

УДК 62-6

**Енергоефективна оптимізація системи теплопостачання нафтотерміналу**П. М. Гламаздін<sup>1</sup>, Е. Сірохіна<sup>2</sup><sup>1</sup> к.т.н., доцент, Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна, [sib.kiev@gmail.com](mailto:sib.kiev@gmail.com), ORCID 0000-0003-2611-2687<sup>2</sup> студентка, Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна, [s.ewel4063@ukr.net](mailto:s.ewel4063@ukr.net), ORCID 0000-0003-2469-7132

*Анотація.* В умовах необхідності розвитку транспортної інфраструктури України та диверсифікації джерел постачання в країну енергоносіїв, серед яких нафти та нафтопродуктів, постає проблема розвитку нафтотерміналів. Дана робота присвячена оптимізації структури теплопостачання нафтотерміналів і в цьому сенсі є актуальною. У результаті проведених досліджень показано можливість використання високотемпературних органічних теплоносіїв (ВОТ) для теплопостачання нафтотерміналів; показано переваги в ефективності, екологічності та надійності систем з ВОТ проти систем з використанням водяної пари як теплоносія; показано, що на відміну від парових систем теплопостачання нафтотерміналів системи з ВОТ можливо улаштувати не тільки централізованими але й децентралізованими. Це дає додаткові економічні переваги: зменшує довжину внутрішньомайданчикових теплових мереж в нафтотерміналі, а завдяки цьому зменшуються тепловтрати в них і підвищується надійність системи. Проведено вартісну оцінку капітальних вкладень порівнюваних варіантів улаштування системи теплопостачання. Показано перевагу децентралізованої системи. Отримано нижчу вартість експлуатації також для децентралізованої системи за рахунок зменшення питомої витрати палива та електроенергії. Отримані в результаті дослідження матеріали можна використовувати як рекомендації до проектування систем теплопостачання нафтотерміналів з використанням ВОТ.

*Ключові слова:* важкий нафтопродукт, нафтотермінал, теплопостачання, високотемпературний органічний теплоносіїв

**Вступ.** Особливістю деяких сортів нафти та важких нафтопродуктів (мазут, гудрон) є сильне зниження в'язкості, Па·с, при зростанні температури, °С. При цьому для зменшення в'язкості до значень, при яких ці нафтопродукти стають придатними до спорожнення посудин, наповнення резервуарів та транспортування трубопроводами, потрібна достатньо висока температура. Для мазуту марки 100 – це 60 °С [1], а для гудрону – понад 100 °С. Температура для розігріву сирової нафти коливається в широкому діапазоні і залежить від складу останньої [2].

На даний час для розігріву важких нафтопродуктів і сирової нафти в основному використовуються парові системи [1-3]. Як і всім іншим паровим системам, їм притаманний ряд недоліків, які роблять їх занадто енергоємними, не дуже надійними і дорогими в експлуатації [4]. Тому виникає задача пошуку більш надійних та енергоефективних варіантів теплопостачання.

**Актуальність роботи.** Останнім часом для перевалювання нафтопродуктів почали використовувати системи їхнього нагрівання за допомогою високотемпературних органічних теплоносіїв (ВОТ) [5]. Однак робіт, присвячених використанню ВОТ в нафтотерміналах, вкрай мало. Проектианти без доступу до спеціальних знань в цій галузі зазвичай проектують

парові системи теплопостачання нафтотерміналів. Це обумовлює актуальність досліджень енергоефективності та надійності систем теплопостачання нафтотерміналів з ВОТ.

**Останні дослідження та публікації.** Інформації щодо підвищення енергоефективності систем теплопостачання нафтотерміналів у технічній літературі вкрай обмаль, як і стосовно влаштування подібних систем взагалі. В основному, крім спеціального підручника [2], вона стосується систем зберігання і подавання мазуту до парових котлів теплових електростанцій [1,3,6,7], хоча може бути використана і при проектуванні нафтотерміналів.

У всіх зазначених джерелах мова йде про парові системи нагріву нафтопродуктів. В останніх публікаціях у технічних журналах, присвячених цій галузі, мова йде також про інтенсифікацію процесів у цих системах.

У статті [8] пропонується підтримувати тиск пари до 0,6...0,8 МПа і температуру до 200 °С. Як більш прогресивний циркуляційний метод запропоновано нагрівання мазуту в спеціальних теплообмінниках – конденсаторах пари, а далі під тиском мазут подається до резервуара.

У статті [9] пропонується заміна традиційних кожухотрубних теплообмінників-конденсаторів з водяною парою для нагрівання мазуту замінити на теплообмінники типу

«труба в трубі». У роботі [10] пропонується на нафтобазах багатоступенева система отримання водяної пари, що насамкінець іде на підтримання необхідної температури в резервуарах з нафтопродуктами. У першому ступені використовується сонячна енергія, надалі пропонується використовувати тепловий насос, а далі – звичайна парова система. Роботоздатність та доцільність такої системи викликає сумніви.

В останніх публікаціях з'являється інформація щодо можливості використання ВОТ у системах теплопостачання нафтотерміналів. Так, у роботі [11] наведено теплову схему системи теплопостачання нафтобази з ВОТ та з блоковою котельною для нагрівання останнього. Однак, схема надана дуже спрощено і з недоліками, а розрахунок блокового підігрівача нафти з ВОТ відсутній, хоча й задекларований у назві.

У роботі [12] декларується перевага ВОТ перед водяною парою для систем опалення морських суден, особливо льодового класу, через невеликий тиск теплоносія при підвищеній температурі. Згадується, що Правилами Російського морського реєстру дозволяється використання ВОТ на морських судах. Крім того, наведено інформацію щодо наявності в північних районах трьох морських нафтотерміналів з використанням ВОТ у системах теплопостачання. Проте подробиць щодо їхнього обладнання й досвіду експлуатації не наводиться.

У роботі [13] наводяться дані щодо використання ВОТ у судових системах життєзабезпечення. Наводиться інформація відносно започаткування використання ВОТ у 30-х роках минулого сторіччя в хімічних технологіях. На морських судах вони використовуються з 60-х років минулого сторіччя. Наводиться коротке порівняння з паровими системами, для яких виділено основні недоліки:

- високий тиск у системах;
- необхідність систем хімводоочищення;
- високий ступінь корозійної загрози.

Без обґрунтування декларуються витрати теплоносія-води в системі на рівні 5 % загального об'єму теплоносія. Наведено застарілу інформацію щодо виробників котлів для нагрівання ВОТ.

Більше інформації щодо використання ВОТ у системах теплопостачання нафтотерміналів не було знайдено. Однак, є достатньо великий обсяг інформації щодо досвіду використання ВОТ у хімічних технологіях [14].

