

Ю. Л. Мошенцев

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
пр-т Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54007, Україна
Телефон: +38 (096) 571-97-15, E-mail: yurimosh@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1377-7498>

О. А. Гогоренко

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
пр-т Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54007, Україна
Телефон: +38 (097) 466-66-62, E-mail: oleksiy.gogorenko@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9157-6659>

В. А. Корогодський

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна
Телефон: +38 (066) 229-60-67, E-mail: korohodskiy@khadi.kharkov.ua
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1605-4631>

ПРОЄКТУВАННЯ РАДІАТОРНИХ СЕКЦІЙ ДЛЯ ТЕПЛОВОЗІВ НА ОСНОВІ ШАХОВОГО ПУЧКА БІМЕТАЛЕВИХ ТРУБОК

Тепловозний парк України складається із різних типів тепловозів, переважно випущених до 2000 року. В основному це тепловози типу 2ТЕ116, ТЕ10 і М62 та їх модифікації. Гостро стоїть питання про заміну штатних, що вийшли з ладу, радіаторних секцій системи охолодження, виготовлених на основі пластинчастої поверхні теплообміну (пластинчастих секцій). Такі секції нині випускаються іноземними компаніями. Встановлено, що ремонтна секція (біметалева секція) може бути створена на базі шахового пучка біметалевих трубок, виробництво якого освоєно українським підприємством. Біметалеві трубки мають алюмінієві ребра і сталеву внутрішню (несучу) трубку, на яку оребрєння одягається з натягом. Зовнішній діаметр алюмінієвого ребра 24,5 мм, крок ребер на зовнішньому діаметрі 2,5 мм. Зовнішній діаметр несучої сталевий трубки 13,5 мм, внутрішній діаметр – 10 мм. Крок між поперечними рядами трубок 21,9 мм, крок між трубками у поперечному ряді 25 мм. Виконано розрахунки параметрів секцій, що застосовуються, і запропонованих. Аналіз результатів розрахунків встановив можливість створення ремонтної біметалевої секції, здатної замінити штатні пластинчасті, що вийшли з ладу. Біметалева секція має однаковий з пластинчастою секцією повітряний опір та незначно збільшений опір водяного тракту. Повітряний опір секції становить 53 мм вод. ст.,

© Мошенцев Ю. Л., Гогоренко О. А., Корогодський В. А., 2024

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

опір по воді становить 1,6...4,7 кПа (залежно від можливих розходів води і числа ходів). ККД біметалевої секції з кроком між ребрами 2,5 мм буде децю менший – 0,796...0,829 (діапазон ККД вказується відповідно можливому діапазону розходу води) проти 0,848...0,891 для звичайних секцій. Це зниження, у даному випадку, не надто суттєве. Встановлена також можливість вдосконалення біметалевої секції, яка буде мати габарити, не перевищуючі габаритів штатних, пластинчастих секцій. Біметалева секція буде мати навіть вищу середню у діапазоні ефективність (тепловий ККД), ніж штатна. Секція з підвищеним ККД повинна бути виконана на базі біметалевої трубки з кроком ребер 2 мм (цей крок менше штатного, проте його виконання цілком можливе) і мати три ходи по воді при загальній протитечії теплоносіїв. Тож, вона матиме ККД 0,871...0,888 проти 0,848...0,891 для найкращої пластинчастої секції. У такому разі її повітряний опір складе 64 мм вод. ст., опір по воді буде такий самий, як і у попереднього варіанту.

Ключові слова: біметалеві трубки, виробництво та ремонт, ефективність секцій, радіаторні секції, тепловозний парк.

Вступ. В теперішній час тепловозний парк України складається із різних машин, переважно випущених до 2000 року [1]. Наразі гостро стоїть питання про ремонт, а в більшості випадків, про заміну радіаторних секцій системи охолодження, які нині випускаються за кордоном. Необхідно реалізувати виробництво та ремонт радіаторних секцій на вітчизняних підприємствах для оптимального використання ресурсів та зменшення залежності від імпорتنих комплектуючих. Низка виконаних розрахунків довели наявність такої можливості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В системах охолодження енергетичних установок магістральних вантажних тепловозів, що експлуатуються в АТ «Укрзалізниця» використовуються секційні радіатори. Застосовують й повітряно-масляні секції, але в даному випадку розглядаються тільки водоповітряні секції. Зазвичай радіатор магістрального тепловоза складається з низки вертикальних секцій (рис. 1).

