1,556	1,273	2,000	1,273	2,800		
15	3,386	3,586	2,206	1,489	1,280	-	2,771	-	5,000	3,000	1,875	1,667	1,364	2,143	1,364	3,000		
16	1,877	-	-	3,140	2,700	2,230	-	2,164	5,333	3,200	2,000	1,778	1,455	2,286	1,455	3,200		
17	3,739	-	-	1,652	1,420	-	-	-	5,667	3,400	2,125	1,889	1,545	2,429	1,545	3,400		
18	-	-	-	2,000	1,720	-	1,241	-	6,000	3,600	2,250	2,000	1,636	2,571	1,636	3,600		
20	-	-	-	2,163	1,860	1,536	-	-	6,667	4,000	2,500	2,222	1,818	2,857	1,818	4,000		
21	-	-	-	-	-	-	1,392	-	7,000	4,200	2,625	2,333	1,909	3,000	1,909	4,200		
22	2,678	-	-	1,163	2,000	-	-	-	7,333	4,400	2,750	2,444	2,000	3,143	2,000	4,400		
24	2,855	1,520	1,902	1,244	2,140	1,767	1,544	1,143	8,000	4,800	3,000	2,667	2,182	3,429	2,182	4,800		
26	3,032	-	-	1,326	2,280	-	-	-	8,667	5,200	3,250	2,889	2,364	3,714	2,364	5,200		
27	-	1,662	2,080	-	-	-	1,696	-	9,000	5,400	3,375	3,000	2,455	3,857	2,455	5,400		
28	3,209	-	-	1,407	1,210	1,999	-	1,293	9,333	5,600	3,500	3,111	2,545	4,000	2,545	5,600		
30	3,385	1,803	1,129	1,489	1,280	-	1,848	-	10,000	6,000	3,750	3,333	2,727	4,286	2,727	6,000		
32	3,562	-	-	1,570	1,350	2,230	-	1,443	10,667	6,400	4,000	3,556	2,909	4,571	2,909	6,400		
33	-	1,945	1,219	-	-	-	1,999	-	11,000	6,600	4,125	3,667	3,000	4,714	3,000	6,600		
34	3,739	-	-	1,652	1,420	-	-	-	11,333	6,800	4,250	3,778	3,091	4,857	3,091	6,800		

в) залежність капітальних вкладень від кількості рядів апаратів по середовищу $O(U_0)$ для різних теплових навантажень в розм. і безрозм. формі ($U_B=1$)

[illegible]

г) залежність капітальних вкладень від кількості рядів апаратів по середовищу О U_B для різних теплових навантажень в розм. і безрозм. формі ($U_O=1$)

U _в , шт			Теплова потужність теплообмінника, Q, кВт															
			100		300		500		700		900		1200		1500		2000	
1			14725,35		27977,75		46606,64		62012,4		72144,1		87331,16		100007		135083,4	
2			29248,04		53318,17		86868		123999,8		144235		174540,9		199863,6		268540,8	
3			43829,77		79401,75		128459,7		185989,6		216329,4		261784,2		299741,4		201245,8	
4			58421,48		105610,9		170276,2		247979,8		288424,3		349033,1		399622,6		268262,8	
5			73016,32		131859,5		212163,3		309970,2		360519,4		436283,9		499505,1		335292,9	
6			87612,47		158124,6		254079,9		371960,6		432614,6		523535,4		599387,9		402328,5	
			показник ефективності в безрозмірній формі									незалежна змінна в безрозмірній формі						
	100	300	500	700	900	1200	1500	2000	100	300	500	700	900	1200	1500	2000		
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		
2	1,986	1,906	1,864	2,000	1,999	1,999	1,998	1,988	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000		
3	2,976	2,838	2,756	2,999	2,999	2,998	2,997	1,490	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000		
4	3,967	3,775	3,653	3,999	3,998	3,997	3,996	1,986	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000		
5	4,959	4,713	4,552	4,999	4,997	4,996	4,995	2,482	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000		
6	5,950	5,652	5,452	5,998	5,997	5,995	5,993	2,978	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000		

д) залежність капітальних вкладень від кількості рядів апаратів по середовищах О і В $U_O=U_B$ для різних теплових навантажень в розм. і безрозм. формі

U ₀ =U _B , шт			Теплова потужність теплообмінника, Q, кВт															
			100		300		500		700		900		1200		1500		2000	
1			14725,35		27977,75		46606,64		62012,4		72144,1		87331,16		100007		135083,4	
2			29233,69		53076,83		85294,64		123987,5		144205,1		174528,4		199803,7		268468,2	
3			43812,34		79108,52		126548,1		185974,7		216293		261769		299668,6		201201,6	
4			58402,86		105297,8		168235,1		247963,9		288385,5		349017		399544,9		268215,7	
5			72997,12		131536,6		210058,2		309953,8		360479,4		436267,2		499424,9		335244,3	
6			87592,94		157796,1		251938,2		371944		432573,9		523518,4		599306,4		402279,1	
			показник ефективності в безрозмірній формі									незалежна змінна в безрозмірній формі						
	100	300	500	700	900	1200	1500	2000	100	300	500	700	900	1200	1500	2000		
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000		
2	1,985	1,897	1,830	1,999	1,999	1,998	1,998	1,987	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000		
3	2,975	2,828	2,715	2,999	2,998	2,997	2,996	1,489	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000		
4	3,966	3,764	3,610	3,999	3,997	3,996	3,995	1,986	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000		
5	4,957	4,701	4,507	4,998	4,997	4,996	4,994	2,482	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000		
6	5,948	5,640	5,406	5,998	5,996	5,995	5,993	2,978	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000		

е) залежність капітальних вкладень від площі пластини $F_{пл}$ для різних теплових навантажень в розмірній і безрозмірній формі

F _{пл} , м ²	Теплова потужність теплообмінника, Q, кВт															
	100	300	500	700	900	1200	1500	2000								
0,2	74679,05	204798,6	143001,6	-	452791,8	353349,7	-	-								
0,3	14725,35	27977,75	46606,64	-	-	211416,3	-	-								
0,6	-	57716,58	-	67292,18	-	98772,75	116218,4	357596,7								
0,7	-	54414,18	77153,98	62012,4	72144,1	87331,16	100007	135083,4								
	показник ефективності в безрозмірній формі								незалежна змінна в безрозмірній формі							
	100	300	500	700	900	1200	1500	2000	100	300	500	700	900	1200	1500	2000
0,2	5,071	7,320	3,068	-	6,276	4,046	-	-	1,333	1,333	1,333	1,714	1,714	1,714	1,714	1,714
0,3	1,000	1,000	1,000	-	-	2,421	-	-	1,000	1,000	1,000	1,571	1,571	1,571	1,571	1,571
0,6	-	2,063	-	1,085	-	1,131	1,162	2,647	2,000	2,000	2,000	1,143	1,143	1,143	1,143	1,143
0,7	-	1,945	1,655	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2,333	2,333	2,333	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

ГРАФІКИ РЕЗУЛЬТАТІВ РАНЖУВАННЯ НЕЗАЛЕЖНИХ ЗМІННИХ

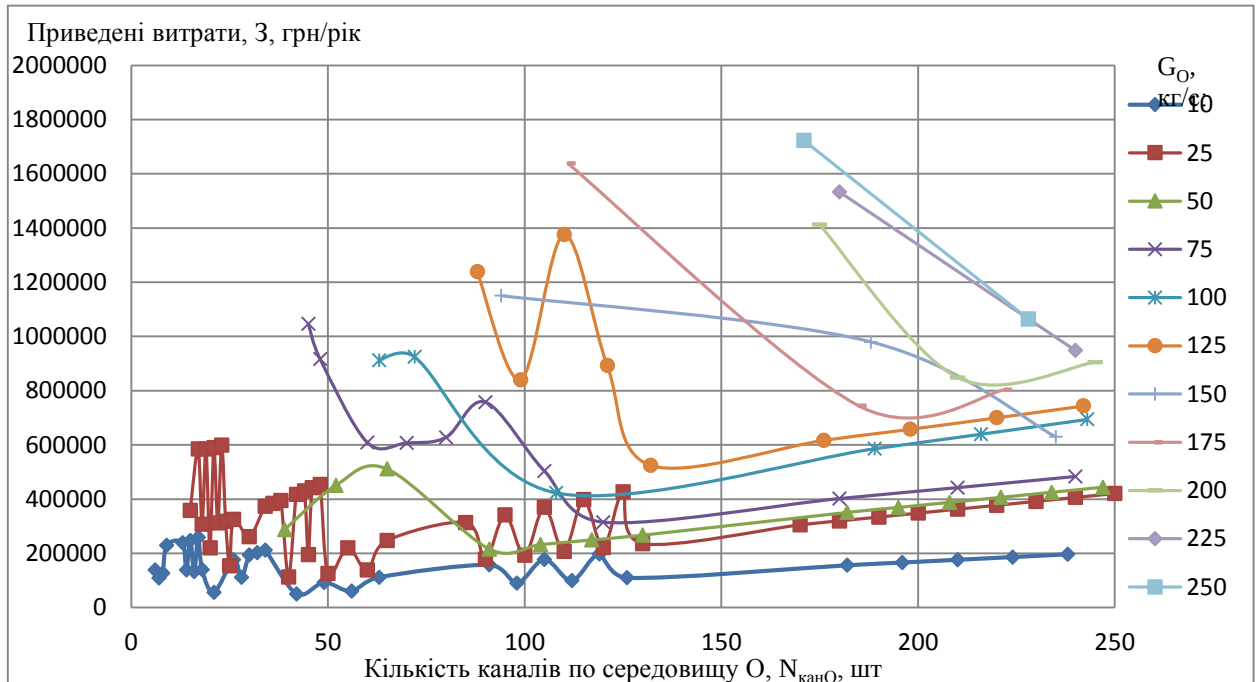


Рисунок Е.1 – Залежність приведених витрат на маслоохолоджувач від кількості каналів по середовищу О $N_{канО}$ в абсолютних величинах для різних витрат мастила

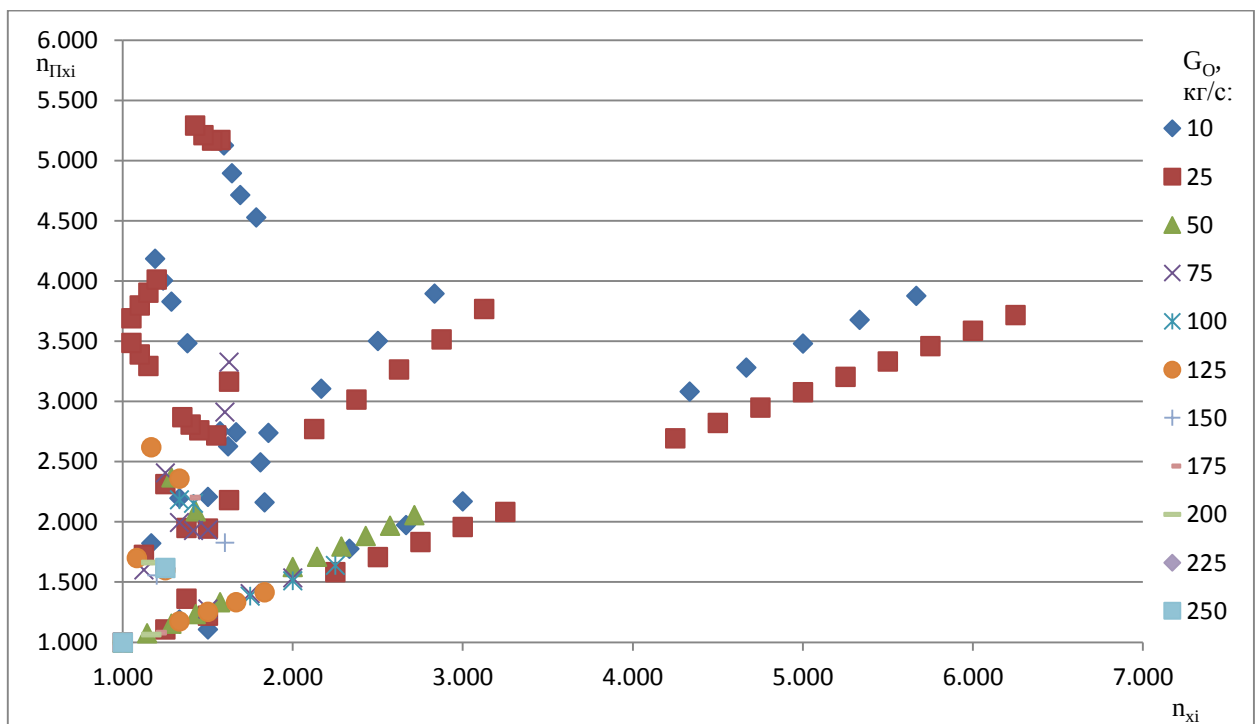


Рисунок Е.2 – Залежність приведених витрат на маслоохолоджувач від кількості каналів по середовищу О $N_{канО}$ в безрозмірному вигляді для різних витрат мастила

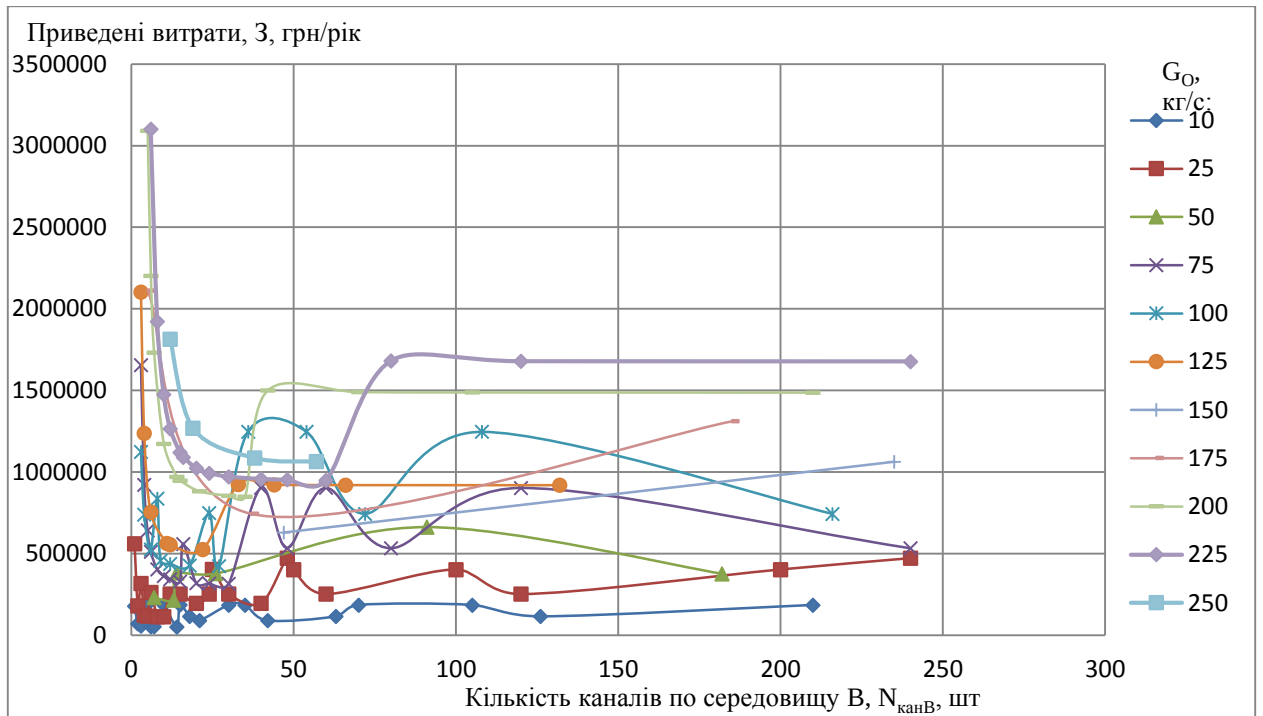


Рисунок Е.3 – Залежність приведених витрат на маслоохолоджувач від кількості каналів по середовищу В $N_{\text{канВ}}$ в абсолютних величинах для різних витрат мастила

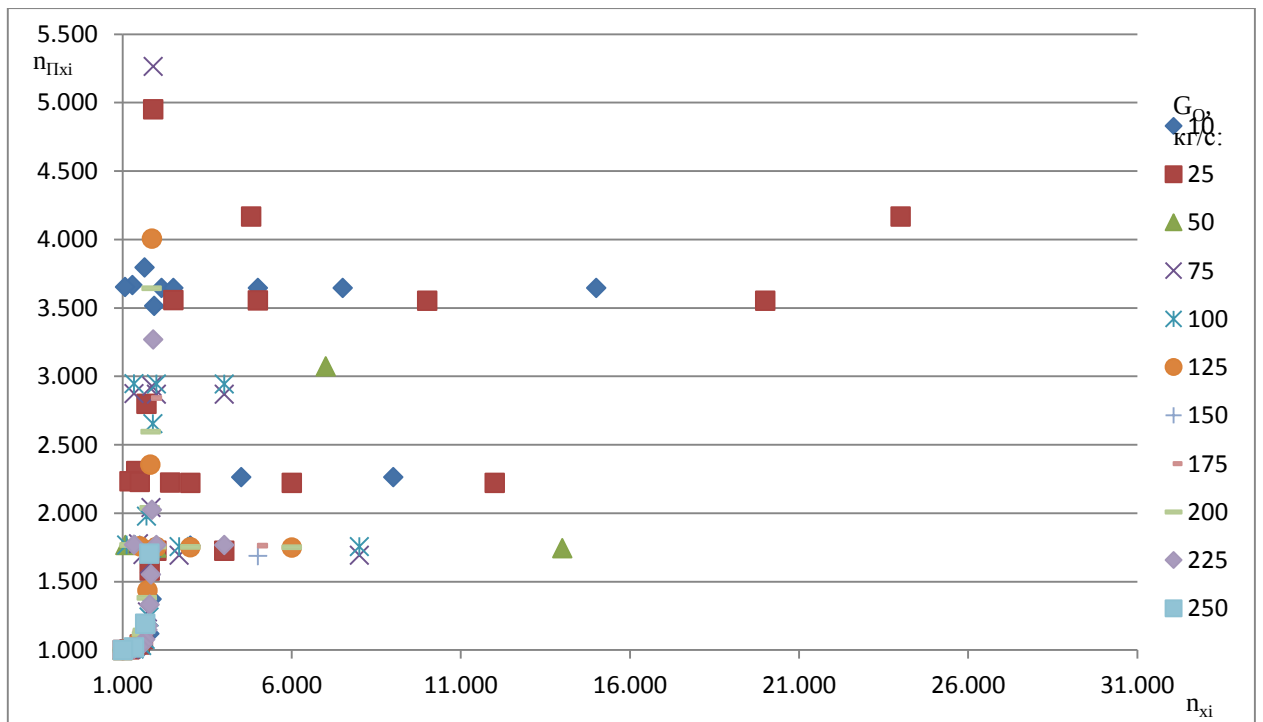


Рисунок Е.4 – Залежність приведених витрат на маслоохолоджувач від кількості каналів по середовищу В $N_{\text{канВ}}$ в безрозмірному вигляді для різних витрат мастила

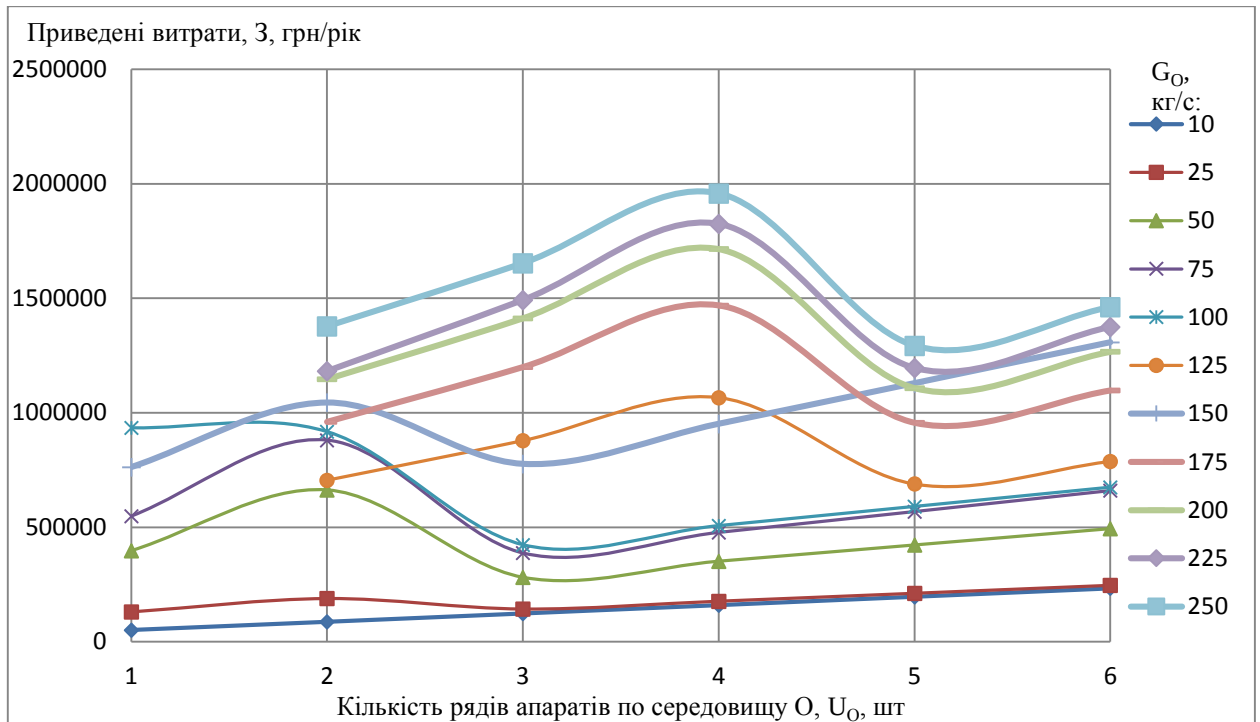


Рисунок Е.5 – Залежність приведених витрат на маслоохолоджувач від кількості рядів апаратів по середовищу O, U_O (при $U_B = 1$) в абсолютних величинах для різних витрат мастила

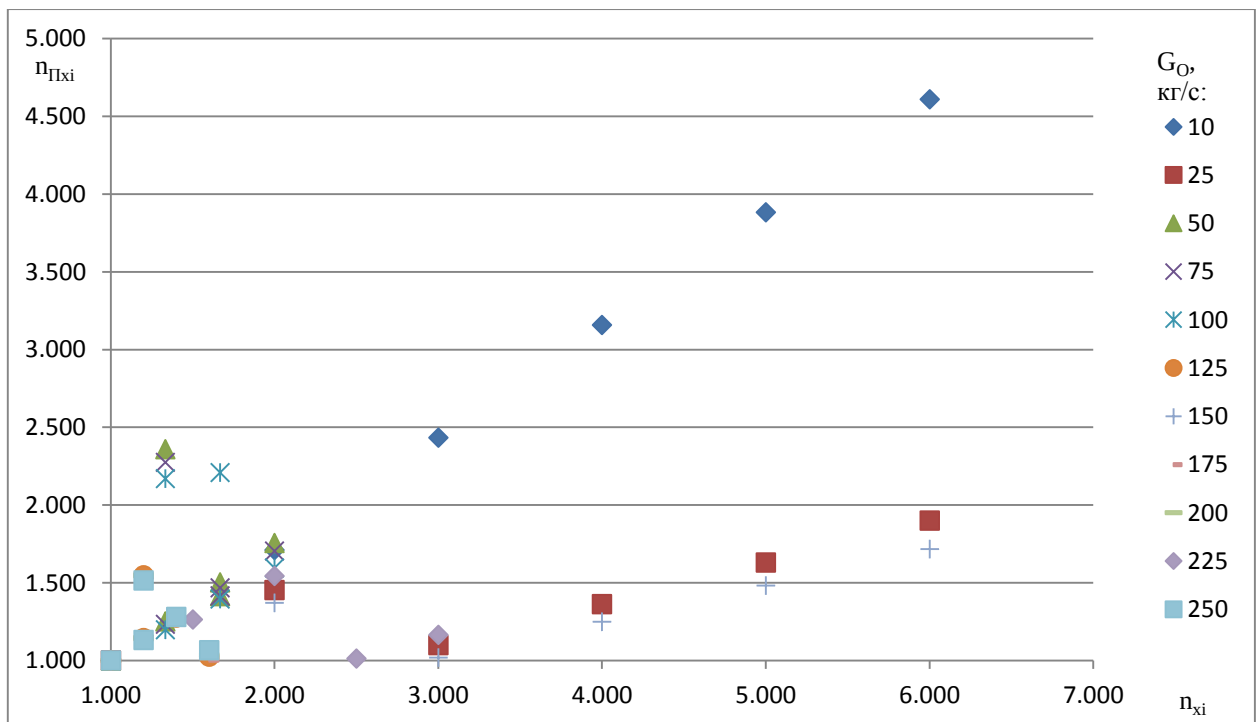


Рисунок Е.6 – Залежність приведених витрат на маслоохолоджувач від кількості рядів апаратів по середовищу O, U_O (при $U_B = 1$) в безрозмірному вигляді для різних витрат мастила