В СРСР ВОТ широко використовувались у хімічних технологіях. Цю інформацію викладено у відповідних монографіях. Було видано

три видання монографії Четкіна А.В., останнє в 1971 році [15]. Крім того, є монографія Н. П. Долініна [16]. Але в них загалом мова йде про суто хімічні технології, у яких використовується в основному ВОТ у паровій фазі.

Відома також монографія, присвячена можливостям використання ВОТ для отримання електроенергії в паросиловому циклі Ренкіна [17] – так званому органічному циклі Ренкіна (ORC). Відома монографія Вагнера [18], що має також два видання. Вона містить різноманітну інформацію щодо можливостей використання ВОТ. У ній також відсутня інформація щодо особливостей використання ВОТ для таких об'єктів як нафтотермінали або нафтобази та інші, які мають великі відстані між споживачами теплоти.

У роботі [19] пропонується використовувати ORC для отримання електроенергії для забезпечення елементів портової інфраструктури. Однак, стосовно системи теплопостачання портів інформації немає.

Окремі міркування щодо використання систем теплопостачання з ВОТ у портах наведені в роботі [20]. Для проектування будівель котельні з котлами для нагрівання ВОТ деякі особливі вимоги задекларовано в «Правилах будови і безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів» НПАОП 0.00-1.08-94. Але там наведено тільки вимоги щодо розташування елементів котельні в будівлях.

Таким чином, проблема використання ВОТ для заміни водяної пари в системах теплопостачання нафтотерміналів на сьогодні не розроблена в достатній мірі і потребує подальших досліджень. Проведений огляд інформаційних джерел показує, що наразі необхідно поглиблене формулювання проблеми з подальшим дослідженням шляхів її вирішення

**Порівняльний аналіз парових систем та систем з ВОТ.** Для з'ясування конкретних переваг систем теплопостачання з ВОТ перед системами з водяною парою проведено техніко-економічний аналіз цих систем. Для проведення аналізу використано деякі принципи системного аналізу [21]. Першими аналіз виконано для парових систем.

Всі парові системи теплопостачання мають низку недоліків незалежно від об'єкту теплопостачання. Для поглиблення і конкретизації аналізу виконано декомпозицію системи (рис.1).

Структурна схема системи, отримана за допомогою декомпозиції, дозволяє провести прискіпливий аналіз витрат і втрат теплоти і теплоносія в системі. Вся система складається з трьох підсистем:

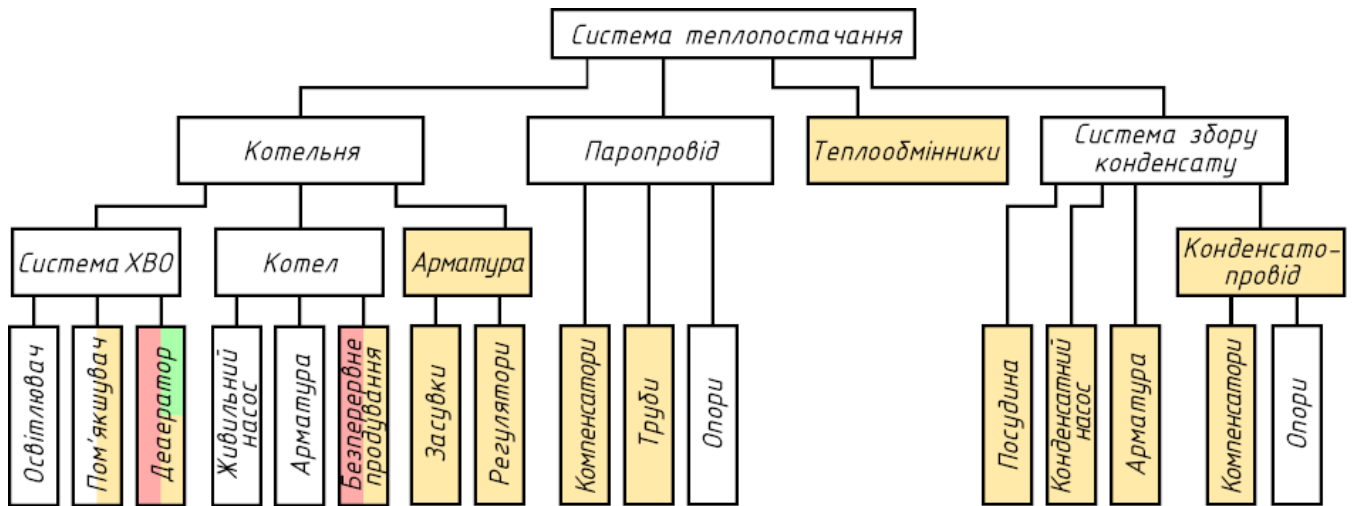


Рис.1. Структурна схема парової системи теплопостачання:

червоний колір – джерело втрат теплоносія;

жовтий колір – джерело втрат теплоти;

зелений колір – споживач технологічної теплоти;

ХВО – хімічне водоочищення

- джерело теплоти – парова котельня;
- паропровід;
- система збору і повернення конденсату.

Серце системи – парова котельня, яка у свою чергу складається з самого котла або декількох котлів, системи хімічного водоочищення (ХВО) та редуційно-охолоджувальної установки (РОУ), необхідної для підтримання постійних, стабільних параметрів пари на вході до паропроводу. Кожен з цих елементів є в свою чергу підсистемою зі своєю структурою (рис. 1). Майже в кожному елементі цих підсистем наявні технологічні витрати теплоти, втрати теплоти та/або теплоносія – води.

Технологічні витрати теплоти притаманні самій паровій котельні і необхідні для її функціонування. Прямим споживачем теплоти є система хімічного водоочищення. Теплоту для функціонування споживають деаератор та катіонітові фільтри пом'якшення сирової води. Крім того, в системі є втрати води в деаераторі з випаром (разом з теплою). Згідно з даними [22] витрати пари в деаераторі можуть сягати 2...3 % від паропроductивності котельні. Крім того, теплота втрачається крізь поверхні всіх трубопроводів, арматури та устаткування.

У самому котлі також мають місце втрати теплоти та води. Втрати води мають місце з безперервним продуванням котла. Вони можуть досягати 2...3 % від паропроductивності котла залежно від якості підготовки живильної води. При цьому разом з продувною водою втрачається і теплота.

Втрати теплоти мають місце в РОУ та в трубопроводах, а також з дренажами при пусках та зупинках котлів. За даними [22] ККД парової котельні в середньому не перевищує

86 %.

Паропроводи від котельні до об'єктів споживання пари є джерелом втрат теплоти. При цьому втрати в паропроводі більше, ніж в трубопроводах з рідинними теплоносіями через конденсацію пари в трубах при можливому охолодженні їхніх стін нижче за температуру насичення [23].