Кожна секція приєднується до прямокутних водяних колекторів верхньою та нижньою головками (водяними колекторами). Через голівки гаряча охолоджуюча рідина надходить у пучок труб радіаторної секції, де охолоджується повітрям. Повітря через секції просмоктується осьовими вентиляторами. Воно надходить з бортів тепловозу і викидається через дах. Можливі варіанти секцій для систем охолодження розглянуті у [2].

У статті йдеться про вирішення на науковій основі проблеми стосовно заміни зіпсованих радіаторних секцій. З урахуванням специфіки даної роботи, частина аналізу пов'язана з джерелами, які містять інформацію щодо застарілого обладнання, зокрема, застарілих тепловозів, які ще експлуатуються в АТ «Укрзалізниця» [3, 4]. Інформацію про системи охолодження та їх елементи для таких тепловозів містить джерело [5]. В каталозі [6] містяться відомості про різні види поверхонь теплообміну (ПТ), придатних для тепловозних секцій. У джерелах [7, 8] містяться матеріали, що дозволяють виконувати теплотехнічні розрахунки з необхідною точністю та оцінювати перспективність ПТ, придатних для виконання пучків секцій.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

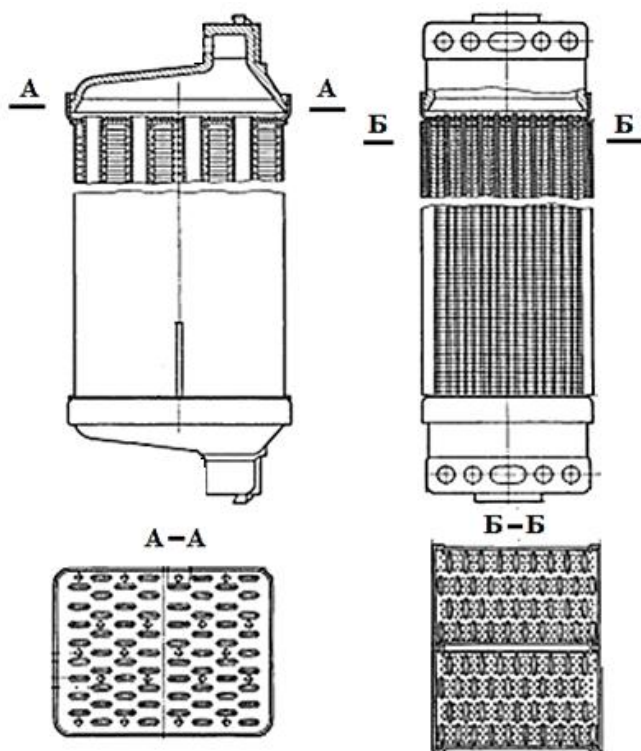


Рис. 1. Загальний вигляд пластинчастої радіаторної секції

Метою дослідження є розробка та оптимізація конструкції радіаторних секцій на основі шахового пучка біметалевих трубок для використання в системах охолодження магістральних тепловозів. Зокрема, метою дослідження є вивчення впливу параметрів шахового пучка на ефективність теплообміну.

Дослідження виконано на основі методик розрахунку пучків біметалевих трубок, що працюють у потоці повітря. Методики розроблені на кафедрі ДВЗ, У та ТЕ в НУК. Точність та коректність розрахунків підтверджена експериментально на стендах кафедри ДВЗ, У та ТЕ в НУК. Можливість створення і застосування на тепловозах ремонтних секцій, виконаних на базі пучків біметалевих труб, підтверджена інженерами ПАТ «Бериславський машинобудівний завод».

Матеріали та методи дослідження. Для вирішення проблеми необхідно зіставити ефективності секцій, що нині застосовуються в складі радіаторів системи охолодження магістральних тепловозів, з можливою ефективністю пропонованої, ремонтної секції. Порівняння має виконуватися за однакових габаритів секцій і однакових параметрів теплоносіїв.

Оцінити можливу ефективність водоповітряних секцій можна по-різному. На жаль, об'єктивне зіставлення пропонованої та застосовуваних секцій на основі даних підприємств-виробників практично неможливе. Доступні матеріали містять відомості рекламного характеру і майже не містять відомостей щодо теплотехнічних характеристик. У цьому випадку оцінку ефективності існуючих секцій необхідно

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

виконати дещо умовно. Їхні параметри треба вважати максимально досконалими для сучасних умов виготовлення. Якщо при розгляді секцій, що застосовуються з такими параметрами, їх якість буде навіть кращою, ніж насправді, а у пропонуваній секції будуть параметри, що дозволяють такі секції замінити, то отриманий результат буде цілком прийнятним.