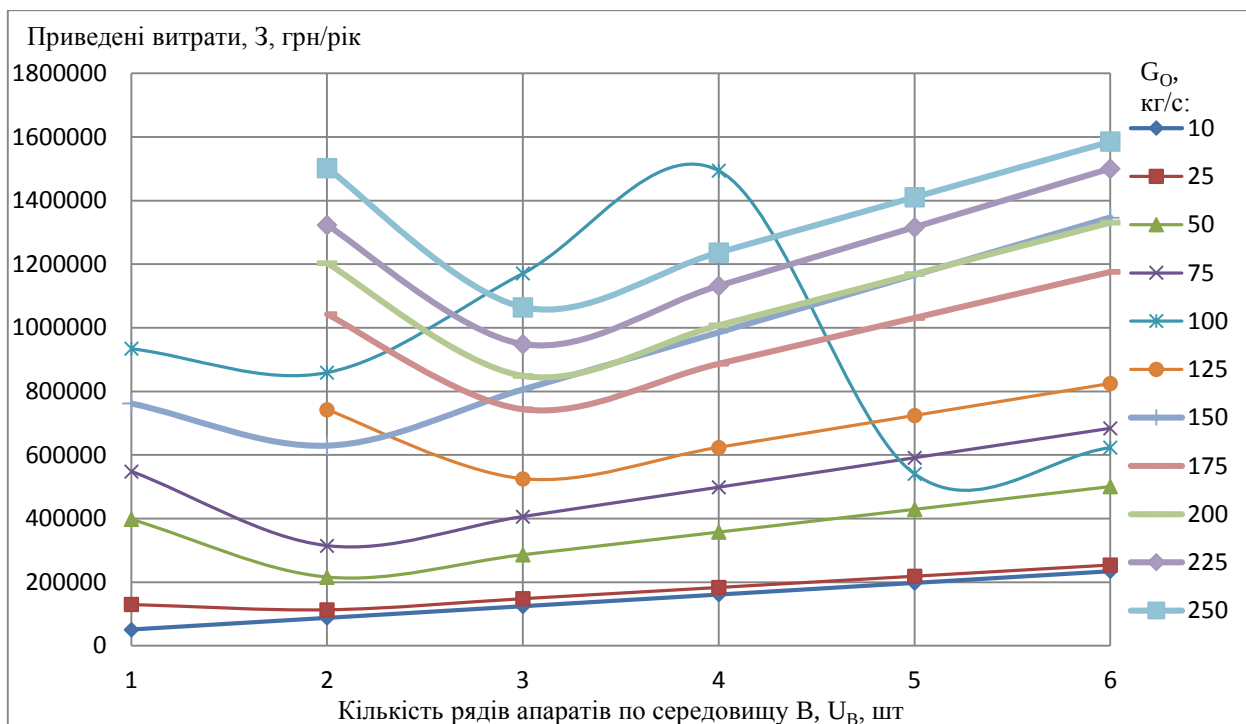


Рисунок Е.7 – Залежність приведених витрат на маслоохолоджувач від кількості рядів апаратів по середовищу В U_B (при $U_O = 1$) в абсолютних величинах для різних витрат мастила

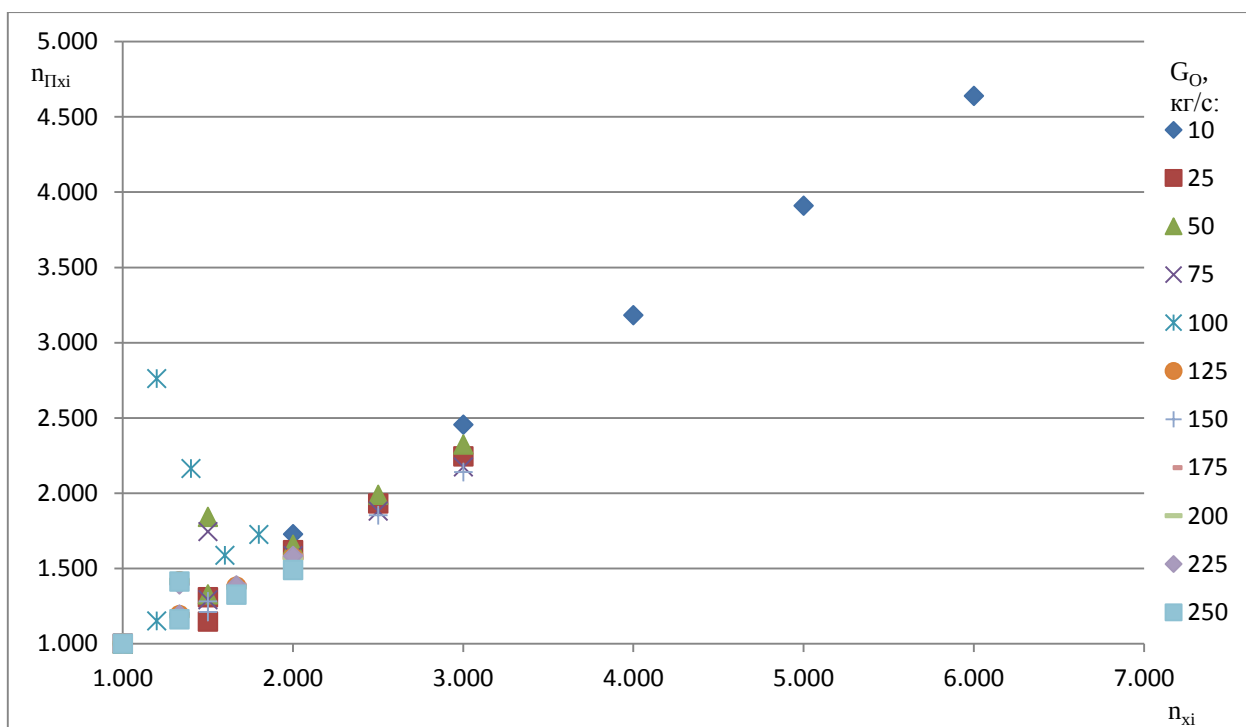


Рисунок Е.8 – Залежність приведених витрат на маслоохолоджувач від кількості рядів апаратів по середовищу В U_B (при $U_O = 1$) в безрозмірному вигляді для різних витрат мастила

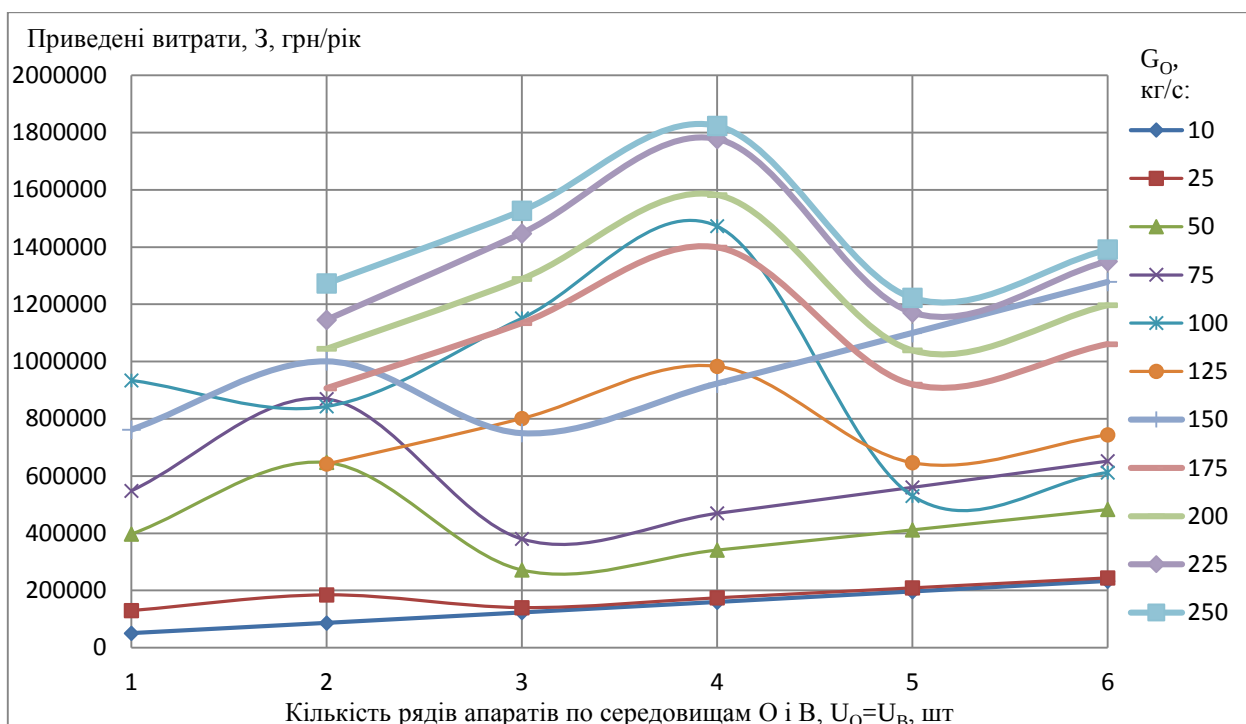


Рисунок Е.9 – Залежність приведених витрат на маслоохолоджувач від кількості рядів апаратів по середовищам О і В $U_O = U_B$ в абсолютних величинах для різних витрат мастила

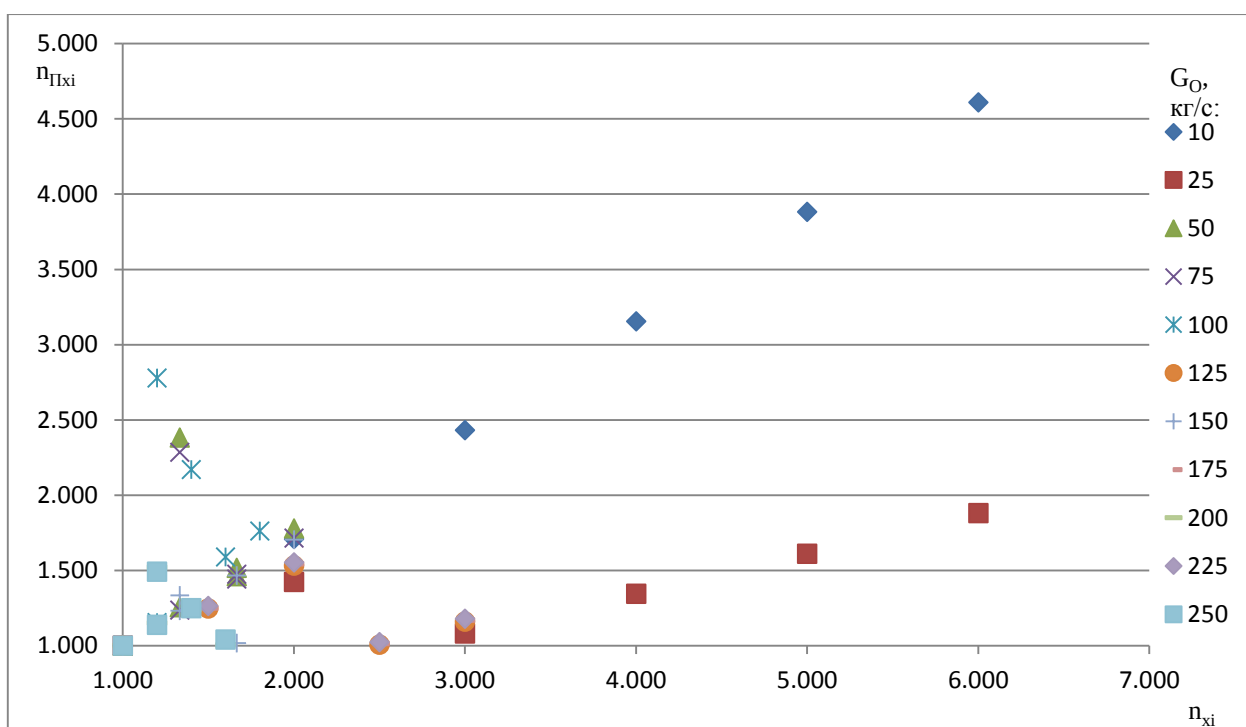


Рисунок Е.10 – Залежність приведених витрат на маслоохолоджувач від кількості рядів апаратів по середовищам О і В $U_O = U_B$ в безрозмірному вигляді для різних витрат мастила

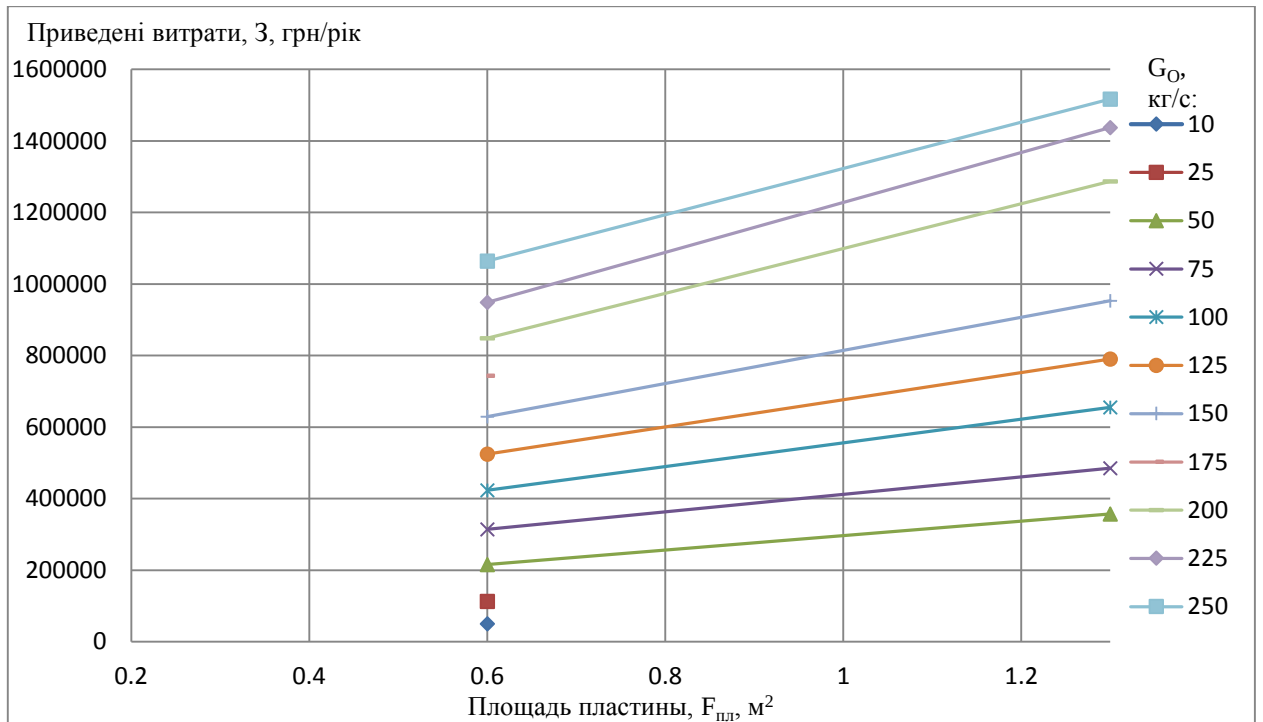


Рисунок E.11 – Залежність приведених витрат на маслоохолоджувач від площі пластины $F_{пл}$ в абсолютних величинах для різних витрат мастила

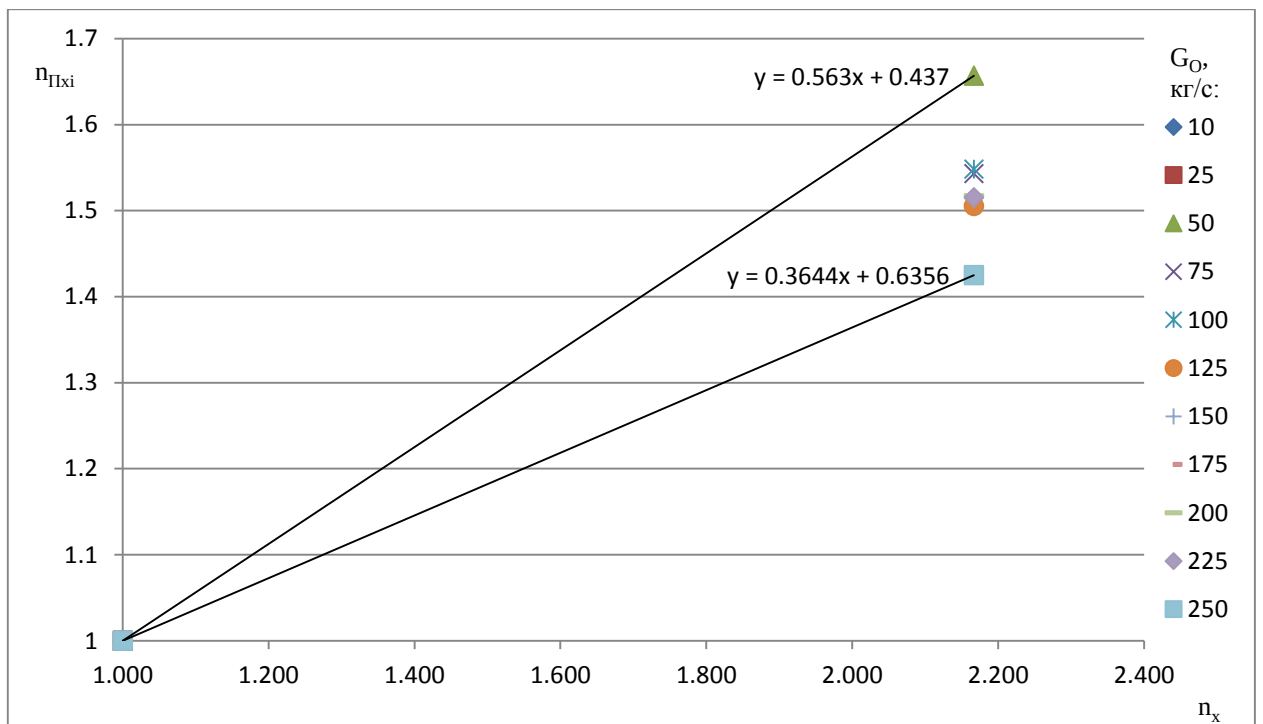


Рисунок E.12 – Залежність приведених витрат на маслоохолоджувач від площі пластины $F_{пл}$ в безрозмірному вигляді для різних витрат мастила

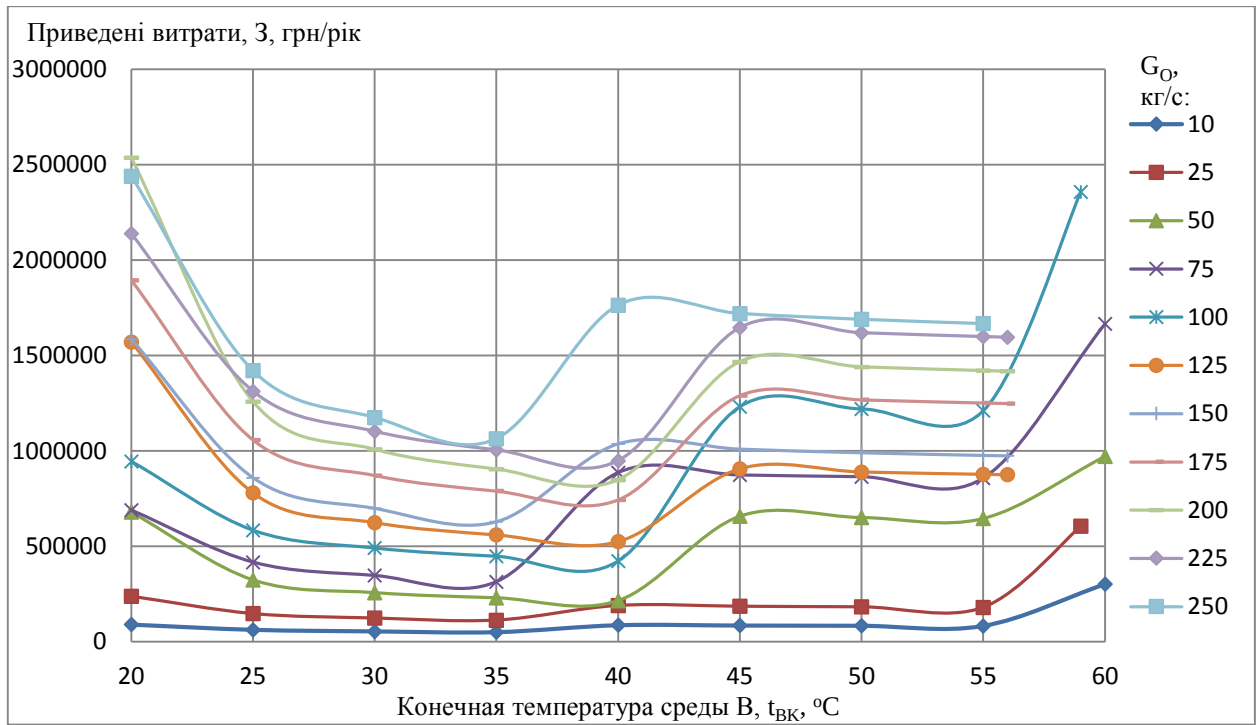


Рисунок E.13 – Залежність приведених витрат на маслоохолоджувач від кінцевої температури середовища В t_{BK} в абсолютних величинах для різних витрат мастила

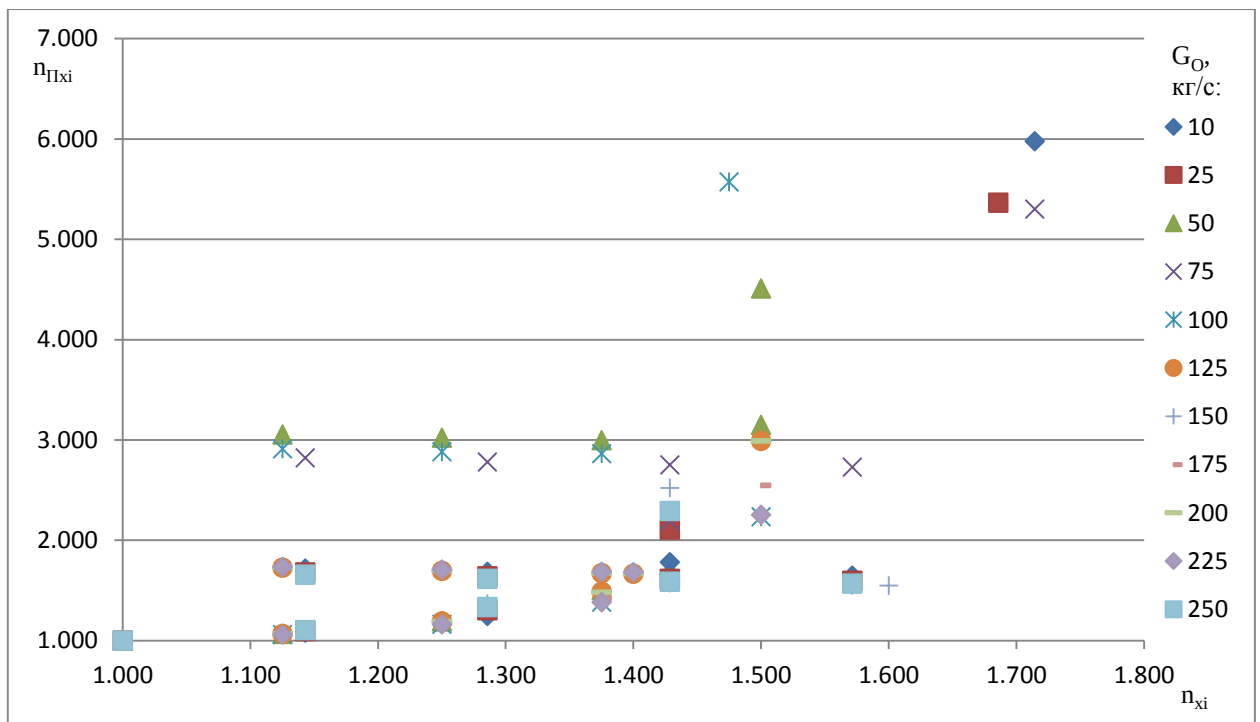


Рисунок E.14 – Залежність приведених витрат на маслоохолоджувач від кінцевої температури середовища В t_{BK} в безрозмірному вигляді для різних витрат мастила

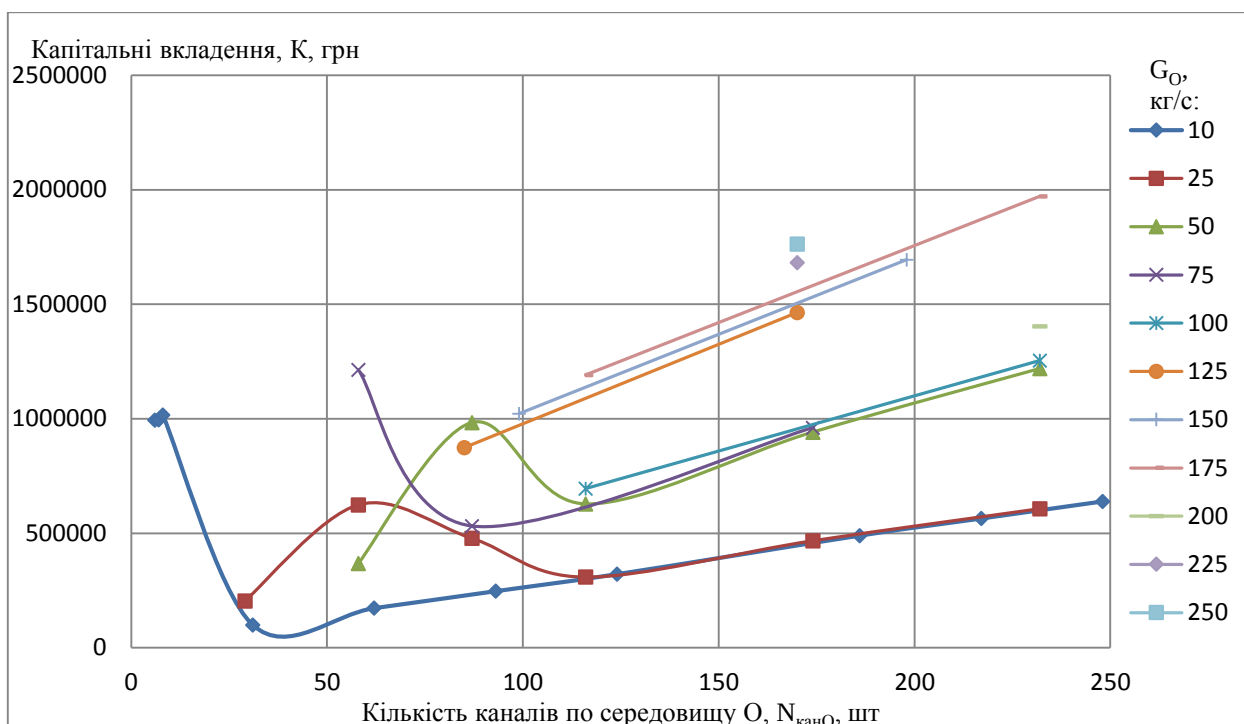


Рисунок E.15 – Залежність капітальних вкладень в маслоохолоджувач від кількості каналів по середовищу О $N_{канО}$ в абсолютних величинах для різних витрат мастила