Нарешті система збирання конденсату після споживачів і повернення його до котельні також є джерелом втрат теплоти. Вони відбуваються через поверхні резервуарів для збирання конденсату і трубопроводів для транспортування останнього та необхідної арматури.

Для порівняння необхідно розглянути аналогічну структурну схему теплопостачання з ВОТ (рис. 2, табл. 1). З першого погляду видно, що в схемі менше елементів. Відповідно, в ній менше втрат як теплоти, так і теплоносія разом з теплою.

Загалом у системі з водяною парою наявні втрати теплоносія:

- технологічні – з випаром у деаераторі;
- у процесі безперервного продування котла.

У котельні з ВОТ теж є технологічна втрата, а саме невеликий відсоток переходу частини евтектичної рідини до газового стану. Але величина цієї втрати незрівняно мала відносно технологічних втрат води в паровій системі – десь 0,1% проти 5%.

Для парової котельні характерні великі втрати теплоти на власні потреби – деаерацію та пом'якшення води, а в котельні з ВОТ такі втрати відсутні. Нарешті втрати теплоти в трубопроводах з ВОТ менші порівняно з паровими системами. Тому ККД котельні з ВОТ досягає 93...94 %.

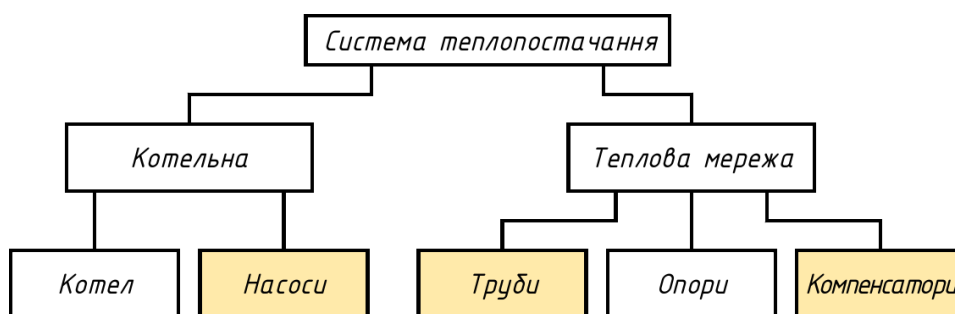


Рис.2. Структурна схема системи теплопостачання з ВОТ:

жовтий колір – джерело втрат теплоти

Таблиця 1.

Вихідні дані для порівняльного аналізу парових систем та систем з ВОТ.

№	Вид обладнання	Обладнання парової котельні	Обладнання котельні з ВОТ
1	Котли	Парові котли	Котли для ВОТ
2	Водо-підготовки	Система хімічного водоочищення в складі: - механічні фільтри-освітлювачі; - двоступеневе пом'якшення; - деаераційно-живильна установка - допоміжні теплообмінники (охолоджувачі випара, ін.)	Відсутня
3	Продування	Обладнання для безперервного та періодичного продування	Відсутнє
4	Насоси теплоносія	Живильні насоси	Колекторний насос Циркуляційні насоси для ВОТ
6	Технологічні посудини	Солерозчинювач; Бак запасу пом'якшення води;	Колекторна ємність; Розширювальна ємність;
7	Колодязі	Продувний колодязь	Відсутні
8	Конденсаційне господарство	Ємність збору конденсату; Конденсатопроводи; Конденсаційний насос; Арматура	Відсутнє

Надійність розглянутих систем дещо різниться. Загальне правило теорії надійності стверджує, що чим більше елементів у технічній системі, тим більше ймовірність відмови одного з них – і відтоді менша надійність системи [24].

Аналіз структурних схем показує, що система з водяною парою менш надійна через більшу кількість складових та складність їхніх зв'язків. Крім того, для парових систем характерні гідравлічні удари, ерозійний знос теплообмінників і, що найважливіше, велика корозійна загроза [25]. Але не дивлячись на явні переваги, системи з ВОТ ще не набули широкого розповсюдження. Цьому є низка причин.

Для початку треба підкреслити, що ця галузь від тридцятих років минулого сторіччя пройшла великий шлях розвитку. Використання ВОТ стримувалося через декілька не-

сприятливих факторів.

Високотемпературні органічні теплоносії – це евтектичні суміші декількох речовин. Ці суміші були недостатньо стабільними. З часом вони розкладалися з вивільненням певних речовин у формі твердих коксових частинок та пари. Термін їхньої експлуатації не перевищував три роки, після чого їх треба було міняти. Також перші евтектики були шкідливими для людини.

ВОТ має великий термічний коефіцієнт розширення. Тому необхідно використовувати спеціальну посудину для прийняття розширеної рідини при робочій температурі.

На сьогодні більшість подібних теплоносіїв цих вад уже не мають. Термін їхньої експлуатації сягає 10 років і більше. Майже всі вони не токсичні, виділення газової фази незначні [18, 26]. Однак попередження щодо можливості коксування при значній різниці температури

стінок теплообмінника та ВОТ залишається, хоча і не таке суворе, як для перших евтектиків.

На сьогодні не всі високотемпературні теплоносії є органічними. Натомість з'явилась велика група синтетичних речовин, а їхня верхня межа застосування досягає 400 °С і вище.

Загальний порівняльний аналіз парових систем теплопостачання та систем теплопостачання з ВОТ показав, що останні є без сумніву більш енергоефективними та надійними в експлуатації. Системи теплопостачання з ВОТ у силу своєї простої структури з малою кількістю елементів можуть бути виконані у вигляді централізованих і децентралізованих систем.

У централізованій системі використовується одна котельня для всіх споживачів теплоти. Вона має розгалужену теплову мережу. У децентралізованій системі біля кожного споживача знаходиться своє джерело теплоти. Протяжність трубопроводів між джерелом теплоти та споживачем мінімальна. Можливі і помірно децентралізований варіант.

Для парових систем децентралізація неприйнятна. Вона передбачає крім теплової мережі ще й мережу водопостачання до кожного джерела теплоти і мережу каналізації, що в стиснених умовах нафтотерміналів надто складно організувати. До того і джерело водопостачання може бути віддалено. Крім того з'являється плата за воду та прийняття каналізаційних стоків.

Через ці фактори парові децентралізовані системи у подальшому не розглядатимуться. Для аналізу залишається два варіанти системи з ВОТ: централізований і децентралізований.

Для конкретного дослідження вибрано нафтотермінал заводу з переробки нафти для розвантаження сирової нафти з залізничних цистерн у резервуари для її зберігання об'ємом 5000 м<sup>3</sup>. Вибраний термінал можна віднести до терміналів малої потужності. При збільшенні потужностей терміналу масштаби розбіжностей характеристик систем теплопостачання будуть збільшуватися.