Слід прийняти до уваги, що у пластинчастих секціях, що застосовуються нині, використовується досить ефективний вид ПТ. Таку ПТ можна охарактеризувати як шаховий пучок плоско-овальних трубок з груповим оребренням пласкою пластиною, перпендикулярною до осей трубок, що має штамповані виступи. Крок ребер, відповідно до [6], повинен дорівнювати $\approx 2,0 \dots 3,5$ мм. Товщина стінок труб $\approx 0,25$ мм, товщина пластин $\approx 0,1$ мм. В принципі, ПТ повинні виготовлятися методом спікання (а не занурення у розплав). Геометричні параметри секцій, зазначені у доступних джерелах інформації, можуть бути основою для аналізу секцій, що застосовуються на тепловозах України, виконаних з пластинчастої ПТ. Із цих відомостей витікає, що найстарішим варіантом (зараз не виготовляється) слід вважати секцію, зазначену як IV (табл. 1), потім стали застосовувати секцію III, яку виготовляли серійно.

Таблиця 1. – Основні параметри пластинчастих водоповітряних секцій

Параметр	Позначення	Номери варіантів секцій			
		I	II	III	IV
Глибина пучка, м	L	0,187	0,205	0,187	
Ширина пучка, м	B	0,154			
Відстань між трубними дошками, м	H	1,206			
Зовнішній малий розмір трубки, мм	d_w	2,5		2,2	
Крок трубок по фронту, мм	S_1	12,5	13,4	16,0	
Крок трубок по глибині, мм	S_2	22,7	19,0	22,0	
Зовнішній великий розмір трубки, мм	S_3	17		19	
Крок між ребрами, мм	S_4	2,3		2,3	2,8
Товщина стінки трубки, мм	$\delta_{ст}$	0,25		0,55	
Товщина пластини, мм	$\delta_{пл}$	0,1			
Число труб в пучку, шт.	Z	92	106	68	
Маса пучка, кг	M_n	26,2	30,3	34,0	48,0

Інші варіанти є експериментальними, які можна застосовувати на тепловозах з урахуванням їх габаритів. Як відомо з досвіду авторів, варіант III є найбільш розповсюдженим в Україні, а варіанти I та II не застосовувалися.

Зазначені в табл. 1 параметри секцій містять ряд нестиківок. У зв'язку із цим одні з них (габаритні, ряд розмірів та деякі кількісні дані) приймаються як вихідні, а інші виключаються та замінюються на основі зроблених припущень. Зокрема, граничні умови щодо теплообміну та опору прийняті для всіх секцій на основі [7, 8]. У кожному випадку поверхня теплообміну доведена до гранично відомого нам рівня досконалості з урахуванням особливостей кожної. Зокрема, у всіх секціях передбачається проштамповка ребер по [6]. У табл. 1 наведено умовні позначення параметрів, врахованих у розрахунках, на рис. 2. показана схема ПТ, відповідно до них.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

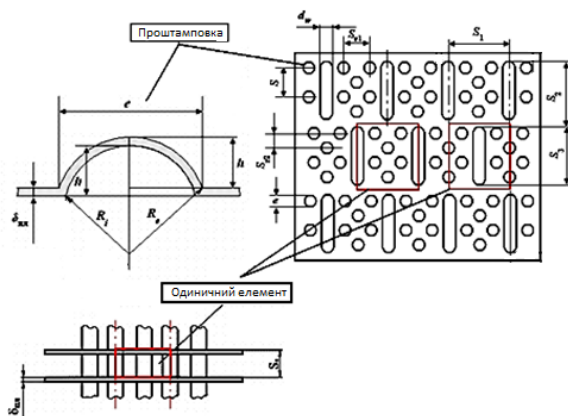


Рис.2. Схема ПТ, придатної для використання у радіаторних секціях

Зазначені вище секції, що застосовуються зараз, можуть бути замінені на секції, виготовлені на основі шахових пучків з круглих біметалевих трубок (біметалеві секції). Секції спроектовані так, що їх параметри відповідають таким, які освоєні вітчизняним виробником. Габаритні розміри відповідних пучків не перевищують значень, зазначених у табл. 1. На рис. 3 показана біметалева трубка, а на рис. 4 наведений поперечний розріз пучка біметалевих трубок з накатними ребрами.

