

DOI 10.26886/2414-634X.2(29)2019.4**UDC 697.34.005.8:711.4****MODERNIZATION OF APPLIED ORGANIZATIONAL AND
TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN DESIGN AND USE OF MODERN
HEATING SYSTEMS****K. M. Prudun, PhD of Technical Sciences, Professor****O. M. Shevchuk,****Y. Franchuk**

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

Heat supply systems in the settlements of Ukraine today are an example of inefficient use of fuel and energy resources in the state. Replacement of the main fuel - natural gas - saves local budgets in the conditions of decentralization of public administration (due to the difference in prices of natural gas and other organic fuels) for alternative sources of heat sources. At the same time, only such measures give rise to a number of other problems. Increasing pollution of the environment is one of them. The legislative support, requirements of the normative legal acts in force in Ukraine concerning ecological safety of heat production are analyzed. According to them for a water heating boiler house.

The replacement of natural gas with alternative fuels is considered. Estimated emissions of pollutants and greenhouse gases into atmospheric air are calculated. The values of emission factors are derived, which are based on data on the physical and chemical composition and consumption of each fuel, taking into account the characteristics of the combustion processes and measures to reduce emissions of a particular ingredient. A comparative analysis of fuels has been made concerning the environmental impact of combustion products, as well as the cost of the fuel themselves. In rural areas, by transforming waste from agricultural production and

processing of wood as a secondary raw material into high-quality biofuels, it is advisable to introduce a replacement of traditional natural gas with alternative fuels. In urban areas, due to the implementation of measures to increase the energy efficiency of existing buildings and structures, it is possible to reduce the consumption of traditional natural gas, and the saved funds may be aimed at thermo-modernization. This will allow to leave as the main organic fuel for the needs of district heating the most ecological - natural gas.

Key words: heat supply system, water heating boiler, energy efficiency, thermo-modernization, natural gas, alternative fuels, physical and chemical properties of fuels, pollutants, greenhouse gases, emission factor, emissions into the atmosphere, tax liabilities for emissions into the atmosphere.

Предун К.М., кандидат технічних наук, професор; Шевчук О.М.; Франчук Ю.Й. Модернізація прикладних організаційно-технологічних рішень при проектуванні та експлуатації сучасних систем теплопостачання / Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна, Київ

Системи теплопостачання населених пунктів України сьогодні є прикладом неефективного використання паливно-енергетичних ресурсів у державі. Заміна основного палива – природного газу – для потреб джерел теплоти альтернативним дає економію коштів місцевих бюджетів в умовах децентралізації державного управління (за рахунок різниці цін природного газу та інших органічних палив). Водночас лише такі заходи породжують ряд інших проблем. Збільшення забруднення навколишнього природного середовища – одна із них. Проаналізовано законодавче забезпечення, вимоги чинних в Україні нормативно-правових актів щодо екобезпеки виробництва теплоти. У відповідності з ними для водоогрійної котельні.

Розглянуто заміну природного газу альтернативними паливами. Обраховано прогнозовані викиди забруднювальних речовин і парникових газів в атмосферне повітря. Отримано величини показників емісії, які базуються на даних про фізико-хімічний склад і витрату кожного з палив з врахуванням характеристик процесів спалювання та заходів щодо зменшення викидів того чи іншого інгредієнту. Виконано порівняльний аналіз палив щодо впливу на довкілля продуктів спалювання, а також безпосередньо вартості самих палив. У сільській місцевості, перетворивши відходи сільськогосподарського виробництва та обробки деревини як вторинну сировину в якісне біопаливо, доцільно запроваджувати заміну традиційного природного газу альтернативним паливом. У міських населених пунктах за рахунок реалізації заходів з підвищення енергоефективності існуючих будівель і споруд можливе зменшення споживання традиційного природного газу, а зекономлені кошти можуть бути спрямовані на термомодернізацію. Це дозволить залишити в якості основного органічного палива для потреб централізованого тепlopостачання найбільш екологічне – природний газ.