Це – нафтотермінал нафтопереробного заводу малої потужності з реальним генпланом і розташуванням естакади та резервуарів. Завод використовував легку нафту, яку не було необхідності підігрівати. На даний час він переходить на парафіністу нафту. Її необхідно нагрівати для зливу з цистерн, а при зберіганні тримати при температурі не менше 30 °С.

На естакаді є два блоки для зливу нафти одночасно з трьох цистерн. Час зливу нафти з цистерн згідно з завданням на проектування становить дві години. Об'єм цистерн становить 60 тонн. Початкова температура нафти 0 °С,

температура, необхідна для зливу, становить – 30 °С. Для забезпечення зливу нафти з цистерн на естакаді необхідно надати в блоки зливу 0,46 МВт теплоти за дві години. Температура, за якої нафта буде зберігатись у резервуарі, становить 30 °С.

Приймається, що розрахунковий діапазон температури для запобігання остиганню та парафінізації нафти в резервуарі, становить від мінус 27 до плюс 30 °С.

Розглянуто два варіанти влаштування системи теплопостачання з високотемпературними органічними теплоносіями. Обидві системи передбачають використання високотемпературного теплоносія BAYER Diphyl DT [18] що має робочий діапазон температури 30...300 °С.

Централізований варіант передбачає влаштування однієї котельні з двома контурами теплопостачання до споживачів, а саме

- установки розігріву нафти в цистернах для її зливу на естакадах;
- установка для розігріву нафти в резервуарах до фіксованої температури та подальшому підтриманні її при цій температурі в резервуарі.

Трубопроводи прокладено над землею. Монтажну схему теплопостачання побудовано згідно з ДБН В.2.5-39:2008 «Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі» [27].

Корпус котельні виконано з 4-х морських контейнерів. У кожному з них вирізано одну стіну і частково у двох підлога та стіна. Контейнери з'єднано між собою попарно вирізаними стінками задля утворення загального просторового об'єму.

Отримані об'єми встановлюються один над одним. У результаті отримано дворівневий корпус з двосвітним об'ємом в середині. На першому рівні розташовується два котли для нагрівання ВОТ горизонтально й паралельно один одному. Тут же розміщено газове обладнання пальників. Кожний котел обладнано одним пальником з власним газорегуляторним приладом (газовою рампою). Також тут розміщується силовий електричний щит, суміщений зі щитом автоматики.

На верхньому рівні розміщується насосна група, яка складається з двох блоків циркуляційних насосів – по одному блоку на котел. В кожному блоці два насоси – робочий та резервний з відповідною арматурою та давачами. Таким чином забезпечується автоматичний перехід насосів з одного режиму до іншого для збереження однакового моторесурсу, а також у випадку відмови робочого насоса (АВР).

Також тут розміщено блок балонів з азотом

для забезпечення автоматичного пожежогасіння та створення азотної подушки в розширювальному баку для забезпечення захисту ВОТ в ньому від окиснення при контакті з повітрям.

На другому рівні розміщено систему вентиляції та пристрій для автоматичного перемикачання електричних споживачів з одного джерела на інше.

Зв'язок між рівнями забезпечується наявністю внутрішніх сходів, розміщених у середині котельні (рис. 3).

Природне освітлення здійснюється за рахунок ліхтарів у верхньому перекритті другого рівня. Ці ж ліхтарі слугують легкоскидною конструкцією у випадку вибуху газу в котельні.

Вхід до котельні здійснюється:

- на першому рівні через штатні двері;
- через окремі двері в бічній стінці на другому рівні завдяки спеціальному майданчику на відмітці, яка відповідає висоті перекриття між нижнім та верхнім рівнями.

Вхід на майданчик здійснюється спеціальними зовнішніми сходами. На ньому розміщено розширювальний бак об'ємом 7 м<sup>3</sup>. Бак з'єднується з основною системою трубопроводів та котлами, а також з блоком азотних баків. Він оснащений відповідною арматурою і контрольно-вимірювальними приладами.

Крім цього, розширювальний бак з'єднується з дренажним баком об'ємом 25 м<sup>3</sup>. Останній розміщено в спеціальній підземній камері з окремим трубопроводом для швидкого аварійного зливу ВОТ. Камера має чотири люки, розміщені по краям перекриття.

Перекриття камери знімне, виготовлене з армованого залізобетону. Вхід в цю камеру передбачається через люк завдяки вертикальним металевим драбинам, закріпленим на стінці камери.

Дренажний бак виконує дві функції – через нього виконується:

- заповнення системи;
- аварійний злив ВОТ або злив ВОТ для його заміни.

Бак з'єднано окремими трубопроводами

- з кожним з котлів;
- з піддонами для блоків насосів;
- з розширювальною ємністю;
- з колекторами для подачі ВОТ до контурів теплопостачання;
- газовідокремлювачем для прискорення зливу ВОТ з системи.

Альтернативна концепція передбачає улаштування двох окремих котельень в контейнерному виконанні біля кожного споживача. Таке технологічне рішення, дозволяє вирішити проблеми зайвих капітальних вкладень та експлуа-

таційних витрат.

Згідно з цією концепцією передбачається влаштувати дві котельні (рис. 5, табл. 2) однакової потужності та різного розміру:

- біля естакади для зливу нафти з цистерн;
- біля резервуару з сировою нафтою.

Основні недоліки централізованого варіанту пов'язані зі схемою теплової мережі. Від котельні виходять контури теплопостачання: завдовжки 251 м до естакади та 175 м до резервуару з нафтою. Температура ВОТ достатньо висока. Це примушує використовувати (табл. 2) дорогу теплову ізоляцію і проектувати декілька додаткових компенсаторів температурних подовжень з відповідними додатковими елементами (нерухомими та рухомими опорами).

Велика довжина теплової траси навіть при якісній тепловій ізоляції обумовлює досить вагомі теплові втрати – 62 кВт. Для їхньої компенсації доведеться витратити додаткове паливо котельні. Втрати теплоти розраховані згідно з СНиП 2.04.14-88\* Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов [28].

Для централізованого варіанту характерна велика кількість місцевих опорів за рахунок компенсаторів температурних подовжень. Це призводить до великого гідравлічного опору теплових трас. Відповідно, необхідні насоси з великим вихідним тиском і потужними двигунами та великим споживанням електроенергії при їх експлуатації (табл. 3).

Об'єм теплоносія, що заповнює систему, сягає 33 м<sup>3</sup>. Наслідками є

- збільшення об'єму зливного бака;
- зростання розмірів камери для його розташування;
- збільшення об'єму розширювальної ємності;
- зростання розмірів будівельних конструкцій для розміщення останньої;
- зростання об'єму азоту для створення азотної «подушки» в розширювальній ємності, також великого об'єму.