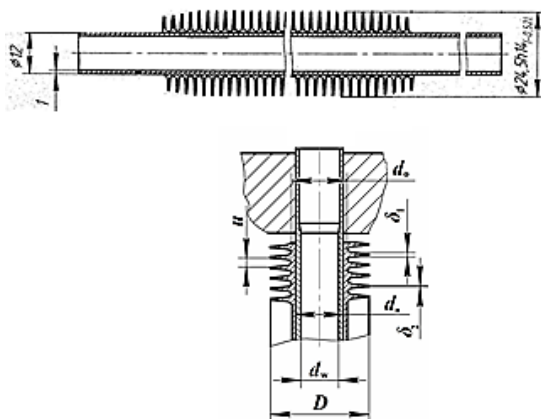


Рис. 3. Загальний вид біметалевої трубки

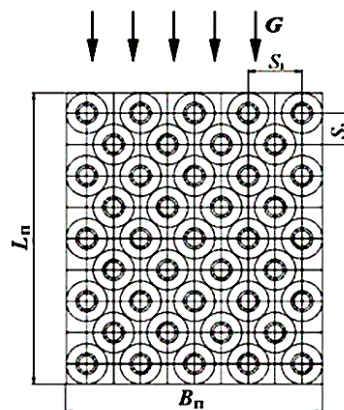


Рис. 4. Поперечний перетин пучка біметалевих трубок

Матеріал несучої трубки – нержавіюча сталь (або мельхіор), матеріал ребер – алюміній. Ребра формуються накаткою на алюмінієвій товстостінній трубці, яка одягається на несучу трубку. Одночасно з формуванням ребер утворюється контакт алюмінієвої насадної трубки із нержавіючої трубкою. Термічний опір контакту $R_{\Sigma} = 2,06 \cdot 10^{-0,6} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ [9].

Для того, щоб відповісти, чи можна замінити пластинчасті секції, що застосовуються, на ремонтні, біметалеві, треба порівняти параметри цих секцій. Відповідно,

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

для подальшого порівняння, ці секції мають бути розрахованими. Параметри теплоносіїв, що використовуються при розрахунках всіх секцій для їхнього подальшого зіставлення, треба прийняти однаковими.

Витрата повітря G прийнята як функція максимального повітряного опору секції Δp . За нашими даними, $\Delta p \approx 60$ мм вод. ст. – саме такий опір може подолати звичайний осьовий вентилятор без суттєвої втрати продуктивності. Максимальний опір відповідає максимальній витраті повітря, максимальному потоку тепла, що відводиться, і максимальному ККД секцій η за інших рівних умов. Сказаним обґрунтовується значення G , прийняте для всіх розрахунків.

Витрати води G_w (максимальна та мінімальна) обрані як функції прийнятої витрати повітря G та бажаних меж за величинами ККД секції $\eta \approx 0,83...0,87$.

Температури теплоносіїв на вході до секцій обрані типовими для тепловозних систем охолодження. З даних власних досліджень прийняті: температура повітря $T_1 = 313$ К, температура охолоджуючої рідини $T_{w1} = 380,5$ К. В принципі, абсолютні значення температур мало впливають на ККД секцій, тому важливо лише, щоб вони були однаковими для всіх розрахунків. Те, що вони є типовими для певної частини магістральних тепловозів, виключає можливі проблеми при оцінюванні отриманих результатів.

Обговорення отриманих результатів. Розрахунки секцій виконувались як обернені розрахунки теплообмінників відповідно до відомих методів розрахунків теплообмінних апаратів [7]. Критеріальні рівняння для аналізованих ПТ прийняті з [10, 11]. ПТ вважались не покритими шарами забруднень. Термічний опір контакту для біметалевих трубок прийнято по [9]. Кожна секція розраховувалася для можливих максимальної та мінімальної витрати охолоджуючої рідини. Далі виконувалось зіставлення результатів розрахунків та вибір найкращого варіанту із біметалевих секцій для заміни пластинчастих.

Результати розрахунків пластинчастих секцій, що нині застосовуються в системах охолодження магістральних тепловозів, представлені в табл. 2.