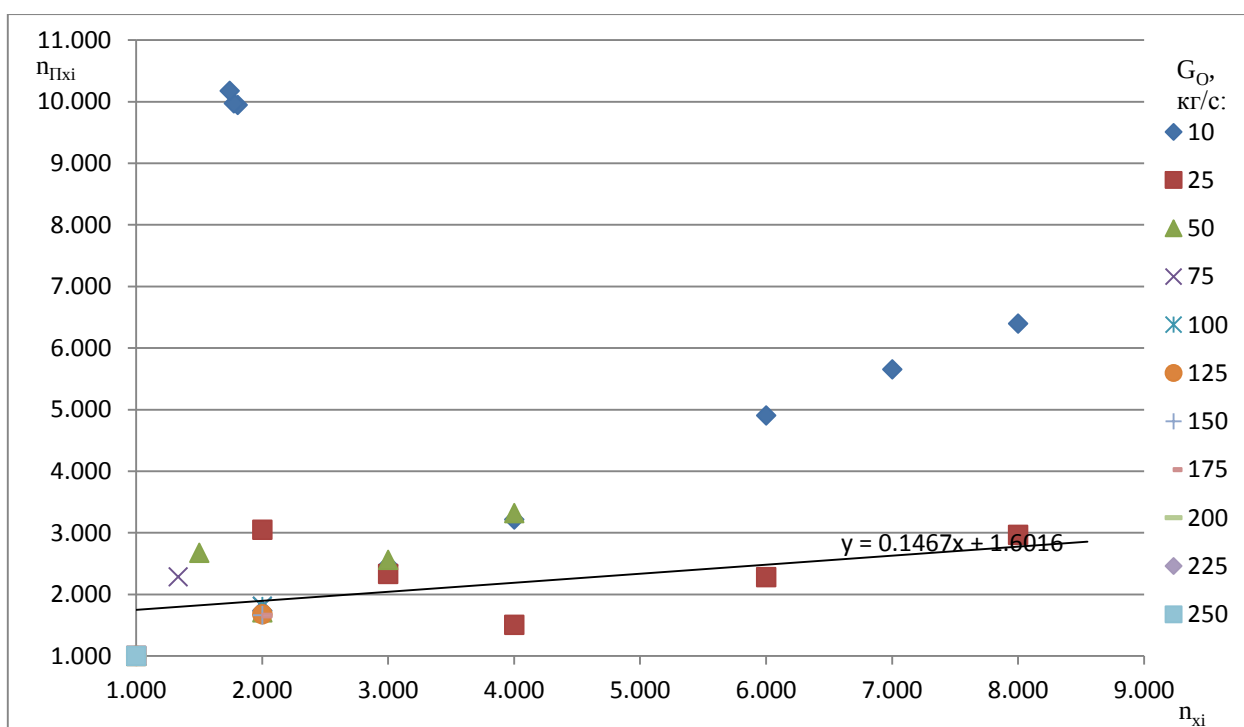


Рисунок E.16 – Залежність капітальних вкладень в маслоохолоджувач від кількості каналів по середовищу О $N_{канО}$ в безрозмірному вигляді для різних витрат мастила

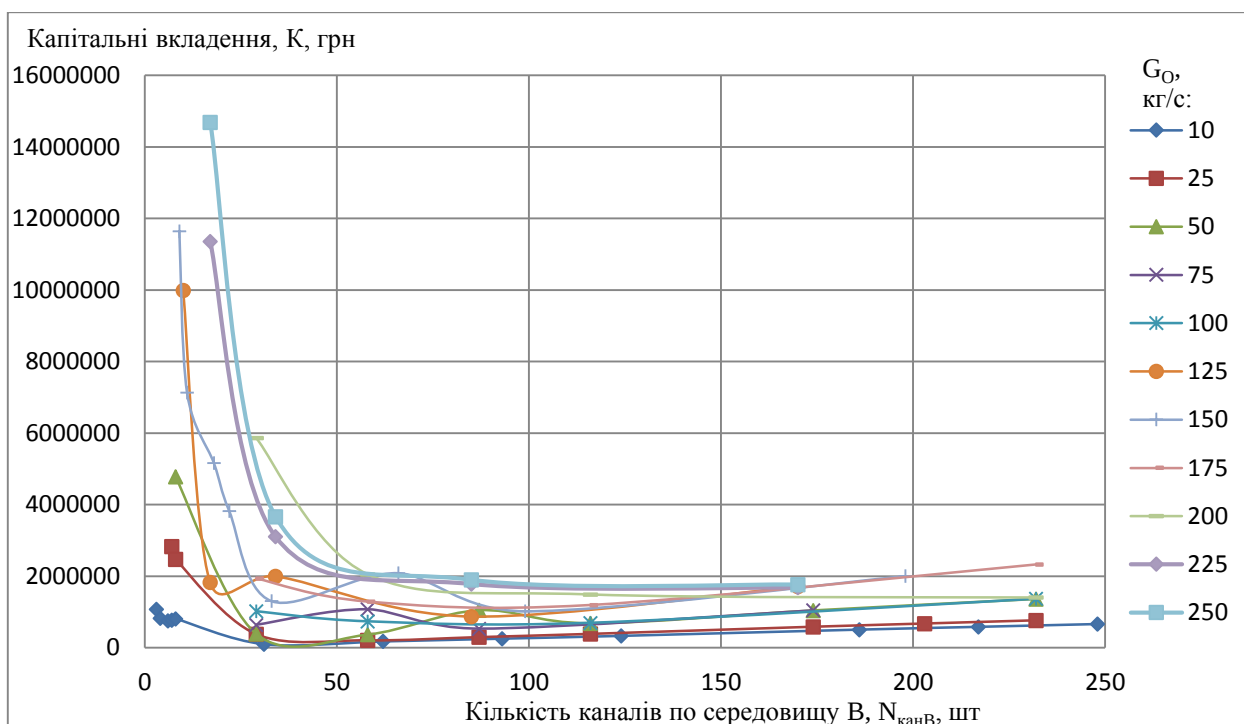


Рисунок E.17 – Залежність капітальних вкладень в маслоохолоджувач від кількості каналів по середовищу В $N_{канВ}$ в абсолютних величинах для різних витрат мастила

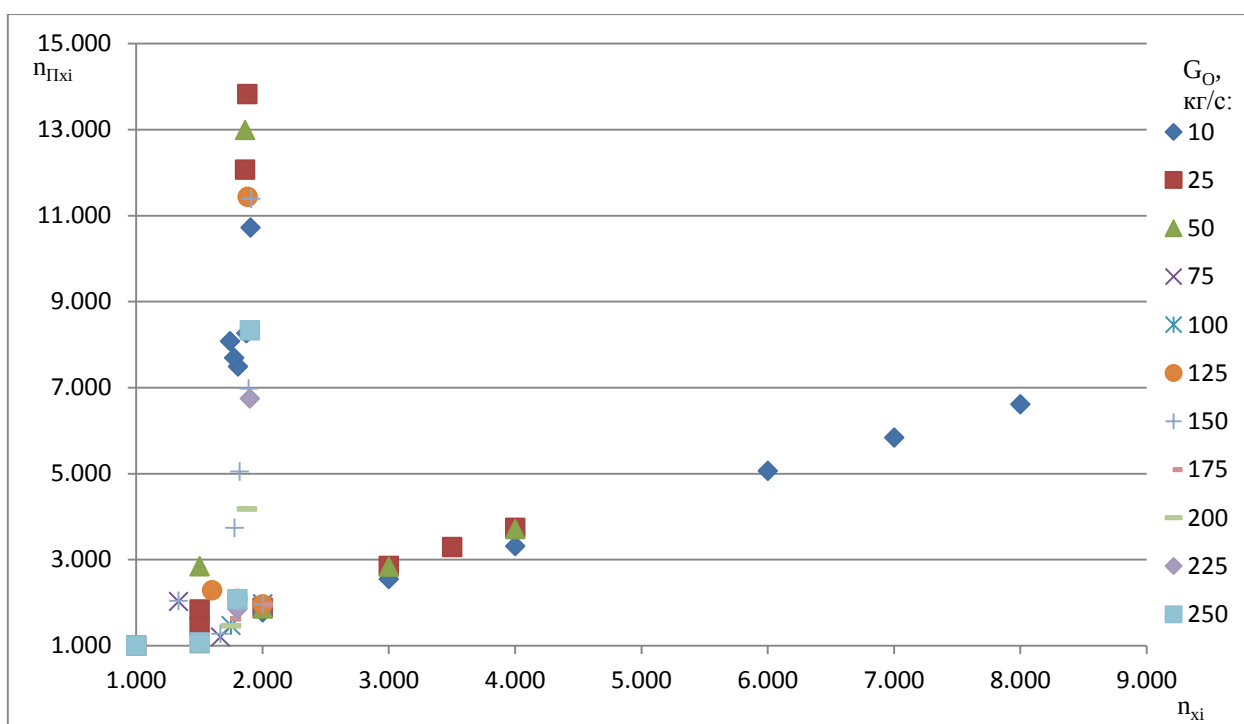


Рисунок E.18 – Залежність капітальних вкладень в маслоохолоджувач від кількості каналів по середовищу В $N_{канВ}$ в безрозмірному вигляді для різних витрат мастила

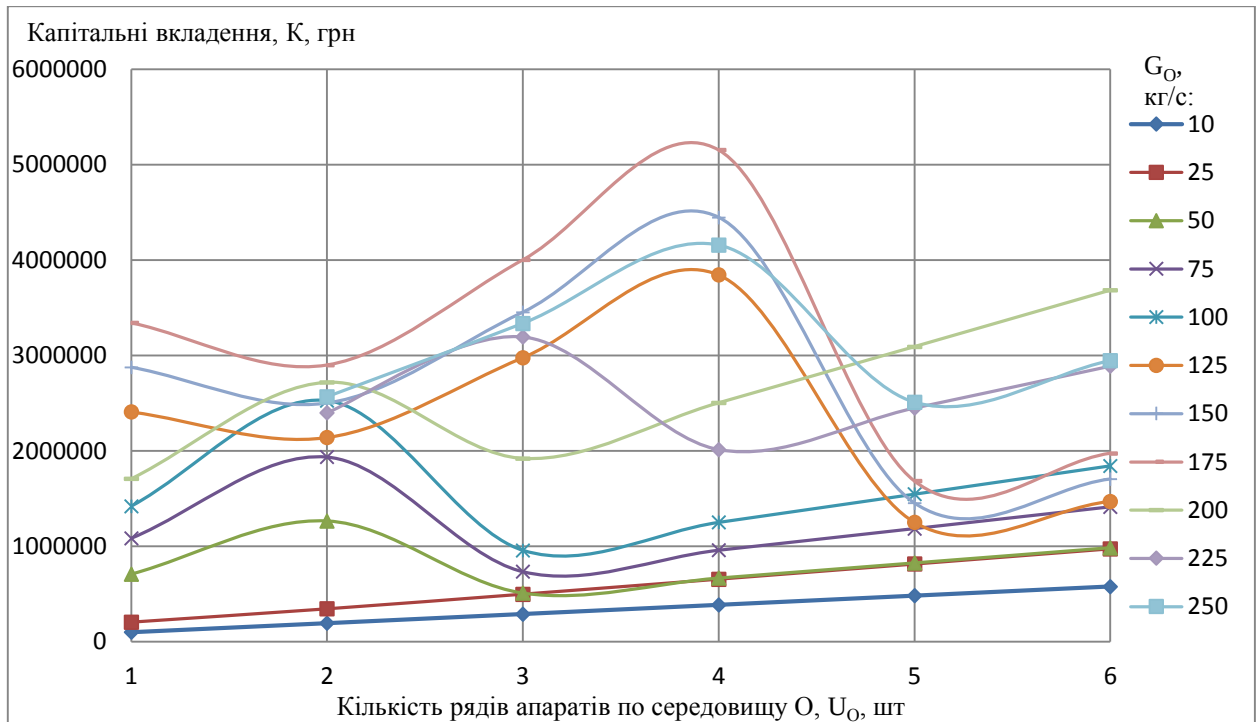


Рисунок Е.19 – Залежність капітальних вкладень в маслоохолоджувач від кількості рядів апаратів по середовищу O U_O (при $U_B = 1$) в абсолютних величинах для різних витрат мастила

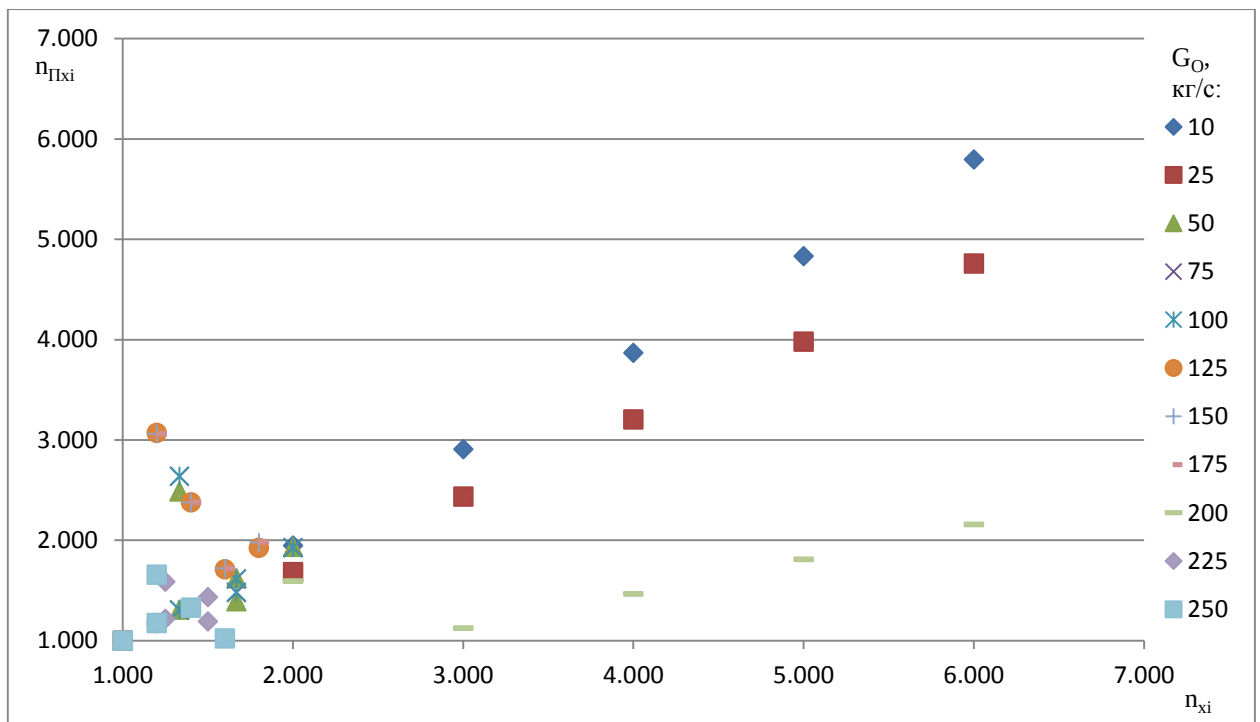


Рисунок Е.20 – Залежність капітальних вкладень в маслоохолоджувач від кількості рядів апаратів по середовищу O U_O (при $U_B = 1$) в безрозмірному вигляді для різних витрат мастила

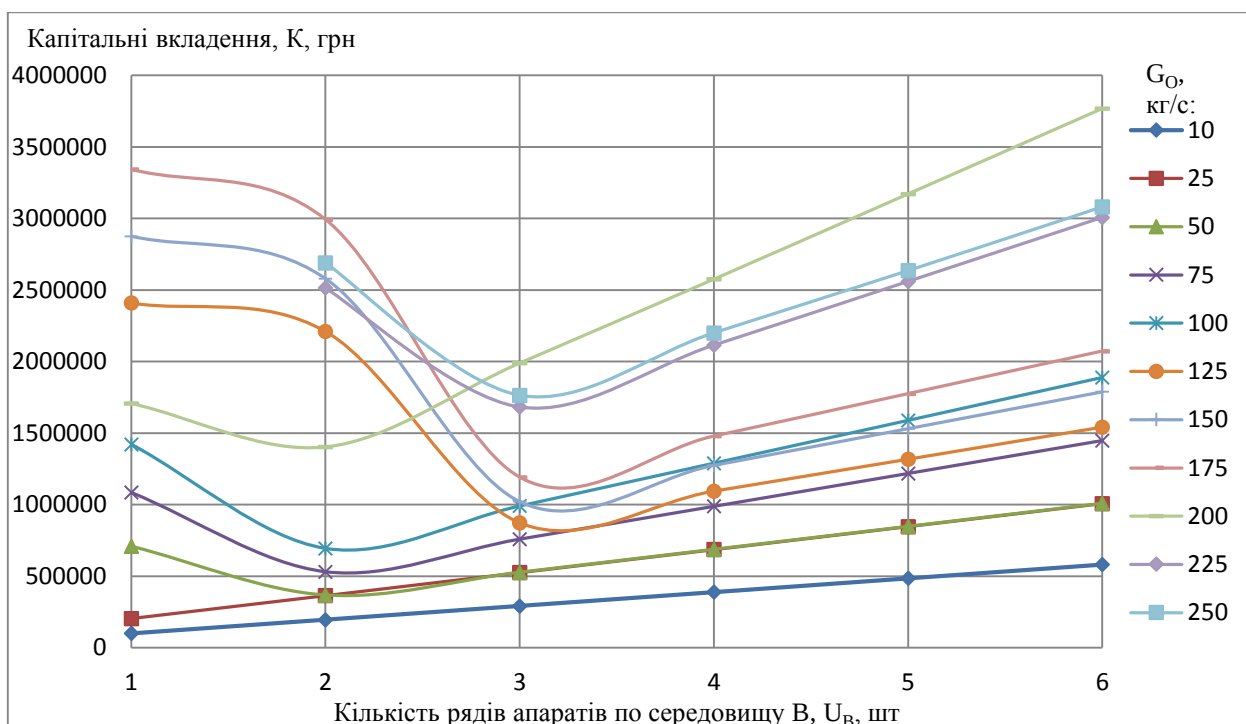


Рисунок Е.21 – Залежність капітальних вкладень в маслоохолоджувач від кількості рядів апаратів по середовищу В U_B (при $U_O = 1$) в абсолютних величинах для різних витрат мастила

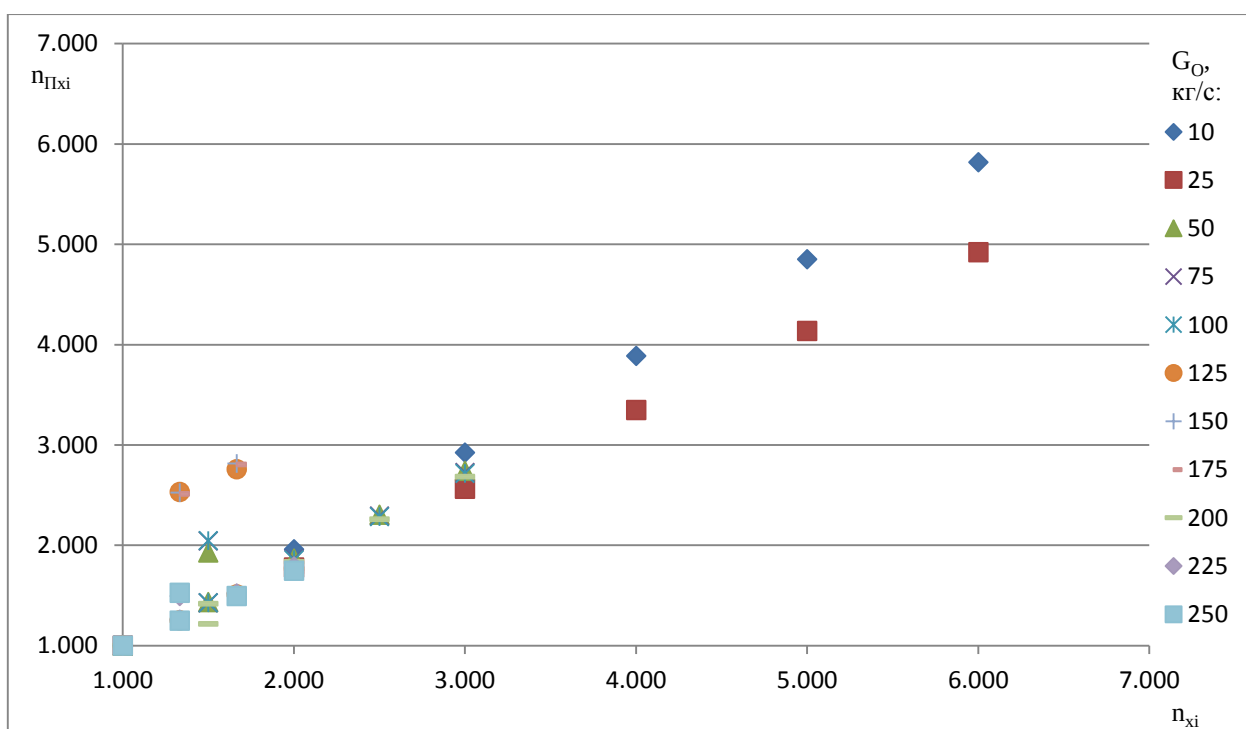


Рисунок Е.22 – Залежність капітальних вкладень в маслоохолоджувач від кількості рядів апаратів по середовищу В U_B (при $U_O = 1$) в безрозмірному вигляді для різних витрат мастила

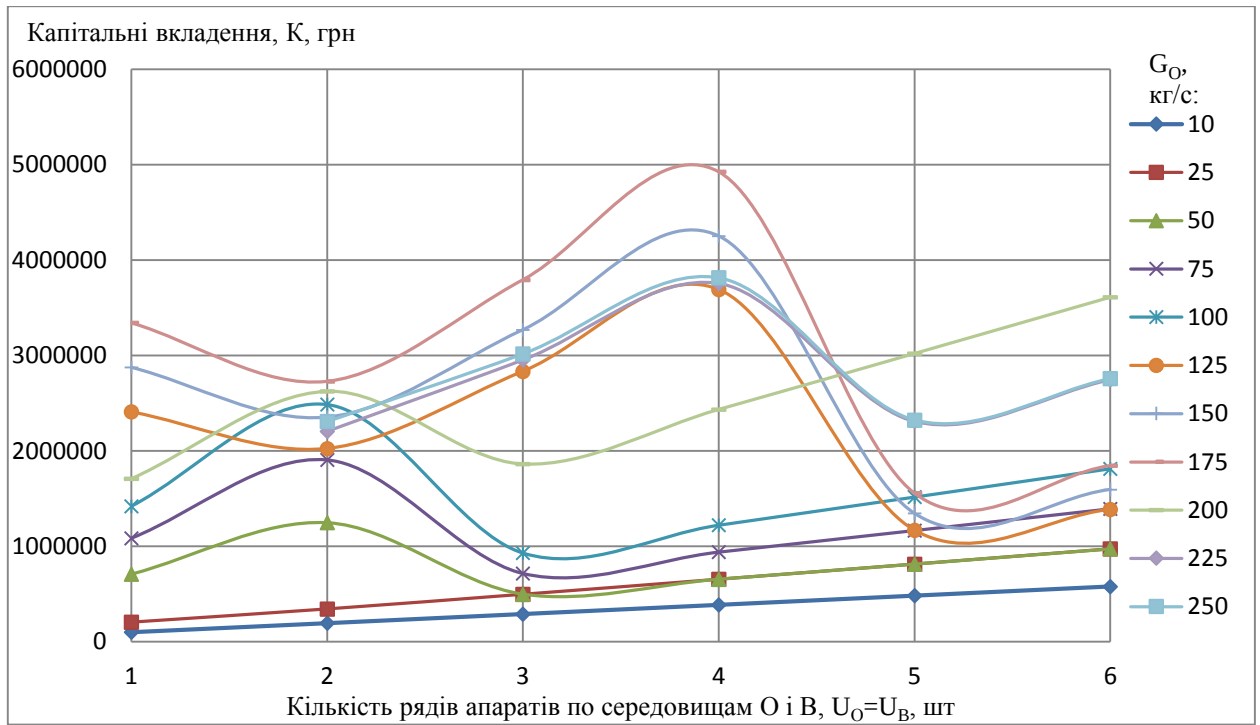


Рисунок Е.23 – Залежність капітальних вкладень в маслоохолоджувач від кількості рядів апаратів по середовищам О і В $U_O = U_B$ в абсолютних величинах для різних витрат мастила