Таким чином, зазначена концепція характеризується великими капітальними та експлуатаційними витратами. Для децентралізованої системи довжина трубопроводів зменшується. При цьому котельні розташовано на відстані 50 м від естакади та 70 м від резервуарного парку.

Відстані при новому проектуванні могли би бути ще зменшені. Проте умови наявного об'єкту зі сталим генпланом не дали змоги зменшити їх ще більше.

Зменшення довжини трубопроводів призвело до зменшення тепловтрат до сумарної величини 15 кВт.

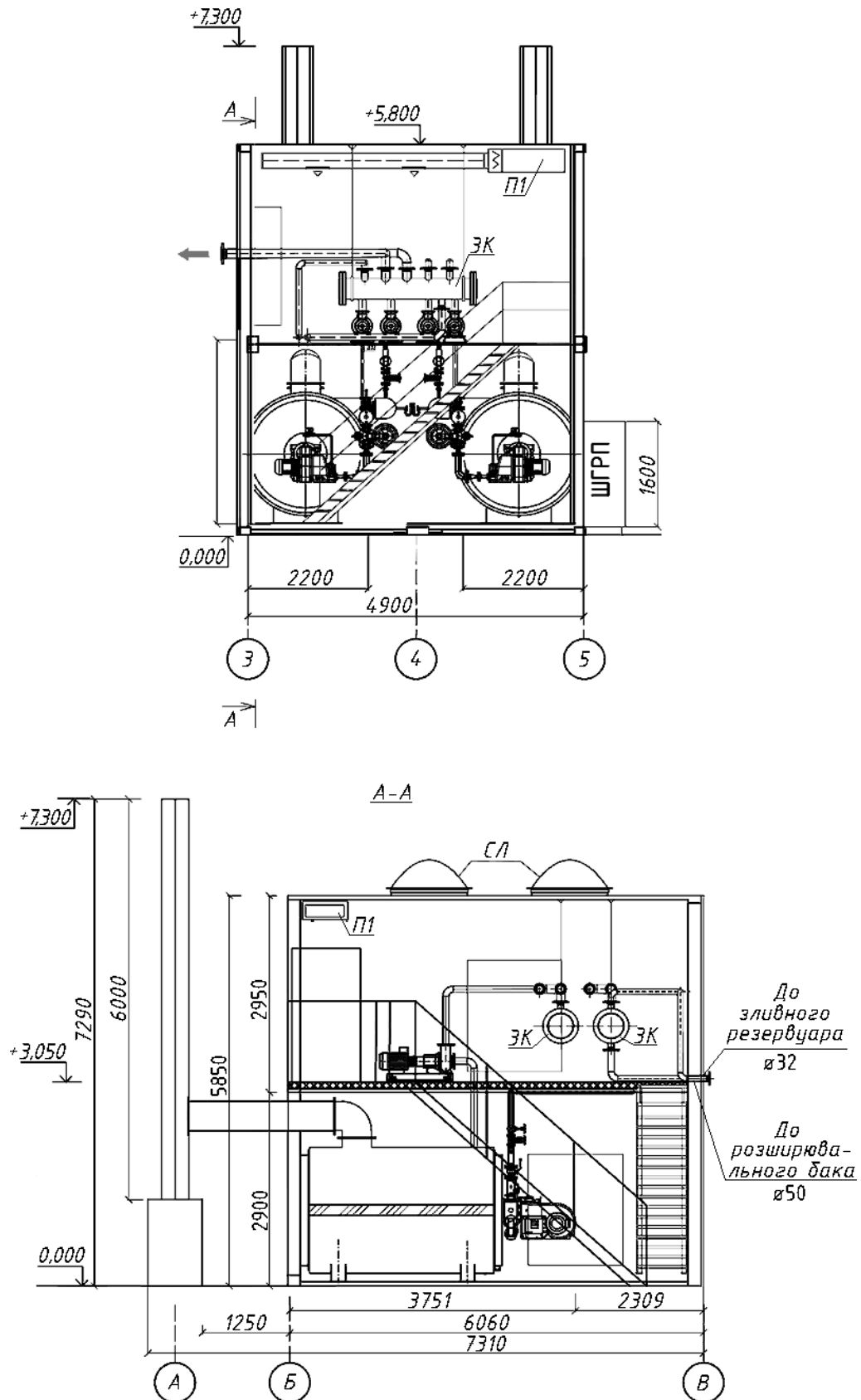


Рис. 3. Котельня для централізованої системи тепlopостачання:  
 П1 – припливна установка;  
 ЗК – збірний колектор;  
 СЛ – світлові ліхтарі