Таблиця 2. – Результати розрахунків пластинчастих секцій

Параметр	Розмірність	Варіанти секцій із різними конструктивними параметрами ПТ							
		I		II		III		IV	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
G_b	кг/с	1,0							
G_w	кг/с	1,1	1,6	1,1	1,6	1,1	1,6	1,1	1,6
T_{b1}	К	313,0							
T_{b2}	К	368,8	371,8	370,2	373,2	370,5	371,8	369,7	370,9
T_{w1}	К	380,5							
T_{w2}	К	368,9	372,1	368,6	371,9	368,5	372,1	368,7	372,2
p_1	кПа	100							
$L_{п}$	мм	200							

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Кінець таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B_{Π}	мм	200							
H_{Π}	мм	1200							
$b_{w\Sigma}$		1							
b_{wT}		1							
b_w		1							
d_w	мм	2,5				2,2			
S_1	мм	12,5		13,4		16,0			
S_2	мм	22,7		19,0		22,0			
S_3	мм	17,0				19,0			
S_4	мм	2,3						2,83	
$\delta_{ст}$	мм	0,25				0,55			
$\delta_{пл}$	мм	0,1							
h_{Γ}	мм	0,5							
e	мм	1,5							
$Z_{2\Gamma}$	шт.	5							
$Z_{1\Gamma}$	шт.	2							
$S_{\Gamma 1}$	мм	7,9							
$S_{\Gamma 2}$	мм	3,9							
i	шт.	8							
Z_1	шт.	12		11		9			
Z_2	шт.	8		10		8			
Z	шт.	92		105		68			
F	м ²	30,9		33,9		31,1		26,1	
M_{Π}	кг	22,0		25,1		31,6		29,3	
w	м/с	0,37	0,54	0,33	0,47	0,83	1,21	0,83	1,21
R_{Σ}	м ² К/Вт	$4,55 \cdot 10^{-6}$							
ΔP	мм вод. ст.	59,2	60,0	60,2	61,0	45,6	45,9	32,8	33,0
ΔP_w	кПа	1,3	2,3	1,0	1,9	9,6	18,1	9,7	18,3
η		0,827	0,872	0,848	0,892	0,853	0,871	0,840	0,859
f_v	м ² /м ³	889,0	889,0	891,3	891,3	896,2	896,2	750,2	750,2

Результати розрахунків секцій, які можуть бути ремонтними, та спроектованих з пучків біметалевих трубок, представлені в табл. 3.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 3. – Результати розрахунків секцій на основі біметалевої трубки

Параметр	Розмірність	Варіанти секцій із різними конструктивними параметрами ПТ і кількістю ходів по воді							
		I		II		III		IV	
G	кг/с	0,95							
G_w	кг/с	1,2	1,6	1,2	1,6	1,2	1,6	1,2	1,6
T_1	К	313							
P_1	кПа	100							
T_2	К	363,9	365,9	368,5	369,6	366,8	369	371,8	372,9
T_{w1}	К	380,5							
T_{w2}	К	370,8	373	370	372,4	370,3	372,5	369,3	372
D	м	24,5							
d_0	м	13,5							
d_w	м	10,0							
u	м	2,5				2,0			
δ_1	м	0,55							
δ_2	м	0,3							
S_1	м	25,0							
S_2	м	21,9							
L_{II}	м	199,7							
B_{II}	м	149,5							
H_{II}	м	1204,0							
b_w		1		3		1		3	
b_{wT}		1							
$b_{w\Sigma}$		1		3		1		3	
Z	шт.	50							
Z_1	шт.	6							
Z_2	шт.	9							
F	м ²	18,4				22,3			
M_{II}	кг	31,3				33			
R_{Σ}	м ² ·К/Вт	$2,08 \cdot 10^{-6}$							
w_w	м/с	0,31	0,41	0,92	1,22	0,31	0,41	0,92	1,22
Δp	мм вод. ст.	52,3	52,6	52,8	53,1	63,3	63,8	64	64,4
η		0,753	0,784	0,822	0,839	0,796	0,829	0,871	0,888
Δp_w	кПа	1,6	2,8	2,6	4,7	1,6	2,8	2,6	4,7

Наведені таблиці дозволяють здійснити порівняльний аналіз секцій. Як видно, найкращі результати отримані для біметалевої секції, виконаної з трьома ходами по воді та кроком між ребрами $u = 2,0$ мм (табл. 3, варіант IV). Параметри отримані

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

при забезпеченні необхідного повітряного опору Δp та невеликої, припустимої швидкості води в трубках w_w . Параметри секції істотно відрізняються від інших на краще. Її ККД істотно не відрізняється від такого для всіх пластинчастих секцій. Гідрравлічний опір пучка труб секції Δp_w збільшено порівняно з іншими, але дуже помірно.