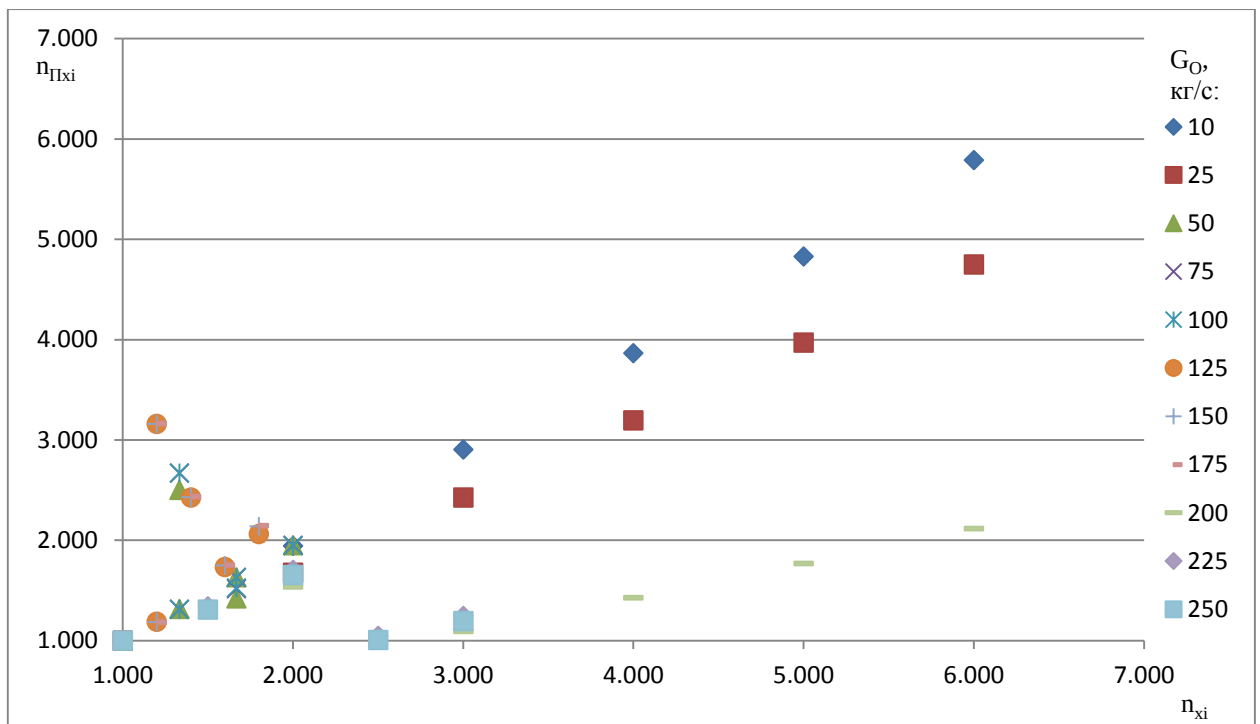


Рисунок Е.24 – Залежність капітальних вкладень в маслоохолоджувач від кількості рядів апаратів по середовищам О і В $U_O = U_B$ в безрозмірному вигляді для різних витрат мастила

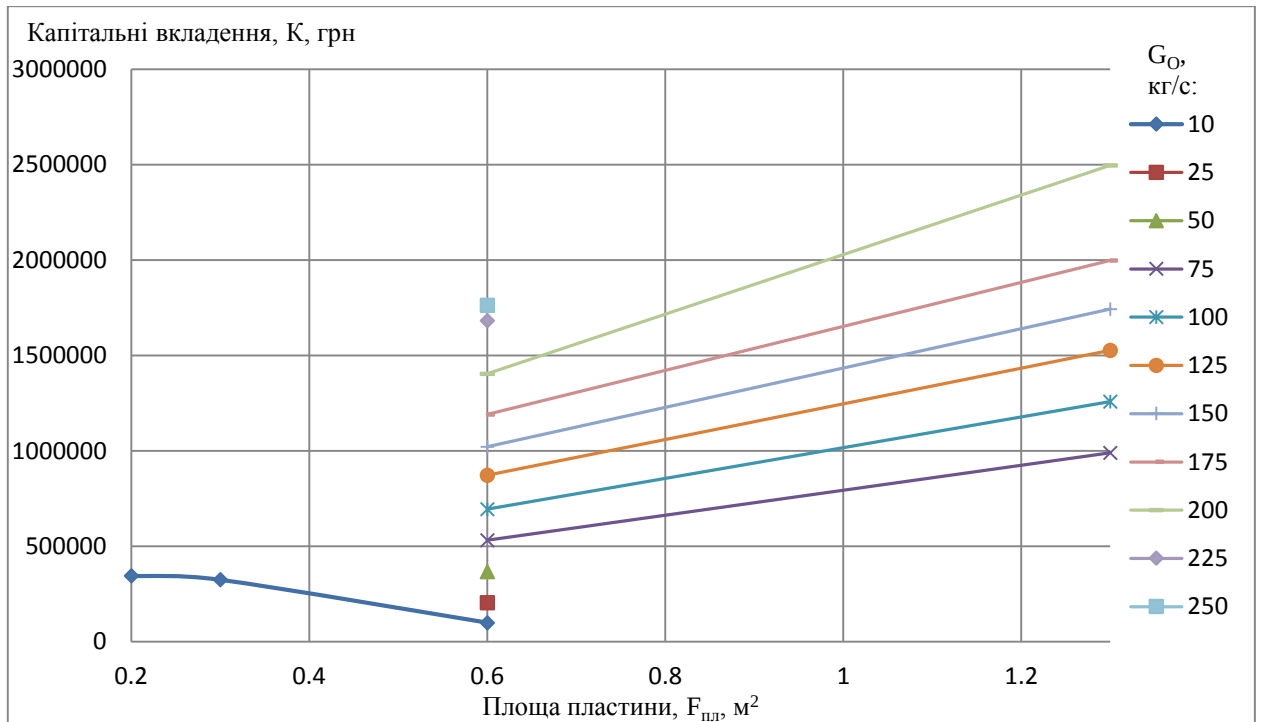


Рисунок Е.25 – Залежність капітальних вкладень в маслоохолоджувач від площі пластини $F_{пл}$ в абсолютних величинах для різних витрат мастила

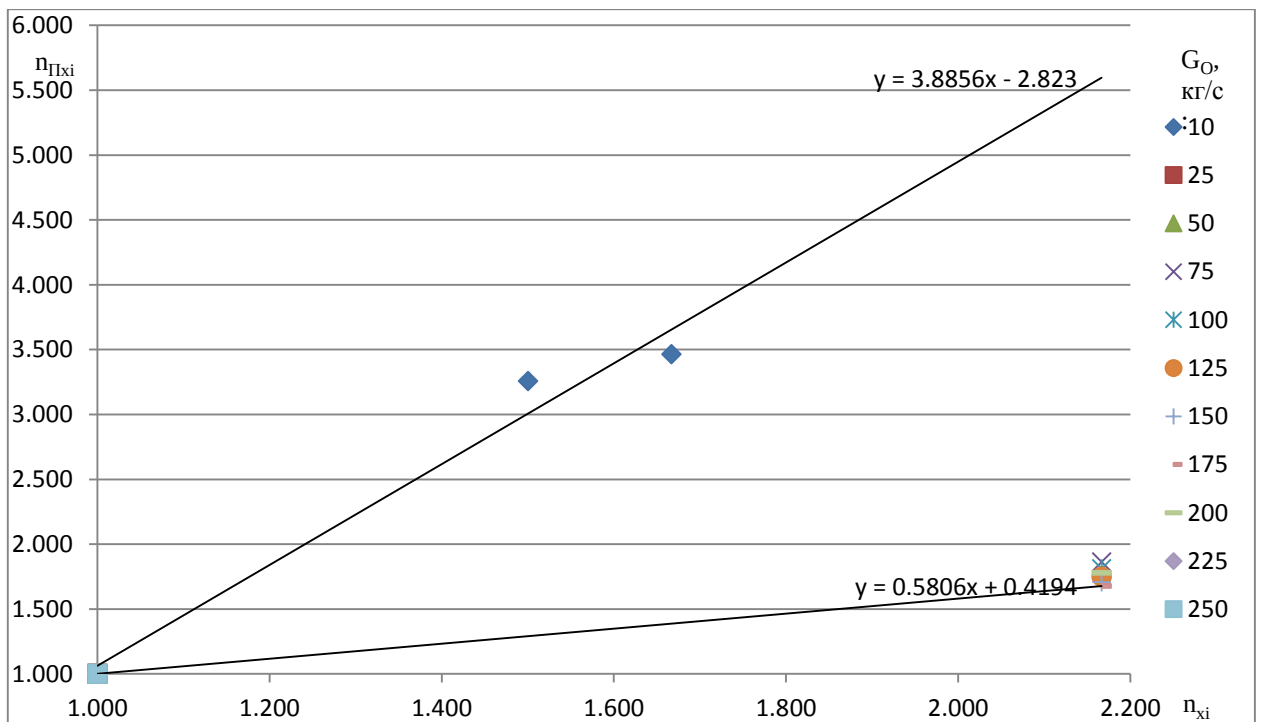


Рисунок Е.26 – Залежність капітальних вкладень в маслоохолоджувач від площі пластини $F_{пл}$ в безрозмірному вигляді для різних витрат мастила

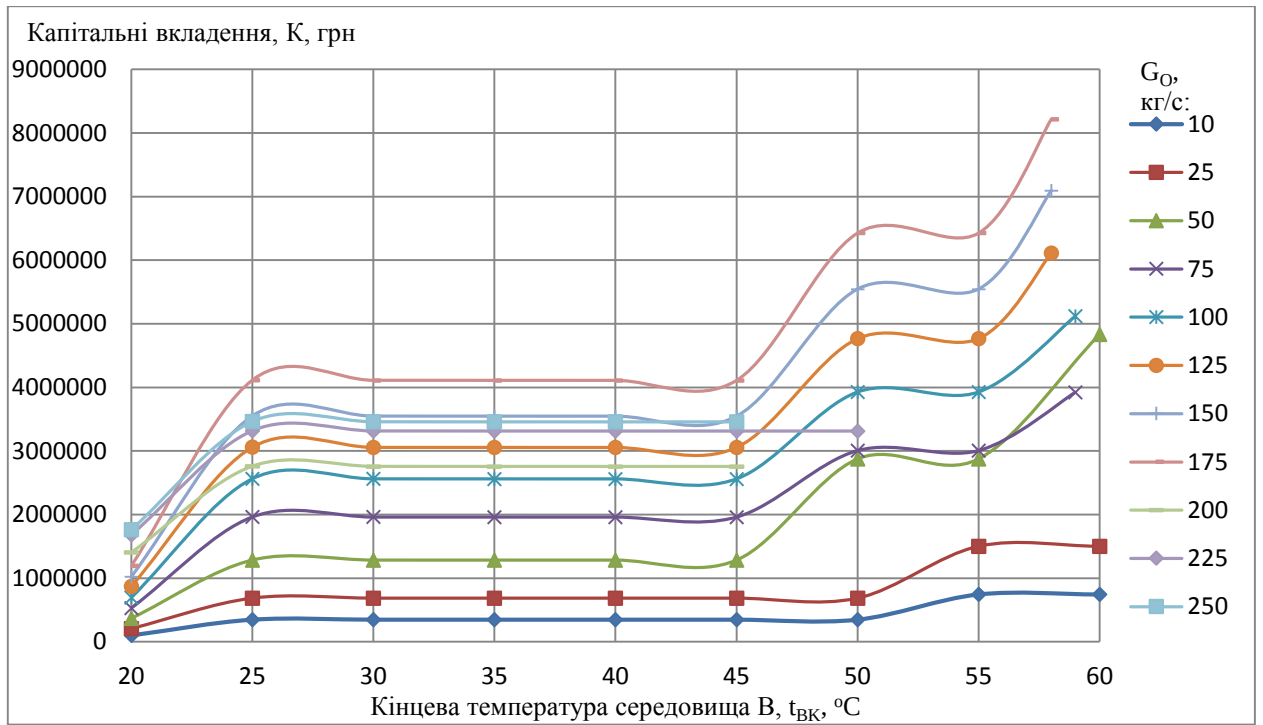


Рисунок Е.27 – Залежність капітальних вкладень в маслоохолоджувач від кінцевої температури середовища В t_{BK} в абсолютних величинах для різних витрат мастила

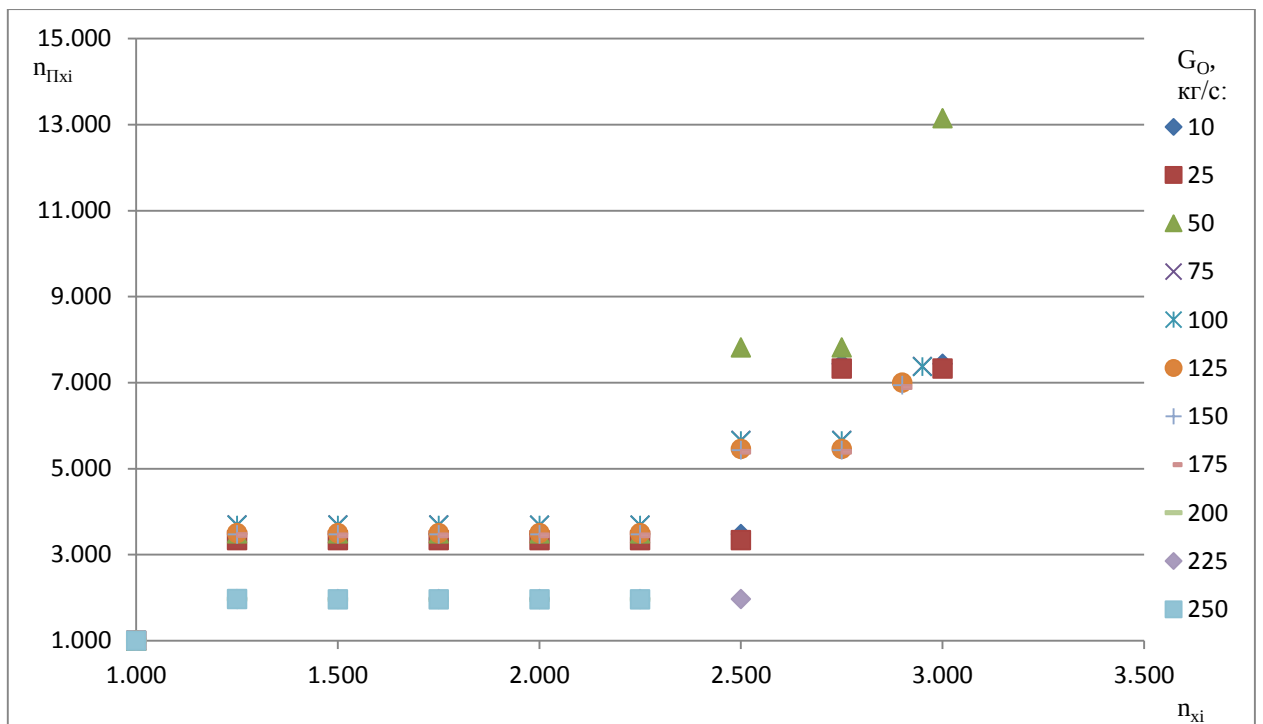


Рисунок Е.28 – Залежність капітальних вкладень в маслоохолоджувач від кінцевої температури середовища В t_{BK} в безрозмірному вигляді для різних витрат мастила

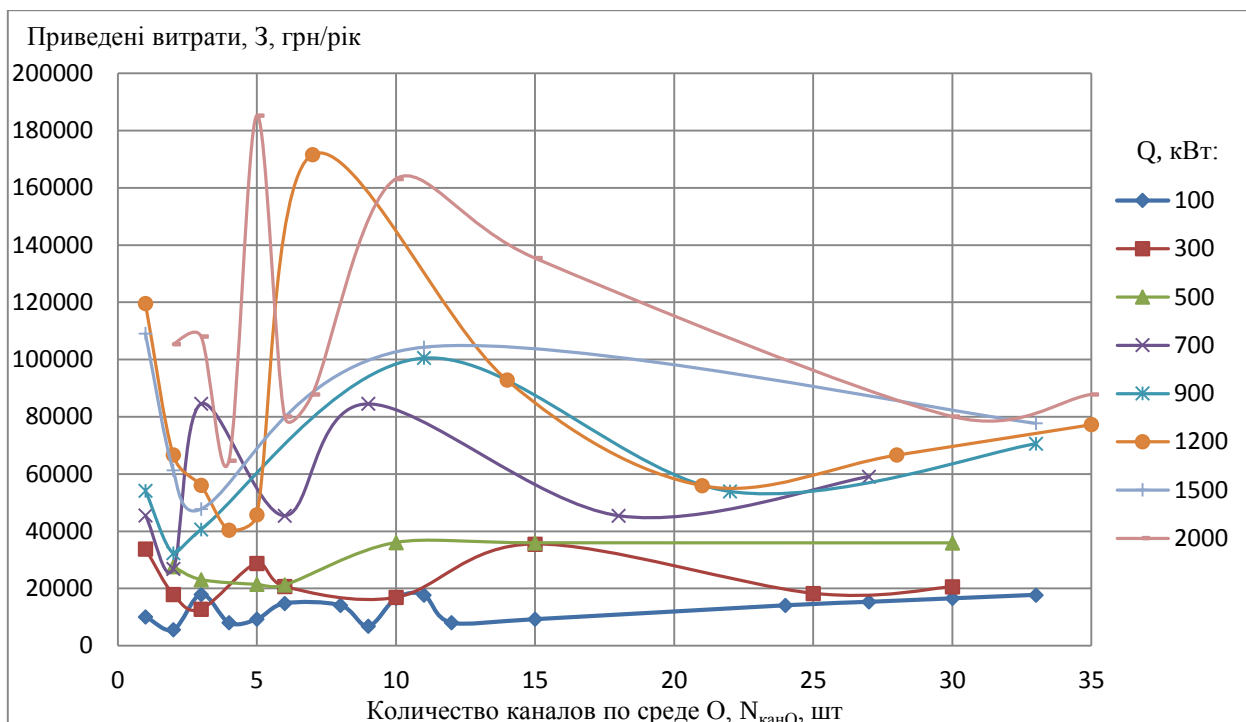


Рисунок Е.29 – Залежність приведених витрат на водо-водяний теплообмінник від кількості каналів по середовищу О $N_{канО}$ в абсолютних величинах для різних теплових навантажень

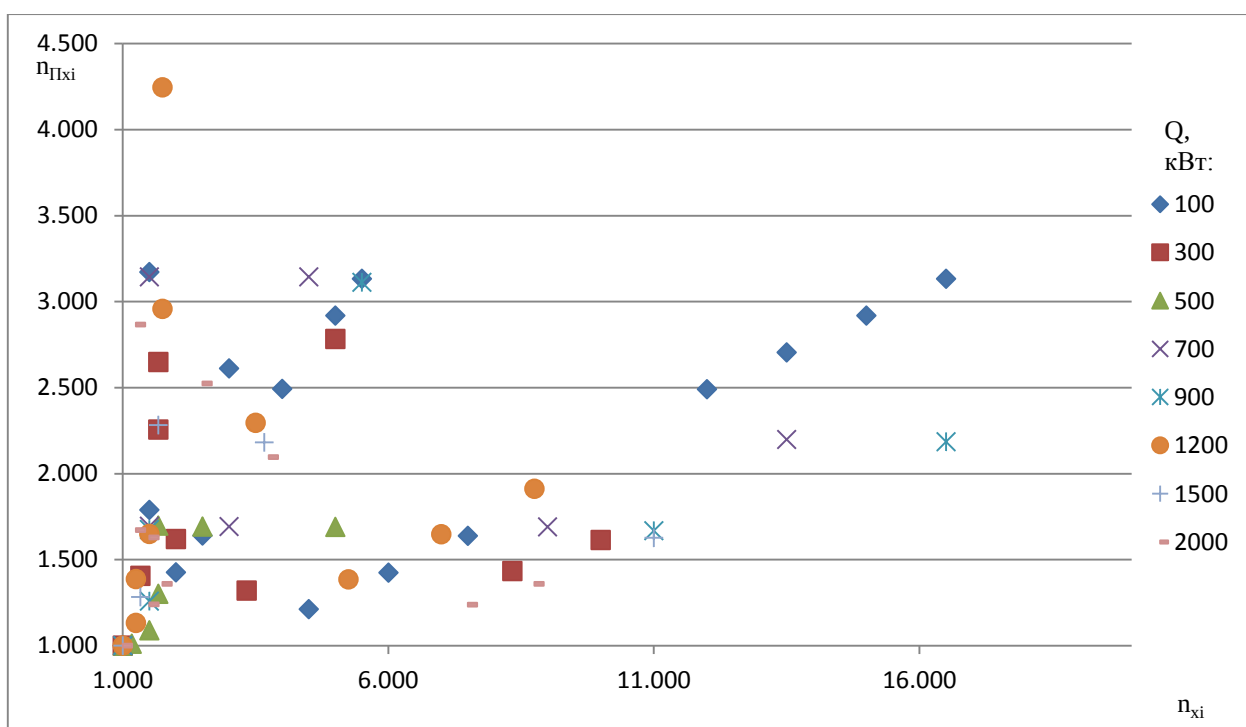


Рисунок Е.30 – Залежність приведених витрат на водо-водяний теплообмінник від кількості каналів по середовищу О $N_{канО}$ в безрозмірному вигляді для різних теплових навантажень

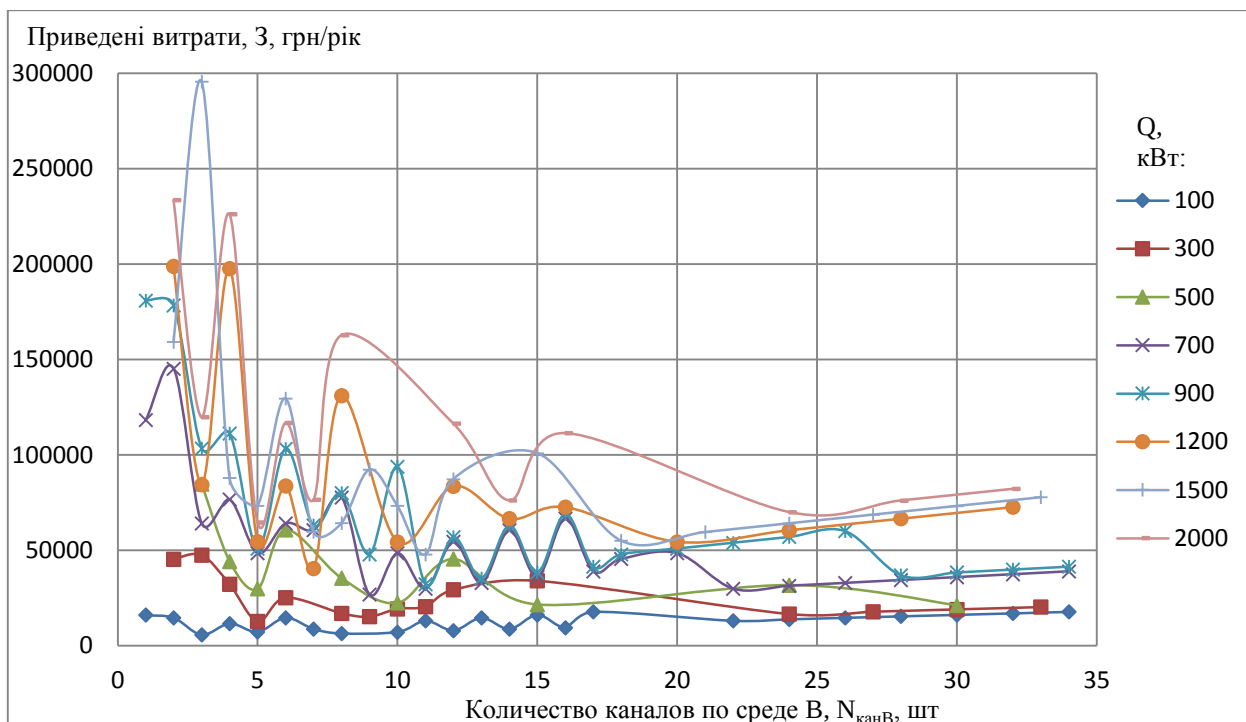


Рисунок Е.31 – Залежність приведених витрат на водо-водяний теплообмінник від кількості каналів по середовищу В $N_{канВ}$ в абсолютних величинах для різних теплових навантажень

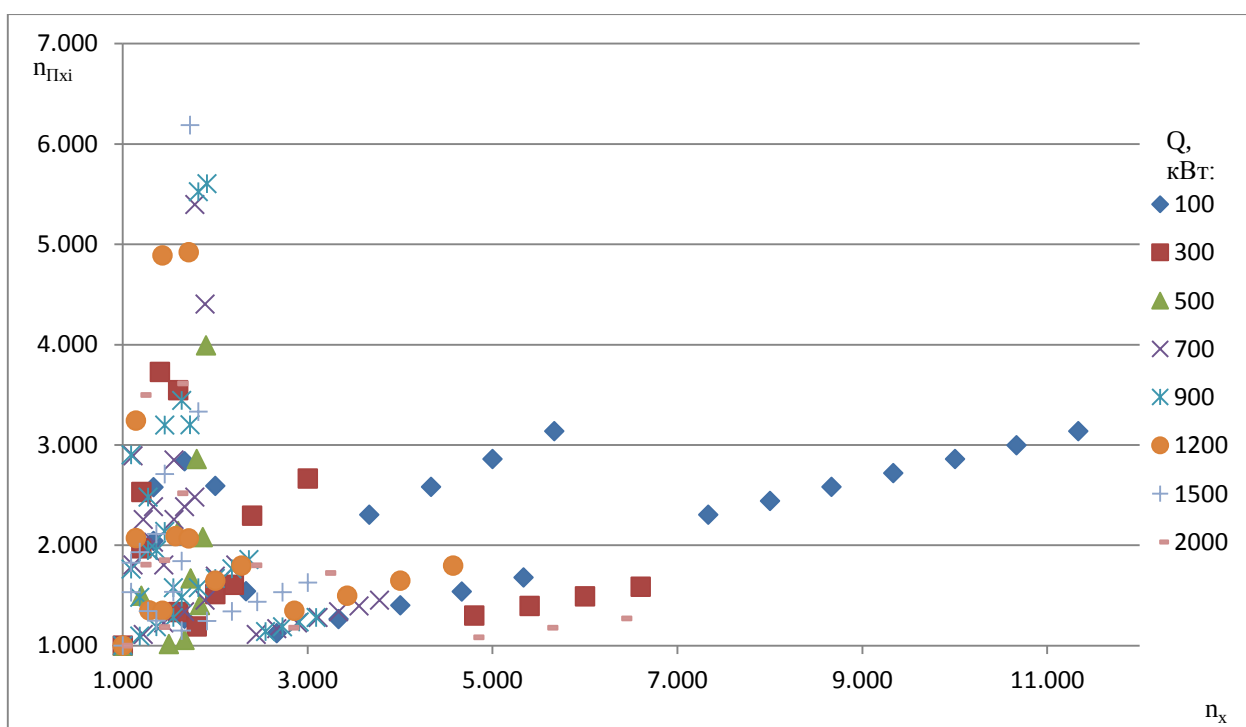


Рисунок Е.32 – Залежність приведених витрат на водо-водяний теплообмінник від кількості каналів по середовищу В $N_{канВ}$ в безрозмірному вигляді для різних теплових навантажень