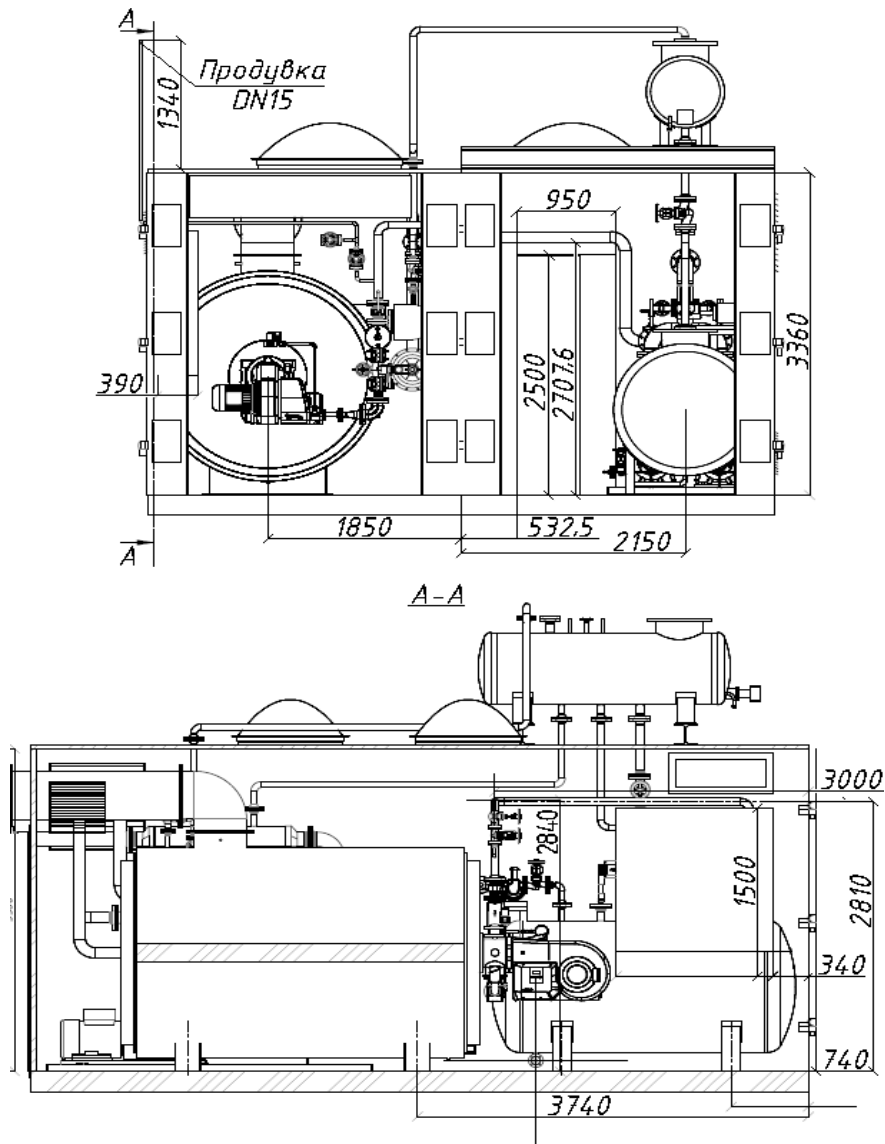


Рис. 4. Котельня для децентралізованої системи теплопостачання

Таблиця 2.

Порівняльна характеристика систем централізованого та децентралізованого теплопостачання.

№	Елементи системи	Децентралізована концепція	Централізована концепція
1	Довжина трубопроводів, м:		
	– до естакади $\Sigma l_1$	100	251
	– до резервуару $\Sigma l_2$	70	175
2	Об'єм в системі ВОГ, м <sup>3</sup>	10,75	33
3	Діаметр трубопроводів, мм	159/219	159/219
4	Об'єм розширювального бака, м <sup>3</sup>	3,5	8
5	Об'єм зливного бака, м <sup>3</sup>	14,5	33
6	Товщина ізоляції, мм	90	120
7	Кількість опор	12	34
8	Кількість теплообмінників у споживачів	2 або 1	2



Порівняльна характеристика експлуатаційних витрат систем централізованого та децентралізованого теплопостачання.

Характеристика	Централізована концепція		Децентралізована концепція	
	До естакади	До резервуару	До естакади	До резервуару
Питомі втрати тиску на ділянці, Па/м	10	12	2,66	5,47
Втрати теплоти, Вт	35000	27150	7000	8000
Електроенергія на привід насосів, кВт	57		21	

Загальна кількість опор зменшилася до 12 проти 34 в централізованому варіанті.

Улаштування двох котелень не призводить до збільшення кількості використаних контейнерів для приміщень. Адже для кожної котельні меншої потужності необхідно всього два контейнери, а для однієї центральної котельні – чотири.

Більше того, котли для нагрівання ВОТ можна встановлювати просто неба при використанні контрольно-вимірювальних приладів та автоматики у відповідному виконанні. При цьому котли для економії місця може бути розташовано вертикально з пальником, розміщеним згори.

Єдине, що зростає при децентралізованому варіанті, це довжина газопроводу. Проте газопровід є найдешевшим елементом всієї системи.

Як і слід очікувати (табл. 4), капітальні вкладення для улаштування децентралізованої системи теплопостачання з ВОТ менші ніж для централізованої. Витрати на електроенергію для насосів та питомі витрати газу для котелень для децентралізованого варіанту також менші (табл. 3).

Крім того, для обігріву резервуарів можна використовувати не тільки циркуляційну схему з винесеним теплообмінником, а й схему з улаштуванням трубчастого змійовика, що гріє, в самому резервуарі. Це спрощує схему і дозволяє вилучити зі схеми один насос та кож-

хотрубний теплообмінник, а ВОТ подавати з котла безпосередньо до змійовика. Для централізованого варіанту використання такої схеми проблематично.

Оцінку вартості обладнання виконано в першому наближенні. Не розраховувався кошторис на монтажні роботи. Проте вочевидь вартість монтажних робіт зменшиться зі зменшенням їхнього обсягу.

**Висновки.** На даний час широких досліджень використання високотемпературних органічних теплоносіїв (ВОТ) у спеціалізованих системах теплопостачання, зокрема теплопостачання нафтотерміналів, не ведеться. Проведений порівняльний техніко-економічний аналіз показав, що системи теплопостачання нафтотерміналів з ВОТ більш енергоефективні та надійні в експлуатації за парові. Використання ВОТ дозволяє істотно скоротити витрати води, яка останнім часом є дефіцитним ресурсом, при експлуатації нафтотерміналів. Системи теплопостачання з ВОТ на відміну від парових можливо виконувати децентралізованими, що дає змогу зменшити капітальні витрати на їхнє спорудження і зробити їх експлуатацію більш економічною. Використання ВОТ як теплоносія дозволяє організувати не тільки теплопостачання але й одночасну генерацію електроенергії для відокремлених від розвинутої інфраструктури об'єктів.

Порівняння вартісних показників концепцій влаштування системи тепlopостачання з ВОТ

Обладнання	Вартість, грн	
	Двох котельнь для де-централізованої системи	Котельні для централізованої
Контейнерна котельня	3885960	4960630
Розширювальний бак	64000 (2 шт.)	82000
Група азотної подушки	12000 (2 шт.)	10000
Зливний бак для ВОТ	20000 (2 шт.)	25000
Група підживлення насоса	68000 (2 шт.)	72555
Сепаратор повітря, парів	4000 (2 шт.)	5000
Блок припливної вентиляції	40000 (2 шт.)	50000
Газове оснащення котельні	28000 (2 шт.)	37000
Зовнішні мережі		
- трубопроводи для ВОТ - 140м/426 м	140000	440000
- газопроводи - 340 м/100м	65000	20000
<b>Всього</b>	<b>4 326 960</b>	<b>5 702 185 грн</b>