Висновки. Таким чином, 3-х ходова по воді радіаторна секція, сконструйована на основі шахового пучка біметалевих трубок з кроком між ребрами $u = 2$ мм, є найбільш вдалим і прийнятним для вітчизняного виробника варіантом (див. табл. 3, варіант IV). Її ККД достатньо наблизений до значень, які забезпечуються пластинчастою секцією, що є найбільш застосовуваною (див. табл. 2, варіант III), її опір за повітрям практично такий же самий. Альтернативна секція може замінити старі секції, зроблені на основі пластинчастих ПТ, що вийшли з ладу. Маса пучка біметалевих труб у секції дуже близька до маси пластинчастого пучка. Її конструкція може бути створена, виходячи з параметрів, наведених в табл. 3. Схему водяного тракту 3-ходової секції показано на рис. 5.

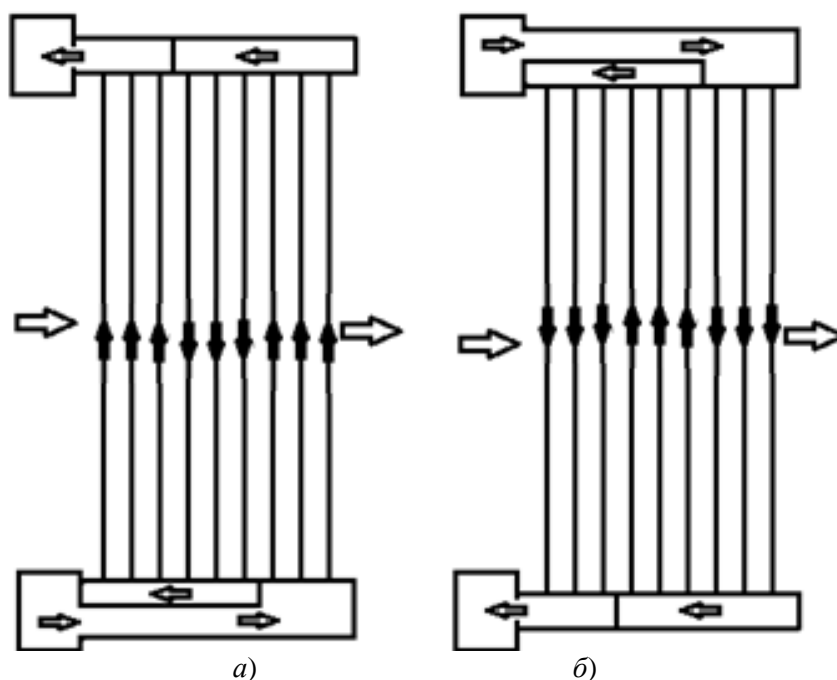


Рис. 5. Схема водяного тракту 3-ходової секції

Якщо охолоджуюча рідина подається до нижнього колектора і прямує до верхнього, застосовується варіант *а* (див. рис. 5). Якщо навпаки – варіант *б*. Для його застосування достатньо перевернути секцію.