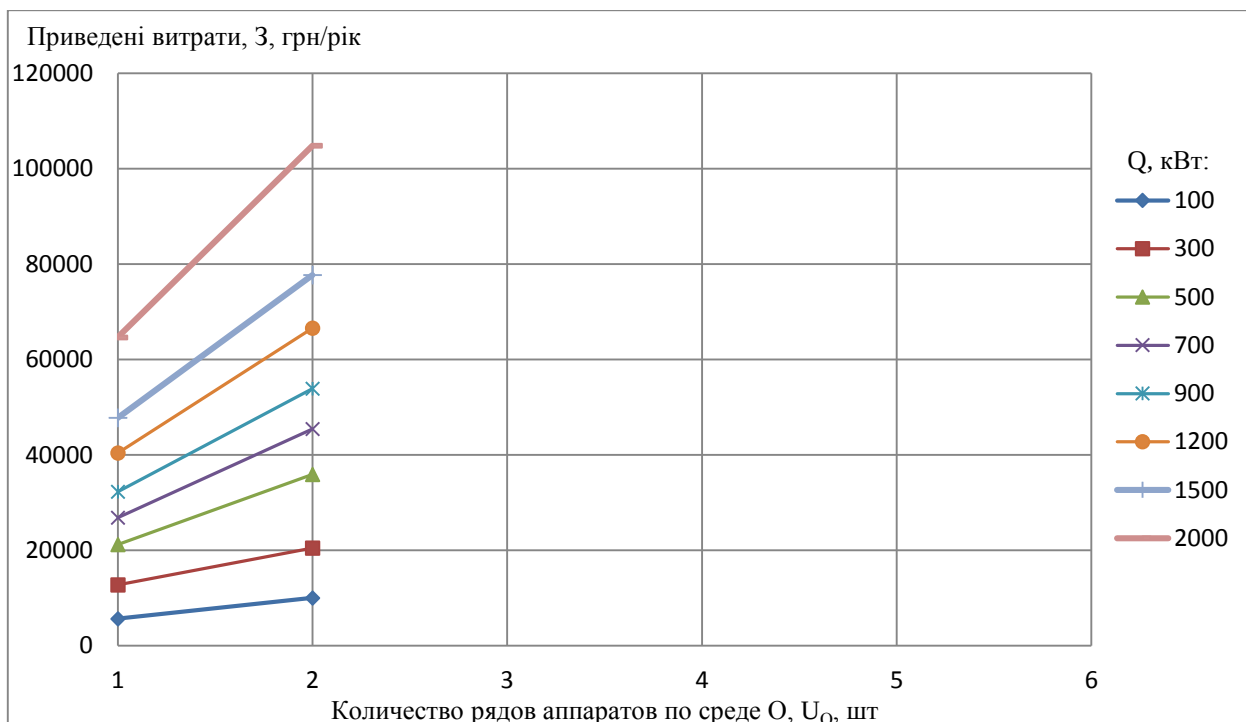


Рисунок Е.33 – Залежність приведених витрат на водо-водяний теплообмінник від кількості рядів апаратів по середовищу O U_O (при $U_B = 1$) в абсолютних величинах для різних теплових навантажень

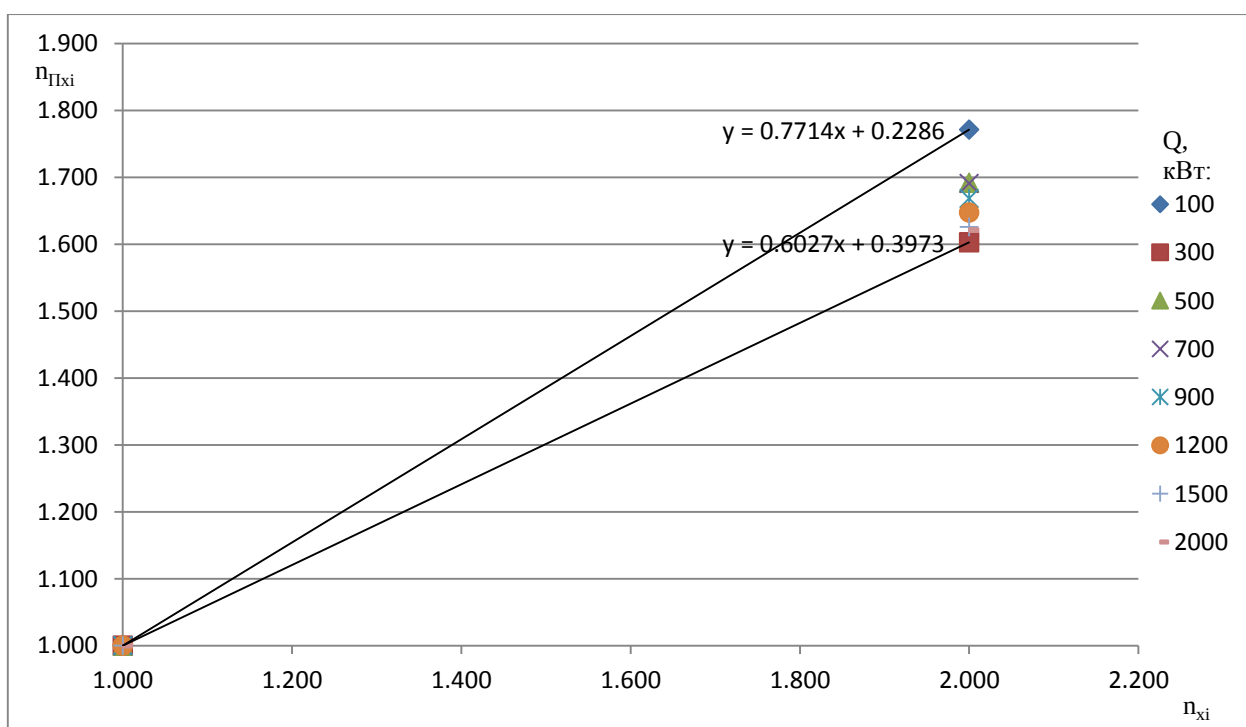


Рисунок Е.34 – Залежність приведених витрат на водо-водяний теплообмінник від кількості рядів апаратів по середовищу O U_O (при $U_B = 1$) в безрозмірному вигляді для різних теплових навантажень

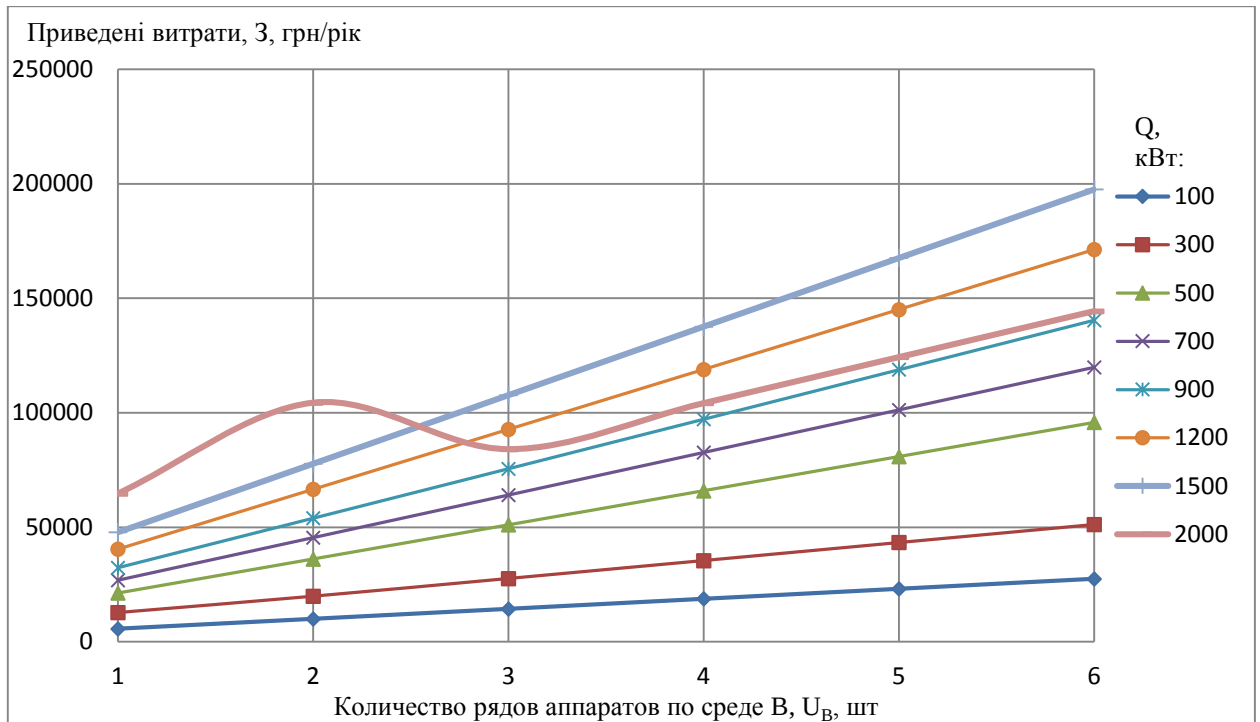


Рисунок Е.35 – Залежність приведених витрат на водо-водяний теплообмінник від кількості рядів апаратів по середовищах В U_B (при $U_O = 1$) в абсолютних величинах для різних теплових навантажень

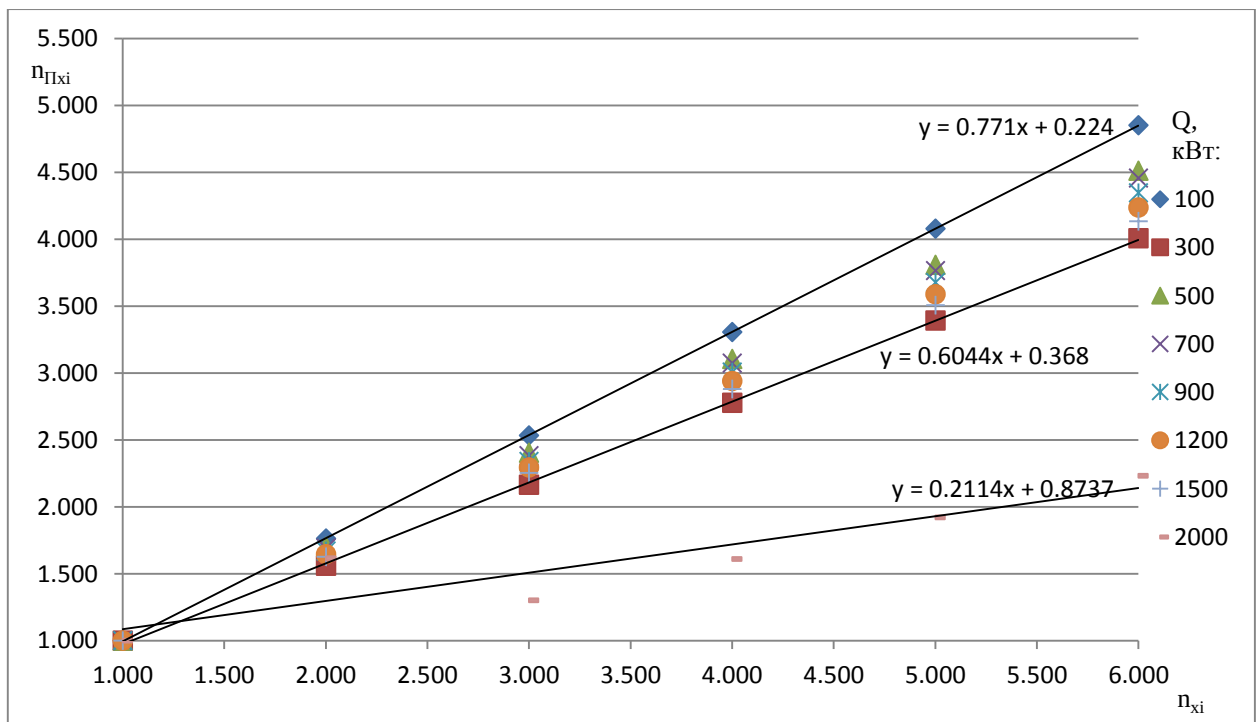


Рисунок Е.36 – Залежність приведених витрат на водо-водяний теплообмінник від кількості рядів апаратів по середовищах В U_B (при $U_O = 1$) в безрозмірному вигляді для різних теплових навантажень

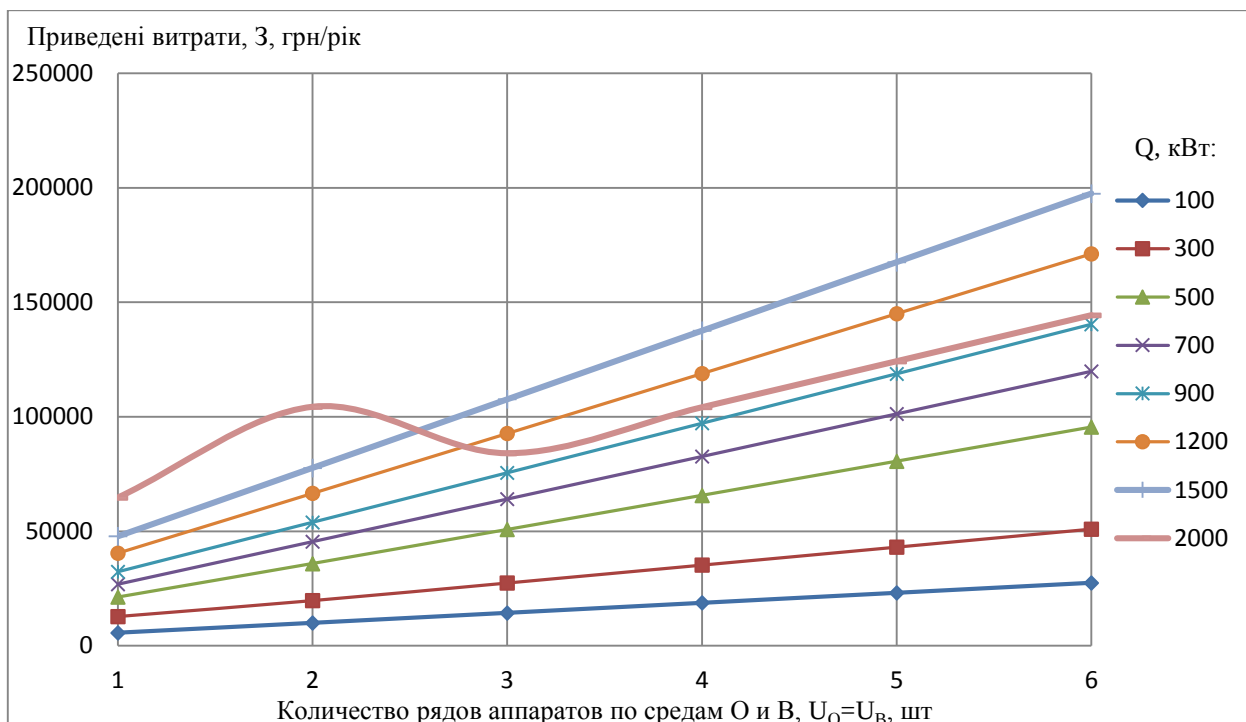


Рисунок Е.37 – Залежність приведених витрат на водо-водяний теплообмінник від кількості рядів апаратів по середовищах О і В $U_O = U_B$ в абсолютних величинах для різних теплових навантажень

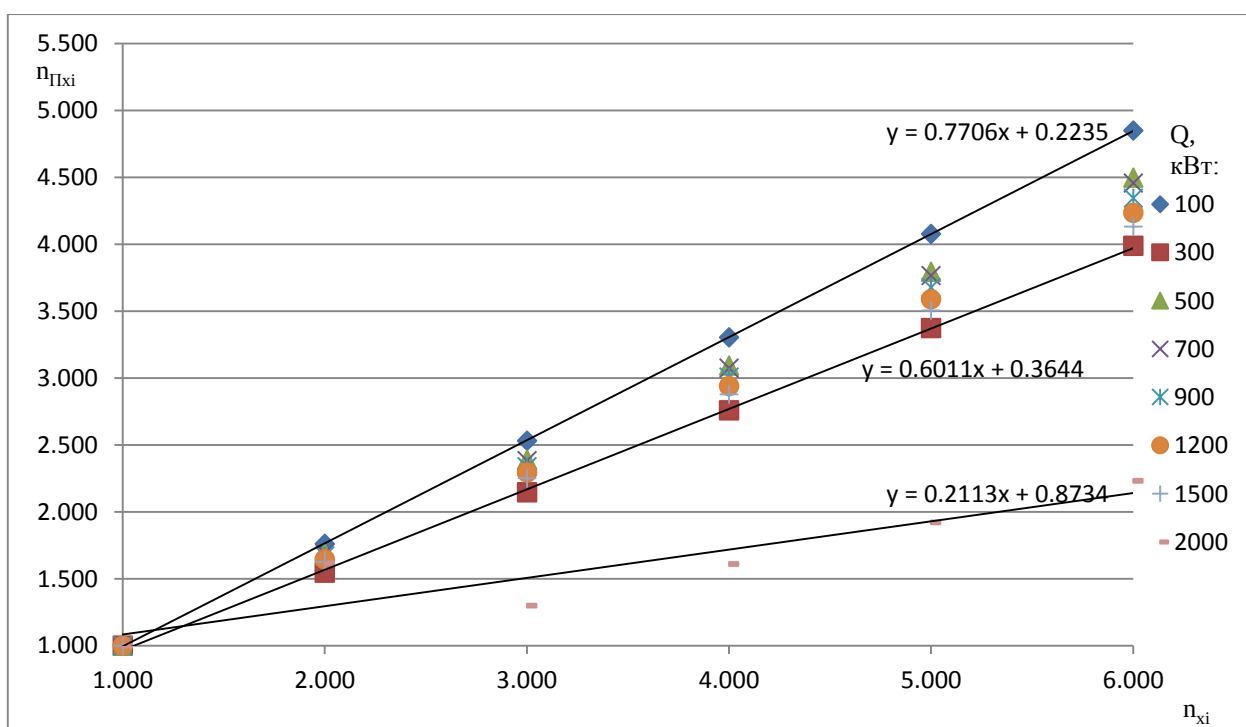


Рисунок Е.38 – Залежність приведених витрат на водо-водяний теплообмінник від кількості рядів апаратів по середовищах О і В $U_O = U_B$ в безрозмірному вигляді для різних теплових навантажень

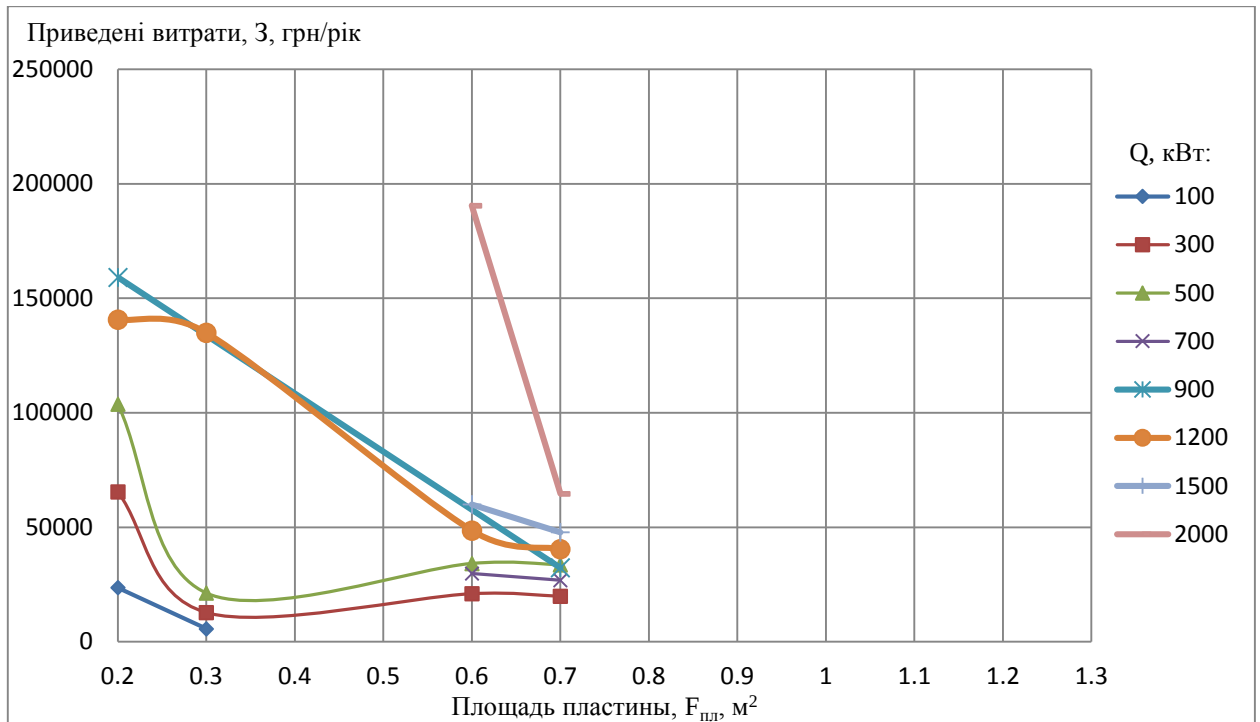


Рисунок Е.39 – Залежність приведених витрат на водо-водяний теплообмінник від площі пластины $F_{пл}$ в абсолютних величинах для різних теплових навантажень

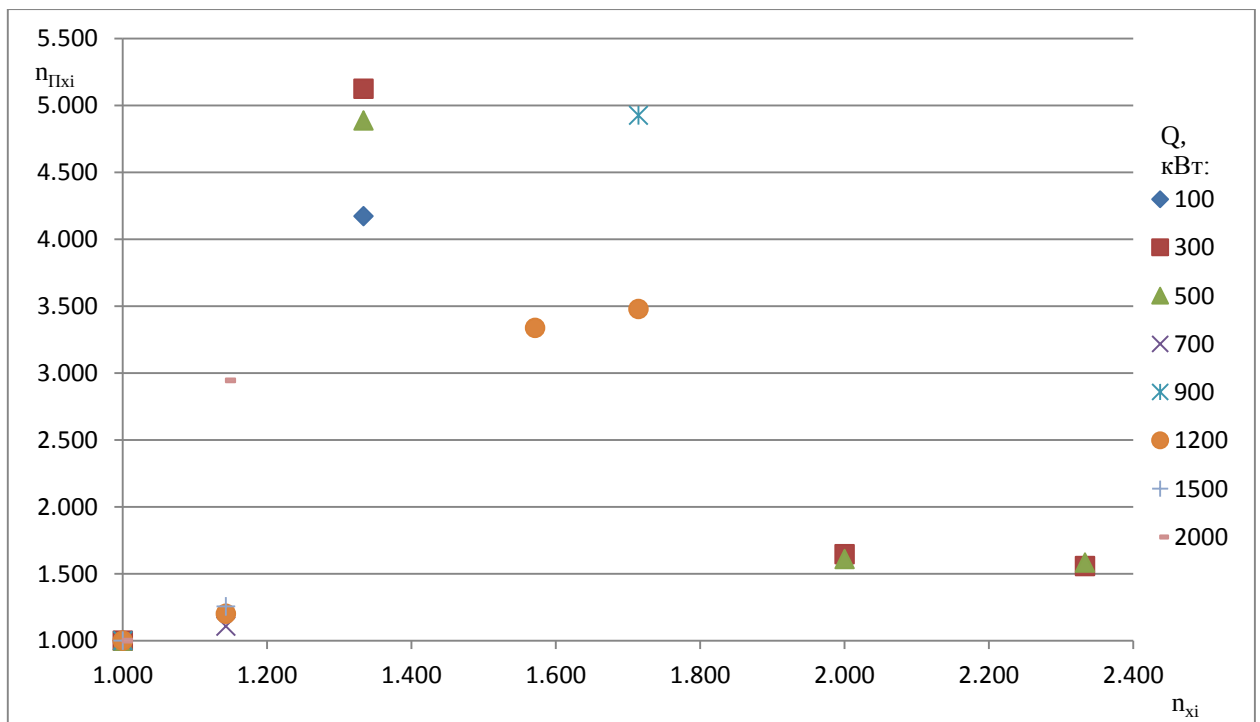


Рисунок Е.40 – Залежність приведених витрат на водо-водяний теплообмінник від площі пластины $F_{пл}$ в безрозмірному вигляді для різних теплових навантажень