#### Література

1. Белосельский Б.С. Топочные мазуты / Б.С. Белосельский. – Москва: Энергия, 1978, – 256 с.
2. Коннова Г.В. Оборудование транспорта и хранения нефти и газа / Г.В. Коннова, – Ростов-на-Дону, Феникс, 2006., – 128 с., – ISBN: 5-222-07871-X.
3. Верховский Н.И. Сжигание высокосернистого мазута на электростанциях / Н.И. Верховский, Г.К. Красноселов, Е.В. Машиллов. – Москва: Энергия, 1970, – 448 с.
4. Цветков В.В. Организация пароснабжения промышленных предприятий / В.В. Цветков, – Москва: Энергия, 1980., – 206 с.
5. Бабинов Ю.М. Органические и кремнийорганические теплоносители / Ю.М. Бабинов, Д.С. Рассказов. – Москва: Энергия, 1975, – 272 с.
6. Резников М.И. Паровые котлы тепловых электростанций / М.И. Резников, Ю.М. Липов, – Москва: Энергия, 1987, – 288с.
7. Адамов В.А. Сжигание мазута в топках котлов / В.А. Адамов. – Ленинград: Недра, 1989, – 304 с, – ISBN 5-247-00883-9.
8. Мутугуллина И.А. Применение подогревателей при использовании мазута / И.А. Мутугуллина // Символ науки. – 2017. – № 03-2. – с. 92-95.
10. Мухаметьянова А.А. Экологическая оптимизация систем подогрева на нефтебазах / А.А. Мухаметьянова // Символ науки. – 2017. – № 03-2. – с. 95-97.
11. Фаизов А. И. Проектирование и расчет блочного подогревателя нефти с термомасленным котельным агрегатом / А. И. Фаизов, Р. А. Садыков // Известия КГАСУ. – 2018. – № 1 (43). – с. 179-186.
12. Хорошев В.Г. Применение органических теплоносителей в энергетических системах судов и морских сооружений / В.Г. Хорошев, Н.П. Погодин // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2020. – Т. 1. – № 391. – С.165-174.
13. Костильов И.И. Особенности применения термомасел в судових системах обогрева / И.И. Костильов, В.А.Петухов // Морской и речной транспорт. – 2011. – № 1(63). – С. 64-67.
14. Slaughter A.P. Marine application of termal fluid heating / A.P. Slaughter // Institute of Marine Engineers Transactions. – Series A. – Part 3. – 1978. – Vol.90. – p.117-136.
15. Четкин А. В. Высокотемпературные теплоносители / А. В. Четкин. – Москва, Энергия, 1971. – 495 с.
16. Долинин Н.П. Установки для нагрева химической аппаратуры высокотемпературными органическими теплоносителями / Долинин Н.П. – Москва: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963. – 297 с.
17. Гришутин М.М Паротурбинные установки с органическими рабочими телами / М.М. Гришутин, А.П. Севастьянов, Л.И. Селезнев, Е.Д.Федорович. – Ленинград: Машиностроение, 1988. – 219 с.
18. Wagner W. Heat transfer technique with organic media / W. Wagner. – Begell House, 1997. – 672 с.
19. Возовик В.І. Розвиток енергозабезпечення об'єктів морської інфраструктури: використання альтернативних джерел енергії та впровадження енергоощадних технологій у морських портах / В.І. Возовик,

- I.O. Ратушняк // Морська інфраструктура України : проблеми та перспективи розвитку. – Матеріали I Всеукраїнської науково.-технічної конференції. – Миколаїв, 2015. – НУК ім. адмірала Макарова. – С.77-80.
20. Гламаздин П.М. Особливості організації теплопостачання портів / П.М. Гламаздин, Д.П. Гламаздин, R. Schwarzenberger // Морська інфраструктура України : проблеми та перспективи розвитку. – Матеріали I Всеукраїнської науково.-технічної конференції. – Миколаїв, 2015. – НУК ім. адмірала Макарова. – С. 104-105.
21. Голибардов Е.И. Техника ФСА / Е.И. Голибардов, А.В. Кудрявцев. – Киев: Техника, 1989 – 239 с.
22. Либерман Н.Б. Справочник по проектированию котельных установок систем централизованного тепло-снабжения / Н.Б. Либерман, М.Т. Нянковская. – Москва: Энергия, 1979. – 224 с.
23. Цветков В.В. Организация пароснабжения промышленных предприятий- М.: Энергия, 1980. - 206 с.
24. Хевиленд Р. Инженерная надежность расчет на долговечность / Р. Хевиленд. – Москва: Энергия, 1966. – 230 с.
25. Балабан-Ирменин Ю.В. Защита от внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых сетей / Ю.В. Балабан-Ирменин, В.М. Липовских. – Москва: Энергоатомиздат, 1999. – 248 с.
26. Зиновьев О. И. Высокотемпературные органические теплоносители. Общие сведения / О. И. Зиновьев, В.М. Юрьев // БийскОргСинтез: URL: <http://www.biysk.ru/~polyester/tlv330.htm>
27. ДБН В.2.5-39:2008 Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі [Чинні від 07.01.2009]. – Київ: Мінрегіонбуд, 2009. – 56 с.
28. СНиП 2.04.14-88\* Теплова ізоляція обладнання і трубопроводів [Чинні від 01.01.1990]. – Москва: ЦИТП Госстроя ССРС, 1989. – 31 с.