Секції з біметалевих труб можуть істотно обтяжуватися трубними дошками, якщо трубки в них кріпляться вальцюванням. Якщо застосувати іншу технологію кріплення круглих трубок у трубних дошках, наприклад, застосувати метод спікання, можна виключити і цей недолік.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Надалі передбачається створення робочих креслень конструкції найбільш вдалої секції на основі біметалевих труб, виготовити її та провести стендові і натурні випробування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Залізничний транспорт у документах ЦДНТА України. Залізничне машинобудування: довідково-інформаційне видання / ЦДНТА України; уклад. А. О. Алексєєнко, М. А. Балишев, О. І. Барикіна, А. О. Ларін. Харків, 2014. 152 с.
2. Тартаковський Е. Д. Теорія та конструкція локомотивів. Ч.2. Вибір та розрахунок основних вузлів локомотивів: Навч. посібник / Е. Д. Тартаковський, А. Ф. Агулов, А. П. Фалендиш. Харків: УкрДАЗТ, 2009. 150 с.
3. Єжов Ю. В., Павленко Ю. С., Полулях С. М. Питання модернізації магістральних тепловозів 2ТЕ116 в Україні. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». Кременчук: Вид-во ДП «УкрНДІВ», 2020. Вип. 21. С. 78-96.
4. Павленко Ю. С., Войтенко О. І., Полулях С. М. Питання модернізації маневрових тепловозів ТГМ6 в Україні. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад». Кременчук: Вид-во ДП «УкрНДІВ», 2023. Вип. 26. С. 25-39.
5. Боднар Б. Є. Теорія та конструкція локомотивів. Допоміжні системи та устаткування: Підручник для ВНЗ залізнич. трансп. / під ред. д-ра техн. наук, проф. Б. Є. Боднара. Д.: ПП «Ліра ЛТД», 2010. 369 с.
6. Aluminium & copper core pattern. Dolphin Manufacturing LLC. URL: <https://dolphincatalogue.com,09/02/2024>.
7. Мошенцев Ю. Л., Гогоренко О. А., Мінчев Д. С. Системи охолодження і теплообмінні апарати двигунів внутрішнього згоряння: Навчальний посібник / Ю. Л. Мошенцев. Миколаїв: видавець Торубара В. В., 2020. 234 с.
8. Мошенцев Ю. Л., Гогоренко О. А. Узагальнені граничні умови теплообміну для шахових пучків оребрених труб маслоохолоджувачів двигунів внутрішнього згоряння. Збірник наукових праць НУК. Миколаїв: НУК, 2010. № 1 (430). С.101-108.
9. Standards of The Tubular Exchanger Manufacturers Association. TEMA 10th, 2019. 332 p.
10. Kuppan T. Heat Exchanger Design Handbook. Second Ed. CRC Press, 2013. 1186 p.
11. Annaratone D. Handbook for Heat Exchangers and Tube Banks Design. Springer, 2010. 176 p. Doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-13309-1>

Yu. L. Moshentsev

Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Avenue of Heroes of Ukraine, 9, Mykolaiv, 54007, Ukraine
Tel.: +38 (096) 571-97-15, E-mail: yuriimosh@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1377-7498>

O. A. Gogorenko

Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Geroiv Ukrainy ave., 9, Mykolaiv, 54007, Ukraine
Tel.: +38 (097) 466-66-62, E-mail: oleksiy.gogorenko@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9157-6659>

V. A. Korohodskiy

Kharkiv National Automobile and Highway University
Yaroslava Mudrogo st., 25, Kharkiv, 61002, Ukraine
Tel.: +38 (066) 229-60-67, E-mail: korohodskiy@khadi.kharkov.ua
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1605-4631>

DESIGNING RADIATOR SECTIONS FOR DIESEL LOCOMOTIVES BASED ON A CHECKERBOARD BUNDLE OF BIMETALLIC TUBES

The locomotive fleet of Ukraine consists of various types of locomotives, mostly manufactured before the year 2000. Primarily, these include locomotives of the 2TE116, 2TE10 and M62 types and their modifications. There is a pressing issue of replacing the standard radiator sections of the cooling system that have become defective, which are made based on a plate-type heat exchange surface (plate sections). Currently, such sections are produced by foreign companies. It has been determined that a repair section (bimetallic section) can be created based on a checkerboard bundle of bimetallic tubes, the production of which is mastered by a Ukrainian enterprise. Bimetallic tubes have aluminum fins and a steel internal (supporting) tube onto which the fins are tightly fitted. The external diameter of the aluminum fin is 24,5 mm, the pitch of the fins on the external diameter is 2,5 mm. The external diameter of the supporting steel tube is 13,5 mm, and the internal diameter is 10 mm. The pitch between the transverse rows of tubes is 21,9 mm, and the pitch between the tubes in the transverse row is 25 mm. Calculations of the parameters of the applied and proposed sections have been performed. The analysis of the calculation results established the possibility of creating a repair bimetallic section capable of replacing the standard plate sections that have become defective. The bimetallic section has the same air resistance as the plate section and slightly increased resistance in the water circuit. The air resistance of the section is 53 mm water column, and the water resistance is 1,6...4,7 kPa (depending on possible water flows and the number of strokes). The efficiency of the bimetallic section with a fin pitch of 2,5 mm will be slightly lower, ranging from 0,796 to 0,829 (the efficiency range is indicated according to the possible range of water flows) compared from 0,848 to 0,891 for conventional sections. In this case, the decrease is not too significant. The possibility of improving the bimetallic section, which will have dimensions not exceeding those of standard plate sections, has also been established. The bimetallic section will even have a higher average efficiency (thermal efficiency) than the standard one in the range. The section with improved efficiency should be made based on a bimetallic tube with a fin pitch of 2 mm (this pitch is smaller than the standard one, but its implementation is entirely possible) and have three water strokes with overall antifreeze resistance. Therefore, it will have an efficiency of 0,871...0,888 compared to 0,848...0,891 for the best plate section. In this case, its air resistance will be 64 mm water column, and the water resistance will be the same as in the previous variant.