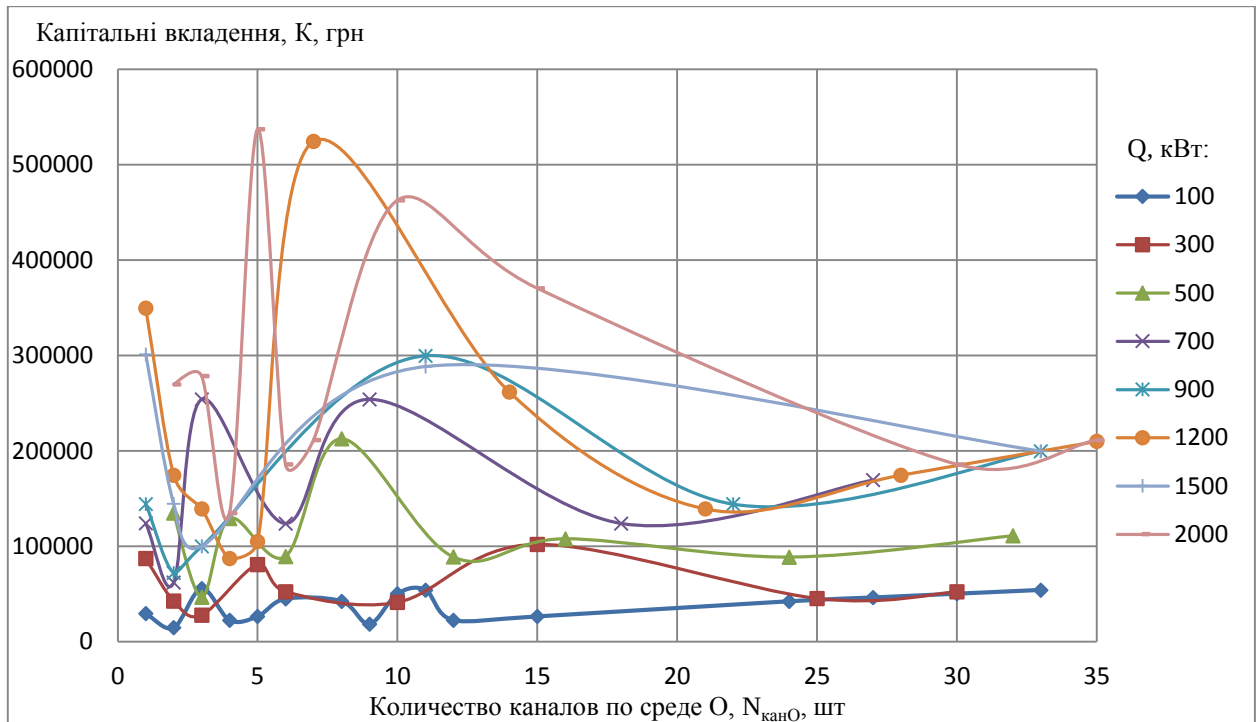


Рисунок Е.41 – Залежність капітальних вкладень в водо-водяний теплообмінник від кількості каналів по середовищу О $N_{канО}$ в абсолютних величинах для різних теплових навантажень

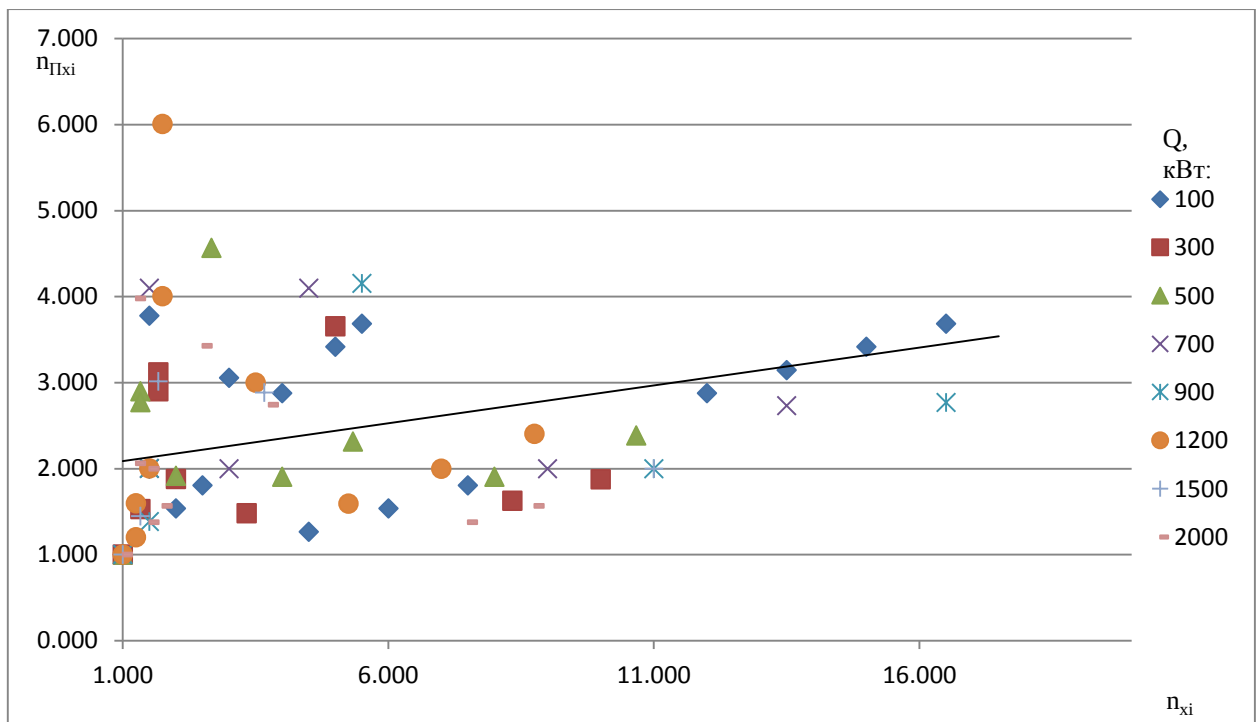


Рисунок Е.42 – Залежність капітальних вкладень в водо-водяний теплообмінник від кількості каналів по середовищу О $N_{канО}$ в безрозмірному вигляді для різних теплових навантажень

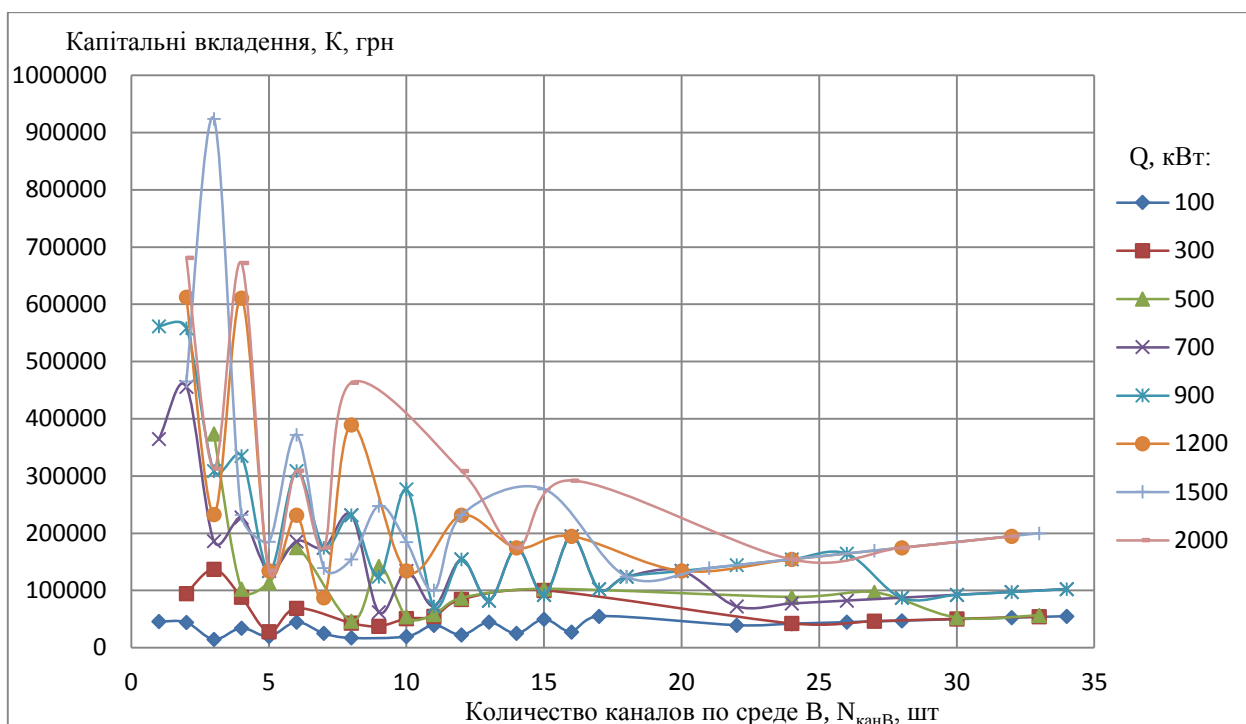


Рисунок Е.43 – Залежність капітальних вкладень в водо-водяний теплообмінник від кількості каналів по середовищу В $N_{канВ}$ в абсолютних величинах для різних теплових навантажень

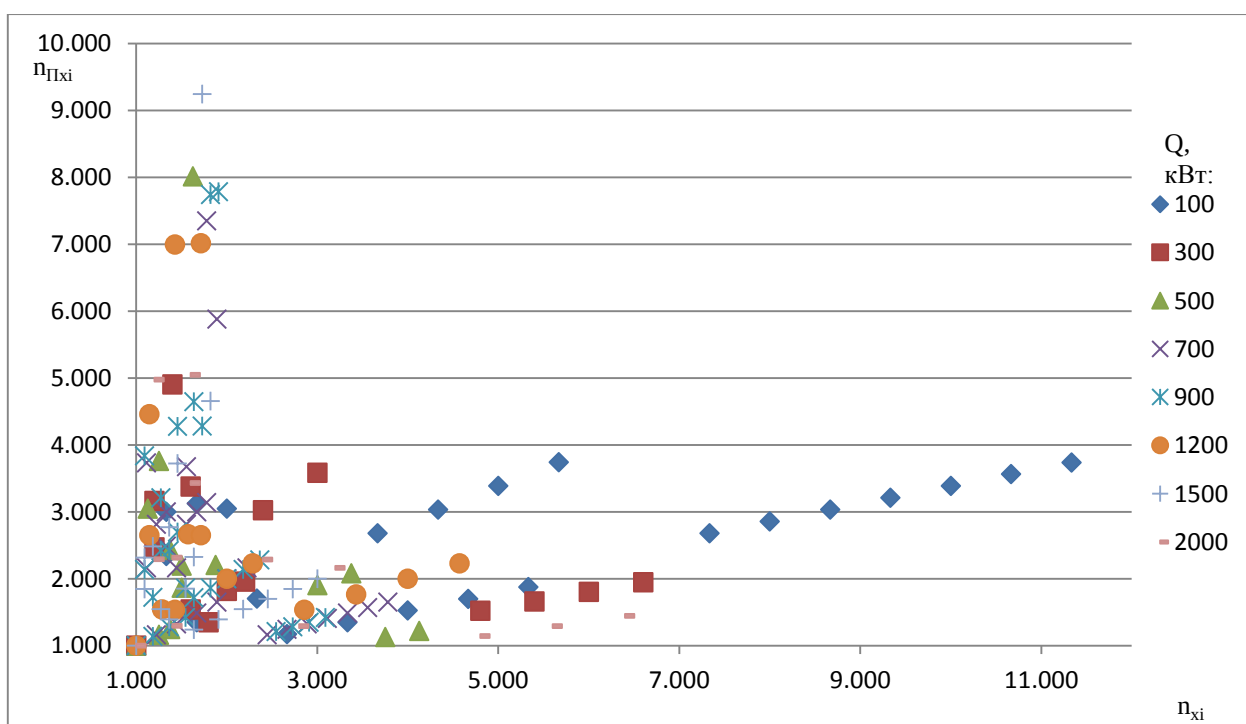


Рисунок Е.44 – Залежність капітальних вкладень в водо-водяний теплообмінник від кількості каналів по середовищу В $N_{канВ}$ в безрозмірному вигляді для різних теплових навантажень

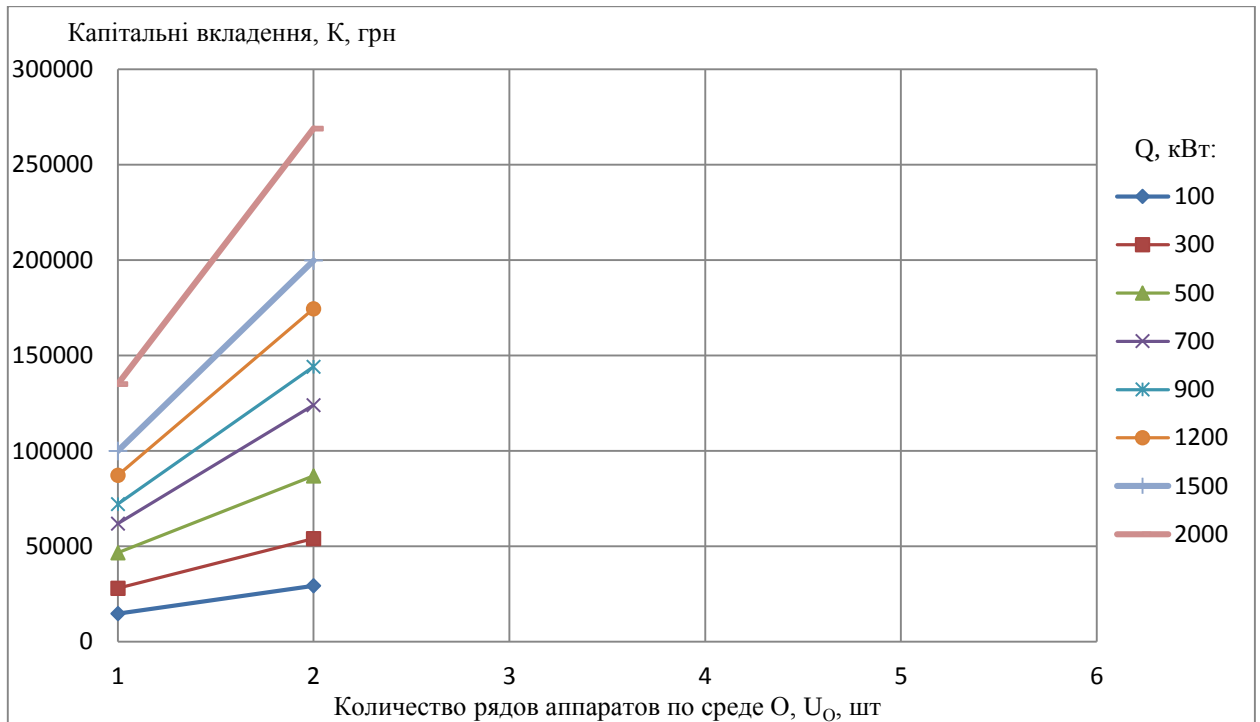


Рисунок Е.45 – Залежність капітальних вкладень в водо-водяний теплообмінник від кількості рядів апаратів по середовищу O U_O (при $U_B = 1$) в абсолютних величинах для різних теплових навантажень

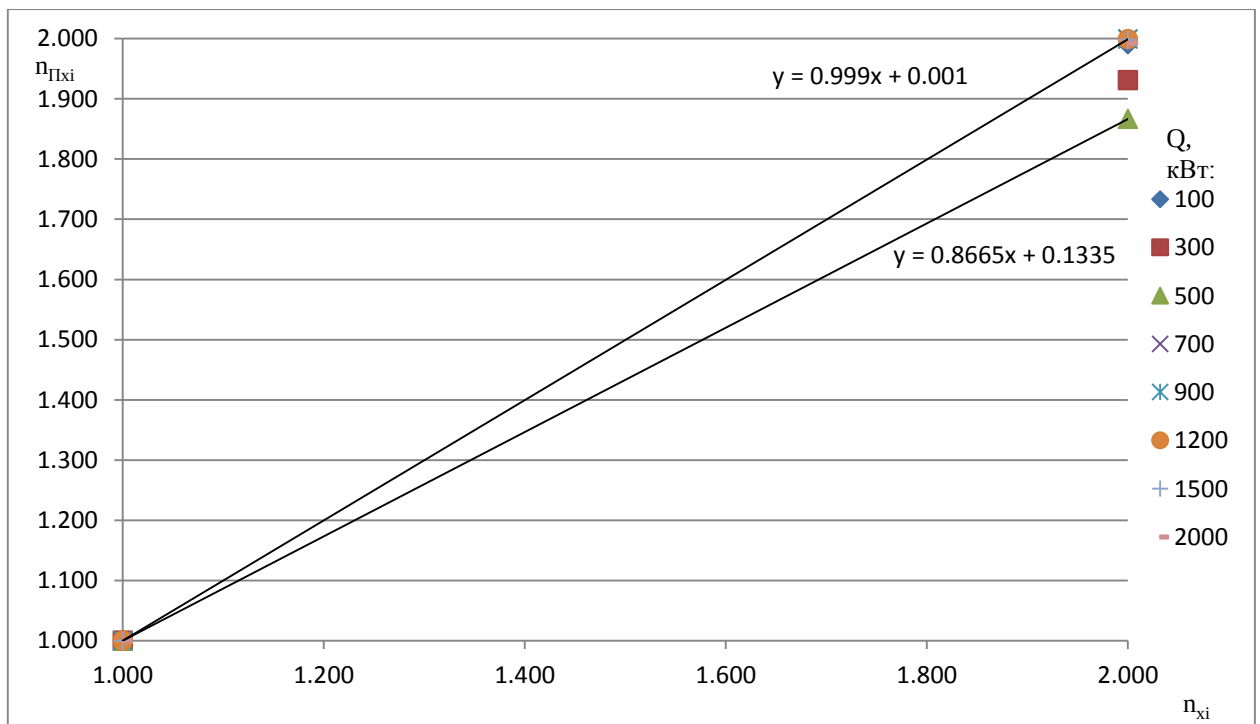


Рисунок Е.46 – Залежність капітальних вкладень в водо-водяний теплообмінник від кількості рядів апаратів по середовищу O U_O (при $U_B = 1$) в безрозмірному вигляді для різних теплових навантажень

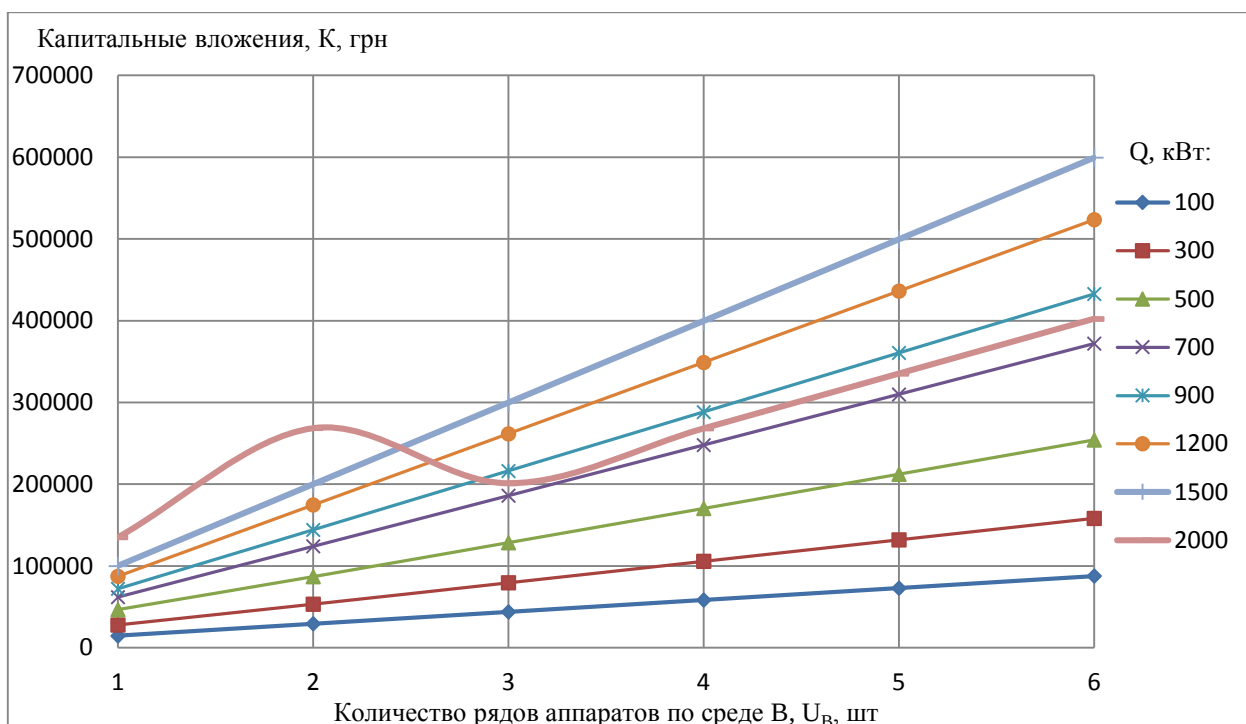


Рисунок Е.47 – Залежність капітальних вкладень в водо-водяний теплообмінник від кількості рядів апаратів по середовищу В U_B (при $U_O = 1$) в абсолютних величинах для різних теплових навантажень

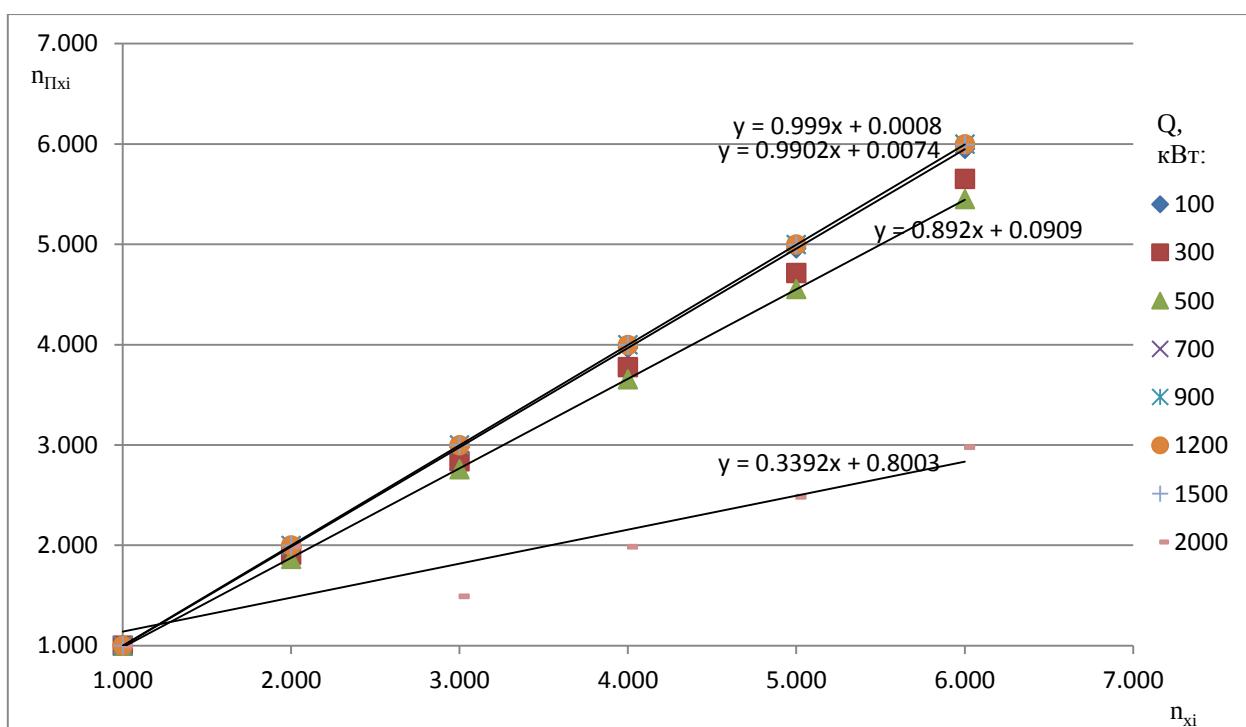


Рисунок Е.48 – Залежність капітальних вкладень в водо-водяний теплообмінник від кількості рядів апаратів по середовищу В U_B (при $U_O = 1$) в безрозмірному вигляді для різних теплових навантажень

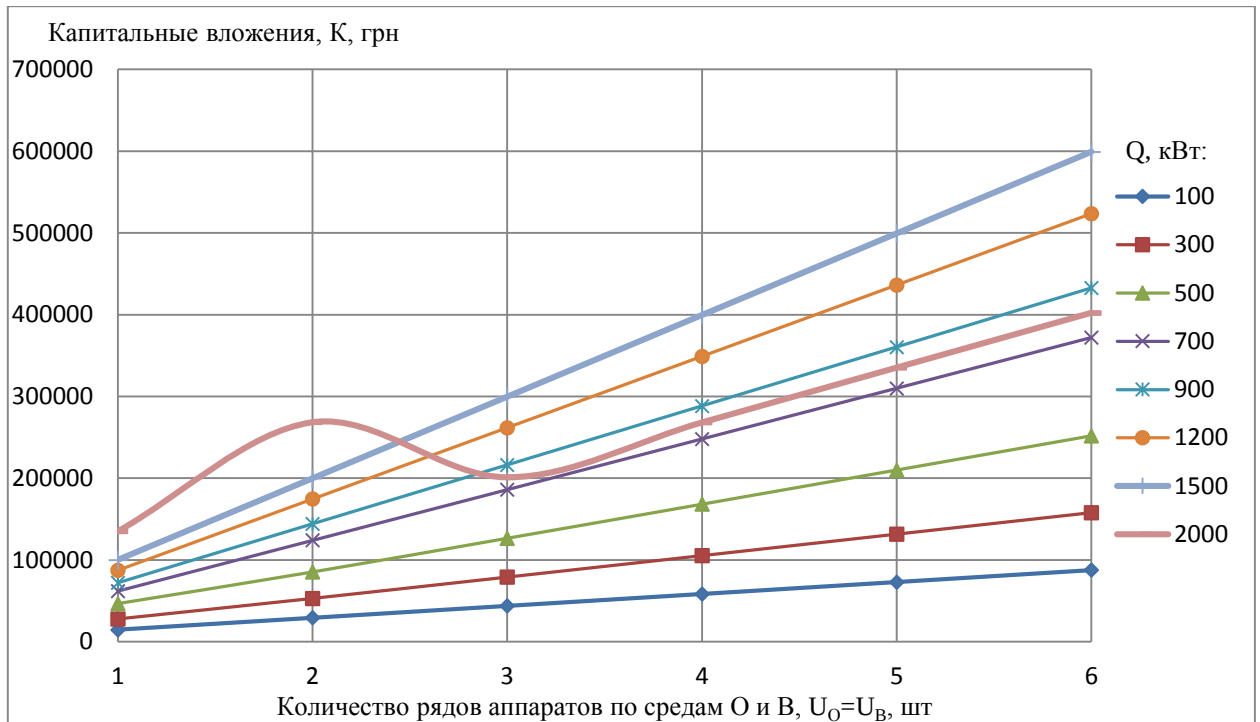


Рисунок Е.49 – Залежність капітальних вкладень в водо-водяний теплообмінник від кількості рядів апаратів по середовищах О і В $U_O = U_B$ в абсолютних величинах для різних теплових навантажень