### References

1. Beloselskii B.S. *Topochnye mazuty*. Energiia, 1978.
2. Konnova G.V. *Oborudovanie transporta i khraneniia nefiti i gaza*. Feniks, 2006.
3. Verkhovskii N.I., Krasnoselov G.K., Mashilov E.V. *Szhiganie vysokosernistogo mazuta na elektrostantsiakh*. Energiia, 1970.
4. Tsvetkov V.V. *Organizatsiia parosnabzheniia promyshlennykh predpriatii*. Energiia, 1980.
5. Babikov Yu.M., Rasskazov D.S. *Organicheskie i kremniorganicheskie teplonositeli*. Energiia, 1975.
6. Reznikov M.I., Lipov Yu.M. *Parovye kotly teplovykh elektrostantsii*. Energiia, 1987.
7. Adamov V.A. *Szhiganie mazuta v topkakh kotlov*. Nedra, 1989.
8. Mutugullina I.A. “Primenenie podogrevatelej pri ispolzovanii mazuta”. *Simvol nauki*. 2017. No 03-2. P. 92-95.
10. Mukhametianova A.A. “Ekologicheskaiia optimizatsiia sistem podogreva na neftebazakh”. *Simvol nauki*. 2017. No 03-2. P. 95-97.
11. Faizov A. I., Sadikov R. A. “Proektirovanie i raschet blochnogo podogrevatelya nefiti s termomaslennym kotelnym agregatom”. *Izvestiia KGASU*. 2018. № 1 (43).P. 179-186.
12. Khoroshev V.G., Pogodin N.P. “Primenenie organicheskikh teplonositelei v energeticheskikh sistemakh sudov i morskikh sooruzhenii”. *Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo tsentra*. 2020. T. 1. № 391. P.165-174.
13. Kostil'ov I.I., Petukhov V.A. “Osobennosti primeneniia termomasei v sudovikh sistemakh obogreva”. *Morskoj i rechnoj transport*. 2011. № 1(63). P. 64-67.
14. Slaughter A.P. “Marine application of thermal fluid heating”. *Institute of Marine Engineers Transactions*. Series A. Part 3. 1978. Vol.90. p.117-136.
15. Chechetkin A. V. *Vysokotemperaturnye teplonositeli*. Energiia, 1971.
16. Dolinin N.P. *Ustanovki dlia nagreva khimicheskoi apparatury vysokotemperaturnymi organicheskimi teplonositeliami*. Gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatel'stvo mashinostroitelnoi literatury, 1963.
17. Grishutin M.M., Sevastianov A.P., Seleznev L.I., Fedorovich E.D. *Paroturbinnnye ustanovki s organicheskimi rabochimi telami*. Mashinostroenie, 1988.
18. Wagner W. *Heat transfer technique with organic media*. Begell House, 1997.
19. Vozovik V.G., Ratushniak G.O. “Rozvytok enerhozabezpechenniya obektiv morskoi infrastruktury: vykorystannia alternatyvnykh dzherel energii ta vprovadzhennia enerhooschadnykh tekhnologii u morskyykh portakh.” *Morska infrastruktura Ukrainy: problemy ta perspektyvy rozvytku. Materialy I Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii*. Mikolaiv, 2015. NUK im. admirala Makarova. P.77-80.
20. Glamazdin P.M., Glamazdin D.P., Schwarzenberger R. “Osoblyvosti organizatsii teplopstachannia portiv. Morska infrastruktura Ukrainy: problemy ta perspektyvy rozvytku.” *Morska infrastruktura Ukrainy: problemy ta perspektyvy rozvytku. Materialy I Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii*. Mikolaiv, 2015. NUK im. admirala Makarova. P.. 104-105.
21. Golibardov E.I., Kudriavtsev A.V. *Tekhnika FSA*. Tekhnika, 1989.
22. Liberman N.B., Niankovskaia M.T. *Spravochnik po proektirovaniu kotelnykh ustanovok sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniia*. Energiia, 1979.
23. Tsvetkov V.V. *Organizatsiia parosnabzheniia promyshlennykh predpriatii*. Energiia, 1980.
24. Khevilend R. *Inzhenernaia nadezhnost raschet na dolgovechnost*. Energiia, 1966.
25. Balaban-Irmenin Yu. V., Lipovskikh V.M. *Zashchita ot vnutrennei korrozii truboprovodov vodianykh teplovykh setei*. Energoatomizdat, 1999.
26. Zinovev O. I., Yurev V. M. *Vysokotemperaturnye organicheskie teplonositeli. Obshchie svedeniia*. BijskOrgSintez: URL: <http://www.biysk.ru/~polyester/tlv330.htm>
27. *Zovnishni merezhi ta sporudy. Teplovi merezhi*. DBN V.2.5-39:2008. Minrehionbud, 2009.
28. *Teplova izolyacziia obladnannia i truboprovodiv*. SNiP 2.04.14-88\* CzITP Gosstroya SSSR, 1989.

УДК 62-6

## Энергоэффективная оптимизация системы теплоснабжения нефтетерминала

П. М. Гламаздин<sup>1</sup>, Э. Сирохина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> к.т.н., доцент, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина., [sib.kiev@gmail.com](mailto:sib.kiev@gmail.com), ORCID 0000-0003-2611-2687

<sup>2</sup> студентка, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина., [s.evel4063@ukr.net](mailto:s.evel4063@ukr.net), ORCID 0000-0003-2469-7132

*Аннотация. В условиях необходимости развития транспортной инфраструктуры Украины и диверсификации источников поставки в страну энергоносителей, среди которых нефти и нефтепродуктов, возникает проблема развития нефтетерминалов. Данная работа посвящена оптимизации структуры теплоснабжения нефтетерминалов и в этом смысле является актуальной. В результате проведённых исследований показана возможность использования высокотемпературных органических теплоносителей (ВОТ) для теплоснабжения нефтетерминалов. Выявлены преимущества в эффективности, экологичности и надёжности систем с ВОТ против систем с использованием водяного пара как теплоносителя. Показано, что в отличие от паровых систем теплоснабжения нефтетерминалов системы с ВОТ возможно устраивать не только централизованными но и децентрализованными. Это даёт дополнительные экономические преимущества: уменьшает длину внутримплощадочных тепловых сетей в нефтетерминале, а благодаря этому уменьшаются теплопотери в них и повышается надёжность системы. Проведено стоимостную оценку капитальных вложений сравниваемых вариантов устройства системы теплоснабжения. Показано преимущество децентрализованной системы. Получено более низкую стоимость эксплуатации также для децентрализованной системы за счёт уменьшения удельного расхода топлива и электроэнергии. Полученные в результате исследования материалы можно использовать как рекомендации к проектированию систем теплоснабжения нефтетерминалов с использованием ВОТ.*

*Ключевые слова: тяжёлые нефтепродукты, нефтетерминал, теплоснабжения, высокотемпературные органические теплоносители, ВОТ.*

UDC 62-6

## Energy efficient optimization of heat supply system for oil terminal

P. M. Glamazdin<sup>1</sup>, E. Sirokhina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ph.D., Associate Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, [sib.kiev@gmail.com](mailto:sib.kiev@gmail.com), ORCID 0000-0003-2611-2687

<sup>2</sup> student, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, [s.evel4063@ukr.net](mailto:s.evel4063@ukr.net), ORCID 0000-0003-2469-7132

*Abstract. In the context of the need to develop the transport infrastructure of Ukraine and to diversify sources of energy carriers supply to the country, including oil and oil products, the problem of the development of oil terminals arises. This work is devoted to the optimization of the structure of heat supply to oil terminals. In this sense it is relevant. The object of research is the heat supply systems of an oil terminal. At the same time, the subject of research is the energy efficiency of heat supply systems for oil terminals using water vapor and high-temperature organic heat carriers. The following research methods were used: an analytical review of information sources, a technical and economic analysis with the necessary substantiating calculations. As a result of the studies, the possibility of using high-temperature organic heat carriers for organizing heat supply to oil terminals has been shown. The advantage in the efficiency, environmental friendliness and reliability of systems with high-temperature organic heat carriers versus systems using water vapor as a heat carrier is shown. On-site heating networks in the oil terminal are recommended. The main advantages are that the heat losses in them have been reduced and the reliability of the system has increased. The cost estimation of capital investments of the compared variants of the heat supply system arrangement is carried out. The centralized heat supply systems have greater equipment cost compared with the decentralized ones. The operating cost for decentralized systems is also lower due to a decrease in specific fuel and electricity consumption. The materials obtained as a result of the research can be used as recommendations for the design of heat supply systems for oil terminals using high-temperature organic heat carriers.*

*Key words: heavy oil products, oil terminal, heat supply, high-temperature organic heat carriers (IOP).*

Надійшла до редакції / Received 11.03.2021