Key words: *bimetallic tubes; production and repair; locomotive efficiency; radiator sections; locomotive fleet*

REFERENCES

1. Aljeksjejenko, A. O., Balyshev, M. A., Barykina, O. I., Larin A. O. (2014). Zaliznychnyj transport u dokumentakh CDNTA Ukrainy. Zaliznychne mashynobuduvannja: dovidkovo-informacijne vydannja [Railway transport in the documents of the Ukrainian Research and Design Institute of Railway Transport. Railway engineering: reference and informational publication]. *CDNTA Ukrainy: Kharkiv*, 152 p. [in Ukrainian].
2. Tartakovs'kyj, E. D. Aghulov, A. F., Falendysh, A. P. (2009). Teorija ta konstrukcija lokomotyviv. Ch.2. Vybir ta rozrakhunok osnovnykh vuzliv lokomotyviv: Navch. posibnyk [Theory and Construction of

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Locomotives. Vol. 2. Selection and Calculation of Main Components of Locomotives: Educational Manual]. Kharkiv: UkrDAZT, 150 p. [in Ukrainian].

3. Jezhov, Ju. V., Pavlenko, Ju. S., Poluljakh, S. M. (2020). Pytannja modernizaciji maghstralnykh teplovoziv 2TE116 v Ukraini [Question of Modernization of Mainline Diesel Locomotives 2TE116 in Ukraine]. Zbirnyk naukovykh pracj «Rejkovyj rukhomyj sklad». Kremenčuk: DP «UkrNDIV» Pab., issue 21. pp. 78-96. [in Ukrainian].

4. Pavlenko, Ju. S., Vojtenko, O. I., Poluljakh, S. M. (2023). Pytannja modernizaciji manevrovnykh teplovoziv TGhM6 v Ukraini [Question of Modernization of Shunting Diesel Locomotives TGM6 in Ukraine]. Zbirnyk naukovykh pracj «Rejkovyj rukhomyj sklad». Kremenčuk: DP «UkrNDIV» Pab., issue 26. pp. 25-39. [in Ukrainian].

5. Bodnar B. Je. (2010). Teorija ta konstrukcija lokomotyviv. Dopomizhni systemy ta ustatkuvannja: Pidručnyk dlja VNZ zaliznych. transp [Theory and Construction of Locomotives. Auxiliary Systems and Equipment: Textbook for Railway Transport Universities]. D.: PP «Lira LTD» Pab. 369 p. [in Ukrainian].

6. Aluminium & copper core pattern. Dolphin Manufacturing LLC. URL: <https://dolphincatalogue.com> (last access 09/02/2024).

7. Moshentsev, Yu. L., Gogorenko, O. A., Minchev, D. S. (2020). Systemy okholodzhennja i teploobminni aparaty dvyghuniv vnutrishnjogho zhorjannja: Navchaljnyj posibnyk [Cooling Systems and Heat Exchange Devices of Internal Combustion Engines: Educational Handbook]. Mykolajiv: vydavecj Torubara V. V. 234 p. [in Ukrainian].

8. Moshentsev, Yu. L., Gogorenko, O. A. (2010). Uzagaljneni ghranychni umovy teploobminu dlja shakhovykh puchkiv orebrenykh trub maslookholodzhuvachiv dvyghuniv vnutrishnjogho zhorjannja [Generalized Boundary Conditions of Heat Exchange for Chess-like Bundles of Finned Tubes in Oil Coolers of Internal Combustion Engines]. Zbirnyk naukovykh pracj NUK. Mykolajiv: NUK. Issue 1 (430). pp. 101-108. [in Ukrainian].

9. Standards of The Tubular Exchanger Manufacturers Association (2019). TEMA 10th. 332 p.

10. Kuppan, T. Heat Exchanger Design Handbook (2013). Second Ed. CRC Press. 1186 p.

11. Annaratone, D. Handbook for Heat Exchangers and Tube Banks Design (2010). Springer. 176 p. Doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-13309-1>