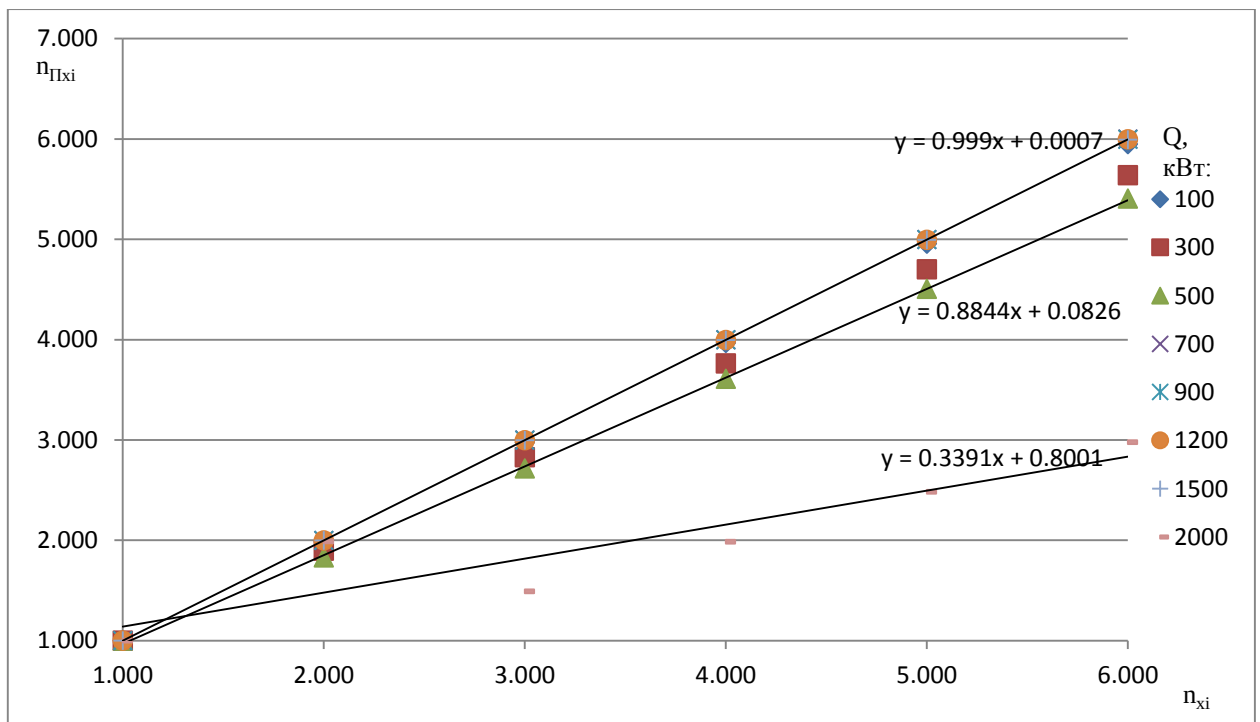


Рисунок Е.50 – Залежність капітальних вкладень в водо-водяний теплообмінник від кількості рядів апаратів по середовищах О і В $U_O = U_B$ в безрозмірному вигляді для різних теплових навантажень

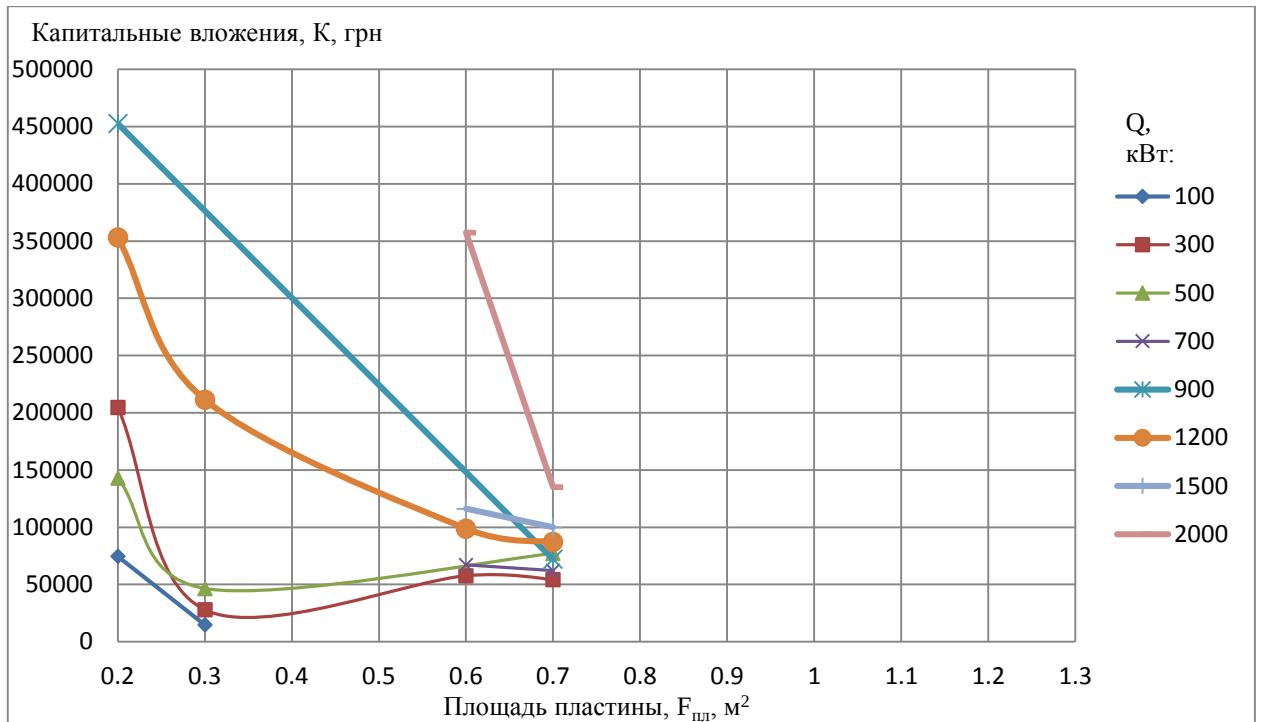


Рисунок E.51 – Залежність капітальних вкладень в водо-водяний теплообмінник від площі пластины $F_{пл}$ в абсолютних величинах для різних теплових навантажень

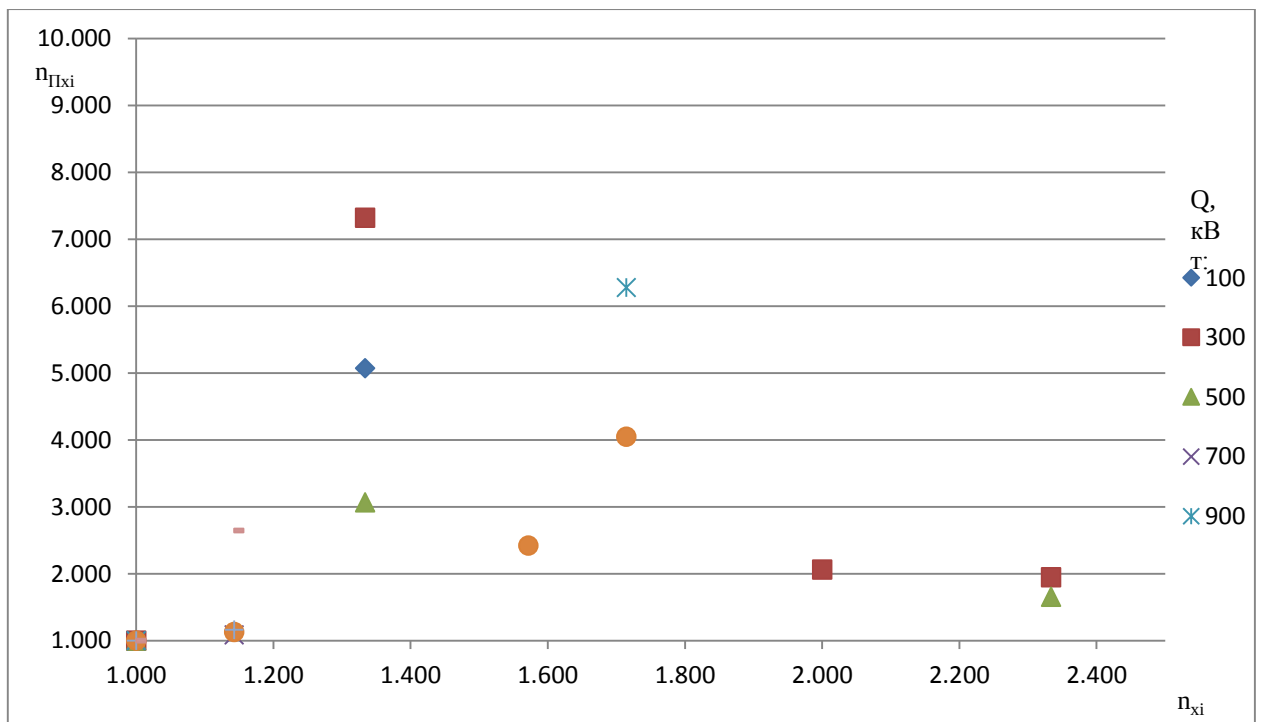


Рисунок E.52 – Залежність капітальних вкладень в водо-водяний теплообмінник від площі пластины $F_{пл}$ в безрозмірному вигляді для різних теплових навантажень

Додаток Ж

ТАБЛИЦІ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ОСНОВНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛООБМІННИКІВ ВІД ПОХИБОК ОКРЕМИХ ЙОГО ЧАСТИН

Таблиця Ж.1 – Залежність приведених витрат від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_B}$) при різних витратах мастила G_O в маслоохолоджувачах турбін

G_O , кг/с	Значення при коригуванні $k_k=$					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_O}=$					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_B}=$				
	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6
10	308 962,37	89 279,06	50 551,91	50 551,91	50 551,91	49 451,63	50 001,77	50 551,91	51 102,04	51 652,18	50 498,08	50 524,99	50 551,91	50 578,82	50 605,74
50	1 003 916,86	668 833,79	215 632,07	215 632,07	215 632,07	202 936,60	209 284,34	215 632,07	221 979,81	228 327,55	213 730,49	214 681,28	215 632,07	216 582,87	217 533,66
100	1 901 158,21	1 249 345,35	423 187,43	423 187,43	423 187,43	378 619,46	400 903,44	423 187,43	445 471,41	467 755,40	422 186,82	422 687,12	423 187,43	423 687,73	424 188,04
150	1 533 714,03	1 081 599,82	629 485,60	629 485,60	629 485,60	581 236,60	605 361,10	629 485,60	653 610,10	677 734,59	623 991,67	626 738,63	629 485,60	632 232,56	634 979,52
200	2 166 929,56	1 507 719,06	848 508,57	848 508,57	848 508,57	753 368,53	800 938,55	848 508,57	896 078,58	943 648,60	842 097,11	845 302,84	848 508,57	851 714,29	854 920,02
250	2 602 237,33	1 833 364,54	1 064 491,75	1 064 491,75	1 064 491,75	926 693,43	995 592,59	1 064 491,75	1 133 390,92	1 202 290,08	1 058 207,01	1 061 349,38	1 064 491,75	1 067 634,13	1 070 776,50

Таблиця Ж.2 – Залежність капітальних вкладень від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_B}$) при різних витратах мастила G_O в маслоохолоджувачах турбін

G_O , кг/с	Значення при коригуванні $k_k=$					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_O}=$					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_B}=$				
	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6
10	978 536,29	250 232,73	125 116,36	125 116,36	125 116,36	123 722,04	124 419,20	125 116,36	125 813,52	126 510,68	125 048,15	125 082,26	125 116,36	125 150,47	125 184,58
50	2 987 582,68	1 971 168,34	510 760,57	510 760,57	510 760,57	494 672,25	502 716,41	510 760,57	518 804,73	526 848,89	508 350,79	509 555,68	510 760,57	511 965,46	513 170,35
100	5 406 295,69	3 541 286,94	938 213,72	938 213,72	938 213,72	881 735,03	909 974,37	938 213,72	966 453,06	994 692,40	936 945,69	937 579,71	938 213,72	938 847,73	939 481,74
150	3 965 954,97	2 643 969,98	1 321 984,99	1 321 984,99	1 321 984,99	1 260 841,52	1 291 413,26	1 321 984,99	1 352 556,72	1 383 128,45	1 315 022,82	1 318 503,90	1 321 984,99	1 325 466,07	1 328 947,16
200	5 543 034,99	3 695 356,66	1 847 678,33	1 847 678,33	1 847 678,33	1 727 112,28	1 787 395,30	1 847 678,33	1 907 961,36	1 968 244,38	1 839 553,43	1 843 615,88	1 847 678,33	1 851 740,78	1 855 803,24
250	6 200 288,60	4 133 525,73	2 066 762,87	2 066 762,87	2 066 762,87	1 892 138,16	1 979 450,51	2 066 762,87	2 154 075,22	2 241 387,58	2 058 798,54	2 062 780,70	2 066 762,87	2 070 745,03	2 074 727,20

Таблиця Ж.3 – Залежність експлуатаційних витрат від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_B}$) при різних витратах мастила G_O в маслоохолоджувачах турбін

G ₀ , кг/с	Значення при коригуванні k _k =					Значення при коригуванні k _{ΔP₀} =					Значення при коригуванні k _{ΔP_B} =				
	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6
10	113 255,11	39 232,51	25 528,63	25 528,63	25 528,63	24 707,22	25 117,93	25 528,63	25 939,34	26 350,05	25 488,45	25 508,54	25 528,63	25 548,73	25 568,82
50	406 400,32	274 600,12	113 479,96	113 479,96	113 479,96	104 002,15	108 741,05	113 479,96	118 218,86	122 957,77	112 060,33	112 770,14	113 479,96	114 189,77	114 899,59
100	819 899,08	541 087,97	235 544,68	235 544,68	235 544,68	202 272,45	218 908,57	235 544,68	252 180,80	268 816,92	234 797,68	235 171,18	235 544,68	235 918,19	236 291,69
150	740 523,04	552 805,82	365 088,60	365 088,60	365 088,60	329 068,30	347 078,45	365 088,60	383 098,75	401 108,90	360 987,11	363 037,85	365 088,60	367 139,35	369 190,09
200	1 058 322,56	768 647,73	478 972,90	478 972,90	478 972,90	407 946,08	443 459,49	478 972,90	514 486,31	549 999,72	474 186,43	476 579,66	478 972,90	481 366,14	483 759,37
250	1 362 179,61	1 006 659,40	651 139,18	651 139,18	651 139,18	548 265,80	599 702,49	651 139,18	702 575,87	754 012,57	646 447,31	648 793,24	651 139,18	653 485,12	655 831,06

Таблиця Ж.4 – Залежність поверхні теплообміну від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_B}$) при різних витратах мастила G_O в маслоохолоджувачах турбін

[illegible]

Таблиця Ж.5 – Залежність приведених витрат від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_B}$) при різних теплових навантаженнях Q в теплообмінниках системи опалення

Q, кВт	Значення при коригуванні k_k =					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_O}$ =					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_B}$ =				
	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6
100	21 736,42	14 818,07	5 662,45	5 662,45	5 662,45	5 652,78	5 657,62	5 662,45	5 667,29	5 672,12	5 611,78	5 637,12	5 662,45	5 687,79	5 713,13
700	64 120,86	45 506,43	26 892,01	26 892,01	26 892,01	26 883,75	26 887,88	26 892,01	26 896,13	26 900,26	26 889,90	26 890,95	26 892,01	26 893,06	26 894,11
1200	92 903,59	66 665,77	40 427,95	40 427,95	40 427,95	40 419,55	40 423,75	40 427,95	40 432,16	40 436,36	40 399,12	40 413,53	40 427,95	40 442,37	40 456,79
2000	126 182,66	85 169,68	64 663,20	64 663,20	64 663,20	64 614,26	64 638,73	64 663,20	64 687,66	64 712,13	64 239,79	64 451,49	64 663,20	64 874,90	65 086,60

Таблиця Ж.6 – Залежність капітальних вкладень від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_B}$) при різних теплових навантаженнях Q в теплообмінниках системи опалення

Q, кВт	Значення при коригуванні k_k =					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_O}$ =					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_B}$ =				
	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6
100	67 681,89	45 036,30	14 725,35	14 725,35	14 725,35	14 713,10	14 719,22	14 725,35	14 731,47	14 737,60	14 661,13	14 693,24	14 725,35	14 757,46	14 789,56
700	186 037,19	124 024,79	62 012,40	62 012,40	62 012,40	62 001,93	62 007,16	62 012,40	62 017,63	62 022,86	62 009,72	62 011,06	62 012,40	62 013,73	62 015,07
1200	261 993,47	174 662,31	87 331,16	87 331,16	87 331,16	87 320,50	87 325,83	87 331,16	87 336,48	87 341,81	87 294,62	87 312,89	87 331,16	87 349,43	87 367,70
2000	337 708,55	202 625,13	135 083,42	135 083,42	135 083,42	135 021,41	135 052,42	135 083,42	135 114,43	135 145,43	134 546,86	134 815,14	135 083,42	135 351,70	135 619,98

Таблиця Ж.7 – Залежність експлуатаційних витрат від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_B}$) при різних теплових навантаженнях Q в теплообмінниках системи опалення

Q, кВт	Значення при коригуванні k_k =					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_O}$ =					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_B}$ =				
	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6
100	8 200,05	5 810,81	2 717,38	2 717,38	2 717,38	2 710,16	2 713,77	2 717,38	2 720,99	2 724,60	2 679,55	2 698,47	2 717,38	2 736,30	2 755,21
700	26 913,42	20 701,47	14 489,53	14 489,53	14 489,53	14 483,36	14 486,44	14 489,53	14 492,61	14 495,69	14 487,95	14 488,74	14 489,53	14 490,31	14 491,10
1200	40 504,90	31 733,31	22 961,72	22 961,72	22 961,72	22 955,45	22 958,58	22 961,72	22 964,86	22 968,00	22 940,19	22 950,96	22 961,72	22 972,48	22 983,25
2000	58 640,95	44 644,66	37 646,51	37 646,51	37 646,51	37 609,98	37 628,25	37 646,51	37 664,78	37 683,04	37 330,42	37 488,46	37 646,51	37 804,56	37 962,61

Таблиця Ж.8 – Залежність поверхні теплообміну від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_B}$) при різних теплових навантаженнях Q в теплообмінниках системи опалення

Q , кВт	Значення при коригуванні $k_k=$					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_O}=$					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_B}=$				
	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6
100	13,8	6,9	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
700	73,5	49	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
1200	115,5	77	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5
2000	136,5	81,9	54,6	54,6	54,6	54,6	54,6	54,6	54,6	54,6	54,6	54,6	54,6	54,6	54,6

Додаток 3

**ТАБЛИЦІ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ
ВІД ПОХИБОК ОКРЕМИХ РОЗРАХУНКІВ**

Таблиця 3.1 – Залежність приведених витрат від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_B}$) при різних витратах мастила G_O в маслоохолоджувачах турбін

G_O , кг/с	Значення при коригуванні $k_k=$					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_O}=$					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_B}=$				
	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6
10	94 458,72	63 008,28	50 551,91	41 665,03	37 333,94	46 672,99	49 240,30	50 551,91	51 102,04	51 652,18	49 697,73	50 132,74	50 551,91	50 578,82	50 605,74
50	398 830,99	273 096,27	215 632,07	183 872,21	156 823,19	197 073,18	209 284,34	215 632,07	221 979,81	228 327,55	213 730,49	214 681,28	215 632,07	216 582,87	217 533,66
100	760 762,17	522 581,28	423 187,43	356 888,09	313 646,38	374 673,16	400 407,82	423 187,43	445 471,41	459 182,15	420 359,99	422 687,12	423 187,43	423 687,73	424 188,04
150	1 175 787,30	786 573,93	629 485,60	543 469,24	470 469,58	553 822,28	602 661,81	629 485,60	653 610,10	677 734,59	623 991,67	626 738,63	629 485,60	632 145,79	632 781,60
200	1 522 859,96	1 045 182,01	848 508,57	718 175,87	627 292,77	731 918,96	800 938,55	848 508,57	896 078,58	942 703,51	842 097,11	845 302,84	848 508,57	851 009,14	852 009,75
250	1 987 581,29	1 307 445,86	1 064 491,75	919 211,34	784 115,96	926 693,43	995 592,59	1 064 491,75	1 133 341,68	1 178 937,15	1 058 207,01	1 061 349,38	1 064 491,75	1 067 427,81	1 068 789,04

Таблиця 3.2 – Залежність капітальних вкладень від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_B}$) при різних витратах мастила G_O в маслоохолоджувачах турбін

G_O , кг/с	Значення при коригуванні k_k =					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_O}$ =					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_B}$ =				
	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6
10	245 877,97	158 705,05	125 116,36	102 008,86	76 829,66	114 289,65	117 543,07	125 116,36	125 813,52	126 510,68	121 066,68	121 617,95	125 116,36	125 150,47	125 184,58
50	986 432,60	634 658,63	510 760,57	390 397,77	330 523,38	416 287,00	502 716,41	510 760,57	518 804,73	526 848,89	508 350,79	509 555,68	510 760,57	511 965,46	513 170,35
100	1 843 738,09	1 184 485,35	938 213,72	730 680,88	661 046,76	780 066,22	812 678,43	938 213,72	966 453,06	1 062 636,55	921 278,12	937 579,71	938 213,72	938 847,73	939 481,74
150	2 894 606,82	1 701 145,47	1 321 984,99	1 130 247,91	991 570,14	1 077 937,44	1 297 441,78	1 321 984,99	1 352 556,72	1 383 128,45	1 315 022,82	1 318 503,90	1 321 984,99	1 349 093,94	1 349 899,67
200	3 679 672,77	2 344 861,33	1 847 678,33	1 463 771,94	1 322 093,52	1 430 477,18	1 787 395,30	1 847 678,33	1 907 961,36	1 993 751,77	1 839 553,43	1 843 615,88	1 847 678,33	1 877 552,24	1 878 820,26
250	4 150 977,10	2 857 471,90	2 066 762,87	2 122 397,89	1 652 616,90	1 892 138,16	1 979 450,51	2 066 762,87	2 180 717,88	2 769 451,34	2 058 798,54	2 062 780,70	2 066 762,87	2 097 188,63	2 098 913,66

Таблиця 3.3 – Залежність експлуатаційних витрат від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_B}$) при різних витратах мастила G_O в маслоохолоджувачах турбін

G_O , кг/с	Значення при коригуванні k_k =					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_O}$ =					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_B}$ =				
	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6
10	45 283,13	31 267,27	25 528,63	21 263,26	21 968,03	23 815,06	25 731,69	25 528,63	25 939,34	26 350,05	25 484,39	25 809,15	25 528,63	25 548,73	25 568,82
50	201 544,47	146 164,54	113 479,96	105 792,66	90 718,52	113 815,78	108 741,05	113 479,96	118 218,86	122 957,77	112 060,33	112 770,14	113 479,96	114 189,77	114 899,59
100	392 014,56	285 684,21	235 544,68	210 751,91	181 437,03	218 659,92	237 872,14	235 544,68	252 180,80	246 654,84	236 104,36	235 171,18	235 544,68	235 918,19	236 291,69
150	596 865,94	446 344,84	365 088,60	317 419,66	272 155,55	338 234,79	343 173,45	365 088,60	383 098,75	401 108,90	360 987,11	363 037,85	365 088,60	362 327,00	362 801,67
200	786 925,41	576 209,75	478 972,90	425 421,48	362 874,06	445 823,52	443 459,49	478 972,90	514 486,31	543 953,15	474 186,43	476 579,66	478 972,90	475 498,69	476 245,70
250	1 157 385,87	735 951,48	651 139,18	494 731,76	453 592,58	548 265,80	599 702,49	651 139,18	697 198,10	625 046,88	646 447,31	648 793,24	651 139,18	647 990,08	649 006,31

Таблиця 3.4 – Залежність швидкості середовища О від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_V}$) при різних витратах мастила G_O в маслоохолоджувачах турбін

G_O , кг/с	Значення при коригуванні $k_k=$					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_O}=$					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_V}=$				
	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6
10	0,23	0,17	0,11	0,15	0,22	0,26	0,26	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11
50	0,42	0,45	0,26	0,37	0,19	0,52	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
100	0,42	0,45	0,43	0,37	0,19	0,50	0,50	0,43	0,43	0,25	0,45	0,43	0,43	0,43	0,43
150	0,40	0,60	0,30	0,37	0,19	0,76	0,63	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29
200	0,42	0,46	0,45	0,37	0,19	0,74	0,45	0,45	0,45	0,43	0,45	0,45	0,45	0,43	0,43
250	0,47	0,47	0,51	0,15	0,19	0,51	0,51	0,51	0,50	0,11	0,51	0,51	0,51	0,50	0,50
mid	0,43	0,50	0,42	0,32	0,19	0,63	0,52	0,42	0,42	0,27	0,43	0,42	0,42	0,41	0,41

Таблиця 3.5 – Залежність швидкості середовища В від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_V}$) при різних витратах мастила G_O в маслоохолоджувачах турбін

G_O , кг/с	Значення при коригуванні $k_k=$					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_O}=$					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_V}=$				
	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6
10	0,12	0,08	0,10	0,14	0,20	0,28	0,28	0,10	0,10	0,10	0,28	0,28	0,10	0,10	0,10
50	0,19	0,13	0,21	0,17	0,14	0,26	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
100	0,19	0,13	0,14	0,22	0,14	0,15	0,15	0,14	0,14	0,15	0,25	0,14	0,14	0,14	0,14
150	0,16	0,14	0,22	0,17	0,14	0,23	0,11	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,13	0,13
200	0,19	0,17	0,21	0,22	0,14	0,16	0,21	0,21	0,21	0,14	0,21	0,21	0,21	0,14	0,14
250	0,23	0,28	0,20	0,21	0,14	0,20	0,20	0,20	0,15	0,17	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15
mid	0,19	0,18	0,19	0,21	0,14	0,19	0,17	0,19	0,18	0,17	0,22	0,19	0,19	0,14	0,14

Таблиця 3.6 – Залежність кінцевої температури середовища В від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_B}$) при різних витратах мастила G_O в маслоохолоджувачах турбін

G_O , кг/с	Значення при коригуванні $k_k=$					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_O}=$					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_B}=$				
	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6
10	30	35	35	40	35	40	40	35	35	35	35	35	35	35	35
50	30	35	40	40	40	35	40	40	40	40	40	40	40	40	40
100	30	35	40	40	40	35	35	40	40	40	40	40	40	40	40
150	30	35	35	40	40	35	40	35	35	35	35	35	35	35	35
200	30	35	40	40	40	35	40	40	40	40	40	40	40	40	40
250	25	35	35	40	40	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
mid	28,75	35,00	37,50	40,00	40,00	35,00	37,50	37,50	37,50	37,50	37,50	37,50	37,50	37,50	37,50

Таблиця 3.7 – Залежність поверхні теплообміну від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_B}$) при різних витратах мастила G_O в маслоохолоджувачах турбін

G_O , кг/с	Значення при коригуванні $k_k=$					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_O}=$					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_B}=$				
	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6
10	94,8	64,2	49,8	37,8	24,6	42,6	42,6	49,8	49,8	49,8	47,4	47,4	49,8	49,8	49,8
50	399,6	247,2	217,2	152,4	143,4	160,2	217,2	217,2	217,2	217,2	217,2	217,2	217,2	217,2	217,2
100	802,8	496,8	387	298,8	286,8	333	333	387	387	442,8	376,2	387	387	387	387
150	1249,2	693	562,8	459,6	430,2	439,2	530,4	562,8	562,8	562,8	562,8	562,8	562,8	582	582
200	1609,2	981,6	754,2	598,8	573,6	602,4	754,2	754,2	754,2	775,8	754,2	754,2	754,2	775,8	775,8
250	1796,4	1188	819	946,8	717	819	819	819	840,6	1227	819	819	819	840,6	840,6

Таблиця 3.8 – Залежність приведених витрат від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_B}$) при різних теплових навантаженнях Q в теплообмінниках опалювальної системи

Q, кВт	Значення при коригуванні k_k =					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_O}$ =					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_B}$ =				
	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6
100	12 616,66	7 181,84	5 662,45	5 579,72	5 575,22	5 617,80	5 650,32	5 662,45	5 667,29	5 672,12	5 611,78	5 637,12	5 662,45	5 686,61	5 690,37
700	47 732,28	34 467,43	26 892,01	23 859,45	20 829,33	26 883,75	26 887,88	26 892,01	26 896,13	26 900,26	26 889,90	26 890,95	26 892,01	26 893,06	26 894,11
1200	77 290,78	53 143,69	40 427,95	35 120,09	32 863,35	40 419,55	40 423,75	40 427,95	40 432,16	40 436,36	40 399,12	40 413,53	40 427,95	40 442,37	40 456,79
2000	122 328,03	79 460,36	64 663,20	53 830,28	48 700,00	64 614,26	64 638,73	64 663,20	64 687,66	64 712,13	64 239,79	64 451,49	64 663,20	64 874,90	65 086,60

Таблиця 3.9 – Залежність капітальних вкладень від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_B}$) при різних теплових навантаженнях Q в теплообмінниках опалювальної системи

Q, кВт	Значення при коригуванні k_k =					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_O}$ =					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_B}$ =				
	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6
100	37 416,38	19 870,91	14 725,35	14 620,51	14 614,81	14 668,76	14 709,97	14 725,35	14 731,47	14 737,60	14 661,13	14 693,24	14 725,35	14 755,96	14 760,73
700	129 005,59	87 270,37	62 012,40	51 906,18	41 803,05	62 001,93	62 007,16	62 012,40	62 017,63	62 022,86	62 009,72	62 011,06	62 012,40	62 013,73	62 015,07
1200	223 633,35	125 403,27	87 331,16	69 644,15	62 086,90	87 320,50	87 325,83	87 331,16	87 336,48	87 341,81	87 294,62	92 110,17	87 331,16	92 773,43	87 367,70
2000	316 810,65	185 151,17	135 083,42	100 155,97	82 694,01	135 021,41	135 052,42	135 083,42	135 114,43	135 145,43	134 546,86	134 815,14	135 083,42	135 351,70	135 619,98

Таблиця 3.10 – Залежність експлуатаційних витрат від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_B}$) при різних теплових навантаженнях Q в теплообмінниках опалювальної системи

Q, кВт	Значення при коригуванні k_k =					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_O}$ =					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_B}$ =				
	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6
100	5 133,38	3 207,66	2 717,38	2 655,62	2 652,26	2 684,05	2 708,33	2 717,38	2 720,99	2 724,60	2 679,55	2 698,47	2 717,38	2 735,42	2 738,23
700	21 931,17	17 013,35	14 489,53	13 478,21	12 468,72	14 483,36	14 486,44	14 489,53	14 492,61	14 495,69	14 487,95	14 488,74	14 489,53	14 490,31	14 491,10
1200	39 976,73	28 063,03	22 961,72	21 191,26	20 445,97	22 955,45	22 958,58	22 961,72	22 964,86	22 968,00	22 940,19	24 840,00	22 961,72	25 230,73	22 983,25
2000	58 965,90	42 430,13	37 646,51	33 799,08	32 161,20	37 609,98	37 628,25	37 646,51	37 664,78	37 683,04	37 330,42	37 488,46	37 646,51	37 804,56	37 962,61

Таблиця 3.11 – Залежність швидкості середовища О від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_B}$) при різних теплових навантаженнях Q в теплообмінниках опалювальної системи

Q, кВт	Значення при коригуванні k_k =					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_O}$ =					Значення при коригуванні $k_{\Delta P_B}$ =				
	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6
100	0,28	0,14	0,14	0,09	0,05	0,28	0,28	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,28	0,28
700	0,22	0,08	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
1200	0,38	0,25	0,14	0,19	0,28	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,38	0,14	0,38	0,14
2000	0,25	0,31	0,24	0,31	0,47	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
mid	0,28	0,20	0,17	0,19	0,24	0,21	0,21	0,17	0,17	0,17	0,17	0,23	0,17	0,27	0,21

Таблиця 3.12 – Залежність швидкості середовища В від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_B}$) при різних теплових навантаженнях Q в теплообмінниках опалювальної системи

Q, кВт	Значення при коригуванні k _к =					Значення при коригуванні k _{ΔP₀} =					Значення при коригуванні k _{ΔP_В} =				
	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0,4	0,7	1	1,3	1,6
100	0,08	0,15	0,25	0,12	0,12	0,12	0,12	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,12	0,12
700	0,21	0,12	0,10	0,12	0,17	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
1200	0,22	0,29	0,21	0,21	0,16	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,29	0,21	0,29	0,21
2000	0,28	0,25	0,49	0,22	0,19	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
mid	0,20	0,20	0,26	0,17	0,16	0,23	0,23	0,26	0,26	0,26	0,26	0,28	0,26	0,25	0,23

Таблиця 3.13 – Залежність поверхні теплообміну від коефіцієнтів коригування до коефіцієнта теплопередачі (k_k) і гідравлічним опорам по середовищах О і В ($k_{\Delta P_O}$, $k_{\Delta P_B}$) при різних теплових навантаженнях Q в теплообмінниках опалювальної системи

[illegible]

Додаток И

ТАБЛИЦІ ПОРІВНЯННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ШВИДКОСТЕЙ, РОЗРАХОВАНИХ ПОПЕРЕДНЬО РІЗНИМИ МЕТОДАМИ І ПОРІВНЯННЯ ЇХ З ДІЙСНИМИ ОПТИМАЛЬНИМИ ШВИДКОСТЯМИ

Таблица И.1 – Оптимальні швидкості теплоносіїв для різних значень коефіцієнтів росту цін за отриманою в роботі формулою і за результатами оптимізації

Швидкості теплоносіїв (м/с) для випадків	при зростанні ціни електроенергії				при зростанні ціни металу				при одночасному зростанні ціни металу і електроенергії			
	k = 2	k = 5	k = 10	k = 30	k = 2	k = 5	k = 10	k = 30	k = 2	k = 5	k = 10	k = 30
по формулі	0,168	0,134	0,112	0,085	0,230	0,276	0,317	0,395	0,193	0,185	0,178	0,169
за результатами оптимізації:												
а) для маслоохолоджувачів турбін												
G = 10 кг/с	0,099	0,099	0,099	0,072	0,185	0,461	0,077	0,922	0,10	0,18	0,10	0,23
G = 50 кг/с	0,213	0,099	0,099	0,044	0,257	0,308	0,384	0,575	0,26	0,22	0,22	0,24
G = 100 кг/с	0,150	0,099	0,099	0,044	0,257	0,165	0,279	0,575	0,15	0,22	0,22	0,24
G = 150 кг/с	0,128	0,099	0,099	0,044	0,226	0,308	0,384	0,575	0,22	0,22	0,22	0,24
G = 200 кг/с	0,137	0,099	0,099	0,044	0,226	0,223	0,462	0,575	0,15	0,33	0,33	0,24
G = 250 кг/с	0,169	0,099	0,099	0,044	0,257	0,230	0,524	0,524	0,20	0,23	0,25	0,25
б) для теплообмінників системи тепlopостачання												
Q = 100 кВт - мережева	0,141	0,141	0,141	0,071	0,141	0,141	0,141	0,141	0,14	0,14	0,14	0,14
- домова	0,247	0,247	0,247	0,093	0,247	0,247	0,247	0,247	0,25	0,25	0,25	0,25
Q = 700 кВт - мережева	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,148	0,148	0,887	0,16	0,15	0,15	0,15
- домова	0,096	0,096	0,096	0,096	0,096	0,259	0,259	0,137	0,10	0,26	0,26	0,26
Q = 1200 кВт мережева	0,141	0,141	0,141	0,141	0,141	0,380	0,380	0,507	0,14	0,14	0,14	0,14
- домова	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,285	0,285	0,999	0,21	0,21	0,21	0,21
Q = 2000 кВт мережева	0,235	0,235	0,314	0,157	0,235	0,235	0,235	0,235	0,24	0,24	0,24	0,24
- домова	0,494	0,494	0,353	0,155	0,494	0,494	0,494	0,494	0,49	0,49	0,49	0,49

Таблиця И.2 – Похибки визначення оптимальних швидкостей теплоносіїв при різних коефіцієнтах зростання цін щодо визначених по формулі / рекомендованої швидкості 0,8 м/с

Швидкості теплоносіїв (м/с) для випадків	при зростанні ціни електроенергії				при зростанні ціни металу				при одночасному зростанні ціни металу і електроенергії			
	k = 2	k = 5	k = 10	k = 30	k = 2	k = 5	k = 10	k = 30	k = 2	k = 5	k = 10	k = 30
а) для маслоохолоджувачів турбін												
G = 10 кг/с	70%/708%	35%/708%	14%/708%	18%/1008%	25%/334%	67%/73%	312%/940%	133%/15%	93%/700%	3%/344%	78%/700%	36%/248%
G = 50 кг/с	27%/275%	35%/708%	14%/708%	93%/1702%	12%/212%	11%/160%	21%/108%	46%/39%	35%/208%	19%/264%	23%/264%	42%/233%
G = 100 кг/с	12%/433%	35%/708%	14%/708%	93%/1702%	12%/212%	67%/385%	14%/187%	46%/39%	29%/433%	19%/264%	23%/264%	42%/233%
G = 150 кг/с	31%/524%	35%/708%	14%/708%	93%/1702%	2%/254%	11%/160%	21%/108%	46%/39%	14%/264%	19%/264%	23%/264%	42%/233%
G = 200 кг/с	23%/484%	35%/708%	14%/708%	93%/1702%	2%/254%	23%/258%	46%/73%	46%/39%	29%/433%	79%/142%	85%/142%	42%/233%
G = 250 кг/с	0%/373%	35%/708%	14%/708%	93%/1702%	12%/212%	20%/249%	65%/53%	33%/53%	4%/300%	25%/248%	40%/220%	48%/220%
б) для теплообмінників системи тепlopостачання												
Q = 100 кВт												
- мережева	19%/467%	6%/467%	25%/467%	21%/1034%	63%/467%	96%/467%	125%/467%	180%/467%	38%/471%	32%/471%	27%/471%	21%/471%
- домова	47%/224%	85%/224%	120%/224%	8%/763%	8%/224%	12%/224%	28%/224%	60%/224%	29%/220%	35%/220%	40%/220%	48%/220%
Q = 700 кВт												
- мережева	2%/386%	23%/386%	46%/386%	93%/386%	40%/386%	87%/441%	114%/441%	125%/11%	21%/400%	23%/433%	19%/433%	12%/433%
- домова	75%/732%	39%/732%	17%/732%	13%/732%	139%/732%	7%/209%	22%/209%	188%/483%	93%/700%	41%/208%	46%/208%	54%/208%
Q = 1200 кВт												
- мережева	19%/467%	6%/467%	25%/467%	65%/467%	63%/467%	38%/110%	20%/110%	28%/58%	38%/471%	32%/471%	27%/471%	21%/471%
- домова	26%/277%	58%/277%	88%/277%	148%/277%	8%/277%	3%/180%	11%/180%	153%/25%	9%/281%	14%/281%	18%/281%	24%/281%
Q = 2000 кВт												
- мережева	40%/240%	76%/240%	179%/155%	84%/410%	2%/240%	17%/240%	35%/240%	68%/240%	24%/233%	30%/233%	35%/233%	42%/233%
- домова	194%/62%	270%/62%	214%/126%	81%/418%	115%/62%	79%/62%	56%/62%	25%/62%	154%/63%	166%/63%	175%/63%	190%/63%

Додаток К

Акти впровадження результатів дисертації



інженерна компанія

Актуальна Механіка

ТОВ «ІК АКТУАЛЬНА МЕХАНІКА»
вул. Чернишевська 56
м.Харків, 61002, Україна

тел.: +38-057-7581227

www.actualmechanics.com
E-mail: office@actualmechanics.com

вих. № 01-1121 від 03 листопада 2020р.

ДОВІДКА

Розроблені у дисертаційній роботі Алтухової Ольги Василівни методи, моделі, алгоритми та програмний продукт для розрахунку і оптимізації пластинчастих теплообмінників були використані при проектуванні ефективних енергетичних установок інженерною компанією ТОВ "ІК АКТУАЛЬНА МЕХАНІКА".



Директор ТОВ "ІК АКТУАЛЬНА МЕХАНІКА", к.т.н.

В.І. Челак



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної роботи
Національного технічного університету
"Харківський політехнічний інститут"

Руслан МИГУЩЕНКО

04.11.2020 р.

АКТ

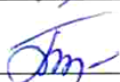
про використання на кафедрі теплотехніки та енергоефективних технологій
результатів дисертаційної роботи Алтухової Ольги Василівни

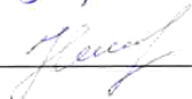
Комісія у складі: д.т.н., проф. Ганжі А.М. – завідувача кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій, к.т.н., доц. Пугачової Т.М. – професора кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій, к.т.н., доц. Угольнікова С.В. – доцента кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій, розглянула стан використання матеріалів дисертаційної роботи Алтухової О.В. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук при підготовці бакалаврів та магістрів теплоенергетиків та у наукових дослідженнях кафедри.

Комісія встановила:

1. Створені Алтуховою О.В. методи та засоби оптимізації пластинчастих теплообмінників використовуються для підготовки бакалаврів та магістрів теплоенергетиків на кафедрі теплотехніки та енергоефективних технологій при дипломному проектуванні та викладанні навчальних дисциплін "Основи математичного і комп'ютерного моделювання теплофізичних процесів" та "Математичне і комп'ютерне моделювання в задачах енергоефективності".
2. Матеріали дисертаційної роботи Алтухової О.В. були використані при проведенні держбюджетних науково-дослідних робіт кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій «Розробка теоретичних основ створення енергоефективних теплоутилізаційних комплексів на базі високотемпературних агрегатів з використанням когенераційних технологій», №ДР110U001235, «Підвищення енергоефективності систем скидної теплоти скловарних печей на основі моделювання та оптимізації теплообмінного обладнання» №0113U000423, «Розробка енергоефективних комплексних систем утилізації теплових вторинних енергоресурсів високотемпературних енерготехнологічних процесів» №0115U000523, у яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

 Антон ГАНЖА

 Тетяна ПУГАЧОВА

 Сергій УГОЛЬНИКОВ

**Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про
апробацію результатів дисертаційної роботи**

1. Алтухова О.В. Принципы формирования топологий схем тока сред в пластинчатых теплообменных аппаратах химических и других производств. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія.* Харків, 2014. №28 (1071). С.3–11.

Робота виконана здобувачкою самостійно.

2. Каневец Г.Е., Алтухова О.В. Синтезатор алгоритмов и программ ОКПТО-2014. Структура, область применения, дальнейшие пути совершенствования. *Інтегровані технології та енергозбереження.* Харків, 2014. №4. С.130–133.

Здобувачкою зроблено опис створеної нею системи синтезу алгоритмів та програм ОКПТО та аналіз подальших шляхів її розвитку

3. Каневец Г.Е., Алтухова О.В. Принципы создания синтезатора алгоритмов и программ оптимизации пластинчатых теплообменных аппаратов. *Енергосбережение. Энергетика. Энергоаудит.* Харьков, 2014. №12. С. 35–39.

Здобувачкою проаналізовано специфіку пластинчастих теплообмінників при створенні систем розрахунку

4. Алтухова О.В., Каневец Г.Е. Эффективность пластинчатых теплообменников: комплексный оптимизационный вычислительный эксперимент. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування.* Харків, 2017. № 9(1231). С52–56.

Здобувачкою проведено комплексні розрахункові оптимізаційні експерименти маслоохолоджувачів турбін та теплообмінників систем теплопостачання з використанням розробленої нею програми, надано рекомендації щодо використання результатів, виведено рівняння для розрахунку оптимальної швидкості води.

5. Каневец Г.Е., Алтухова О.В., Маврич Е.А. Сравнение эффективности кожухотрубчатых и пластинчатых подогревателей конденсата. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування.* Харків, 2019. № 1'2019. С39–42.

Здобувачкою розроблено програму для проведення оптимізації, виконано аналіз схеми, зроблено висновки щодо оптимальних швидкостей теплоносіїв.

6. Алтухова О.В., Канівець Г.Є. Оптимальні пластинчасті теплообмінники енергетичних установок. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування.* Харків, 2020. № 1(3). С.35–41.

Здобувачкою проведено оптимізацію пластинчастих теплообмінників у 4-х енергетичних установках за допомогою розробленої нею програми та зроблено висновки відносно оптимальних швидкостей теплоносіїв.

7. Канівець Г. Є., Кошельник О. В., Алтухова О. В., Суїма С. Д. Розробка алгоритму та написання програми оптимізації пластинчастих теплообмінників. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*: тези доп. XIX міжнар. наук.-практ. конф., Ч.I (м. Харків, 01-03 черв. 2011 р.). Харків, 2011. С. 240.

Здобувачкою розроблено алгоритм оптимізації.

8. Г. Е. Каневец, А. В. Кошельник, О. В. Алтухова, С. Д. Суїма, Л. М. Коваленко. Разработка алгоритма оптимизационного расчета пластинчатых теплообменников на основе структурно-модульного подхода. *Енергетика. Екологія. Людина*: наукові праці НТУУ «КПІ», ІЕЕ. Київ, 2011. С.126–132.

Здобувачкою розроблено алгоритм оптимізації з використанням структурно-модульного підходу.

9. Г. Е. Каневец, А. В. Кошельник, С. Д. Суїма, О. В. Алтухова. Повышение эффективности работы пластинчатых теплообменников путем оптимизации конструктивных и режимных параметров. *Енергетика. Екологія. Людина*: наукові праці НТУУ «КПІ», ІЕЕ. Київ, 2011. С.133–138.

Здобувачкою розроблено алгоритм для описаної у статті програми.

10. Алтухова О.В., Канівець Г.Є. Структура й математична модель синтезу топології схеми току теплоносіїв у пластинчастих теплообмінних апаратах // *Інформаційні технології: наука, технологія, освіта, здоров'я*: тези доп. XX міжнар. наук.-практ. конф., Ч.I (м. Харків, 15-17 травня 2012 р.). Харків, 2012. С.230.

Автором розроблено математичну модель синтезу топології схеми току теплоносіїв.

11. Канівець Г.Є., Суїма С.Д., Кошельник О.В., Алтухова О.В. Розрахунковий експеримент при оптимізації пластинчастого теплообмінника. *Інформаційні технології: наука, технологія, освіта, здоров'я*: тези доп. XX міжнар. наук.-практ. конф., Ч.I (м. Харків, 15-17 травня 2012 р.). Харків, 2012. С.259.

Здобувачкою проведено розрахункові експерименти для водо-водяних теплообмінників з використанням розробленої нею програми, встановлено оптимальні швидкості теплоносіїв та інші залежності.

12. Каневец Г. Е., Алтухова О. В., Суїма С. Д. Пилотный синтезатор средств оптимизации промышленных пластинчатых теплообменников. *Математические методы в технике и технологиях ММТТ-25*: сб. трудов XXV Междунар. науч. конф.: в 10 т. Т. 10. Секция 12. Волгоград, 2012; Харьков, 2012. С.50–53.

Здобувачкою описано основні принципи створення синтезатора та його алгоритмічну частину.

13. Алтухова О.В., Канівець Г.Є. Методика уточненого розрахунку пластинчастого теплообмінного апарату на основі фрактального підходу. *Інформаційні тех.нології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. XXI міжнар. наук.-практ. конф., Ч.I (м. Харків, 29-31 травня 2013 р.)*. Харків, 2013. С.261.

Здобувачкою розроблено уточнену методику та використано для неї фрактальний підхід.

14. Каневец Г.Е., Алтухова О.В. Синтезатор средств оптимизационного вычислительного эксперимента с теплообменным оборудованием различных конструкций и назначения как инструмент повышения эффективности теплообменников муниципальной энергетики. *Муниципальна енергетика: Проблеми, рішення: п'ята міжнар. наук.-техн. конф., 19-20 грудня 2013р. Миколаїв, 2013. С.103–106.*

Здобувачкою зроблено опис розробленого синтезатора та можливості його використання для оптимізації теплообмінників муніципальної енергетики.

15. Алтухова О.В., Канівець Г.Є. Універсальна методика автоматичної генерації моделі топології комплексів теплообмінних поверхонь для теплового розрахунку на основі фрактального підходу. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. XXII міжнар. наук.-практ. конф., Ч.V (м. Харків, 21-23 травня 2014 р.)*. Харків, 2014. С.252.

Здобувачкою розроблено методику генерації топології схем течіння теплоносіїв.

16. Каневец Г.Е., Алтухова О.В. Функциональная классификация пластинчатых теплообменников как основа для построения синтезаторов систем их расчёта и оптимизации. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. XXIII міжнар. наук.-практ. конф., Ч.I (м. Харків, 20-22 травня 2015 р.)*. Харків, 2015. С.269.

Здобувачкою викладено створені нею основи функціональної класифікації пластинчастих теплообмінників, яку було закладено в основу створеної системи оптимізації.

17. Каневец Г.Е., Алтухова О.В. Исследование влияния изменения независимых переменных на результаты оптимизации пластинчатых теплообменников. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. XXIV міжнар. наук.-практ. конф., Ч.I (м. Харків, 18-20 травня 2016 р.)*. Харків, 2016. С.260.

Здобувачкою проведено розрахункові експерименти за допомогою створеної нею програми, зроблено висновки по результатах.

18. Алтухова О.В., Каневец Г.Е. Рекомендации по выбору оптимальных скоростей сред в пластинчатых теплообменниках. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. XXV міжнар. наук.-*

практ. конф. MicroCAD-2017, 17-19 травня 2017 р.: у 4 ч. Ч.I.– Харків, 2017. С.244.

Здобувачкою встановлено оптимальні швидкості теплоносіїв в каналах теплообмінника по результатам проведених нею розрахункових експериментів.

19. Алтухова О.В., Каневец Г.Е. Влияние погрешности отдельных расчётов на итоговые результаты расчёта и оптимизации пластинчатого теплообменника. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*: тези доп. XXV міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2017, 17-19 травня 2017 р.: у 4 ч. Ч.I. Харків, 2017. С.243.

Здобувачкою встановлено ступінь впливу похибок розрахунку на кінцеві результати оптимізації по результатам проведених нею розрахункових експериментів, надано рекомендації щодо необхідності використання уточнених методик.

20. Nishit Mehta, Olga Altukhova, Abdul Nassar, Leonid Moroz. An Integral Approach to Designing of an Optimized and Reliable Anti-icing System under Off-Design Operating Regimes in a Gas Turbine. *ASME 2019 Gas Turbine India Conference*. Indian Institute of Technology Madras, Chennai, India. December 5-6, 2019.

Здобувачкою проведено оптимізацію систем знеліднення газотурбінних установок, у тому числі оптимізацію підігрівачів повітря за допомогою розробленої нею програми.

21. Moroz L., Pastrikakis V., Yevlakhov V., Altukhova O., Hoisan S. Accurate modeling of heat pump cycles with steam injection in off-design regimes utilizing an integrated approach. *Refrigeration Science and Technology, IIR Rankine Conference 2020*, 2020-July. P.358–372.

Здобувачкою проведено оптимізацію теплообмінників схеми за допомогою розробленої нею програми.

22. Leonid Moroz, Maksym Burlaka, Tishun Zhang, Olga Altukhova. Application of digital twin concept for supercritical CO₂ off-design performance and operation analyses. *Proceedings of ASME Turbo Expo 2020. Turbomachinery Technical Conference and Exposition*. GT2020. June 22-26, 2020, London, England, 2020.

Здобувачкою проведено оптимізацію регенераторів циклу за допомогою розробленої нею програми.