Ключові слова: система тепlopостачання, водогрійний котел, енергоефективність, термомодернізація, природний газ, альтернативні палива, фізико-хімічні властивості палив, забруднювальні речовини, парникові гази, показник емісії, викиди в атмосферу, податкові зобов'язання за викиди в атмосферу.

Вступ. Житлово-комунальне господарство України є сьогодні одним із значних споживачів паливно-енергетичних ресурсів. Для систем тепlopостачання, де домінують морально застарілі технології, технічно зношене обладнання та устаткування, пріоритетним паливом

продовжує залишатися природний газ. З підписанням Угоди про асоціацію [1] з ЄС в Україні розпочалось реальне реформування цього сектору економіки держави: від прийняття нормативно-законодавчих актів до впровадження технічних рішень, які сприятимуть зменшенню використання традиційних видів палива і забрудненню довкілля. На заміну великим (монопольним) виробникам енергії, традиційним викопним органічним паливам тощо здійснюється перехід до нової моделі функціонування енергетичного сектору з більш конкурентним середовищем, мінімізуються домінування одного з видів виробництва енергії, одного виду палива або шляху його постачання. Пріоритетом державної політики стають підвищення енергоефективності, використання енергії з альтернативних джерел. В результаті впровадження таких заходів значно зменшується шкідливий вплив на довкілля (в першу чергу – атмосферне повітря) під час генерації, транспортування та використання енергії.

Актуальність дослідження. За рішеннями Паризької кліматичної угоди країни-підписанти повинні забезпечити недопущення підвищення глобальної середньої температури довкілля більш, чим на 2 °C (по можливості – не більше 1,5 °C) [1] відносно показників до індустриальної епохи. Ймовірно, мова йде про історичний період до 1750-х років – до того, як в Англії розпочалась промислова революція. Людство стало спалювати величезну кількість викопного палива, що призвело до зміни клімату. Моделювання ситуації показало, що якщо органічні палива видобуватимуть з тією ж швидкістю протягом наступних 28 років, як це було протягом 1988-2017 років, то глобальні середні температури повітря зростуть на 4 °C до кінця століття.

Друга мета Угоди полягає у зменшенні викидів парникових газів у атмосферу до нульового рівня впродовж другої половини XXI століття. Україна за період 1988-2015 років увійшла в топ-100 країн і компаній за

величиною викидів парникових газів і займає 40 місце з 0,49 % від загального обсягу викидів у атмосферне повітря [2].

Енергоефективність – дієвий спосіб вирішення проблем за рахунок зменшення первинного споживання енергії та, відповідно, скорочення викидів забруднювальних речовин і парникових газів в атмосферне повітря. У європейських країнах впровадження заходів згідно з вимогами Директиви Європарламенту 2012/27EU (збільшення частки альтернативних джерел енергії, використання вторинних енергоресурсів, відміна від використання вугілля тощо) [2] дає відчутний результат щодо пом'якшення наслідків зміни клімату.

Традиційно найбільш затребуваними в Україні наразі є викопні ресурси: природний газ і вугілля, які сумарно складають понад 60 % вітчизняного енергетичного балансу [6].

Таким чином, зменшення споживання традиційних органічних видів палива при експлуатації будівель і споруд різного призначення та скорочення викидів забруднювальних речовин і парникових газів з продуктами спалювання в атмосферне повітря є актуальною проблемою.

Останні дослідження та публікації. Теплову енергію для централізованих систем населених пунктів генерують теплоелектроцентралі (ТЕЦ), опалювальні та промислово-опалювальні котельні. У місцевих системах тепlopостачання її забезпечують, як правило, квартирні та будинкові генератори, а останнім часом і джерела теплових альтернативних енергоресурсів. На даний час у країні працюють близько 250 ТЕЦ, з яких більше 200 – дрібні відомчі промислові установки. Основним паливом для ТЕЦ є природний газ – до 80 %. Також у тепловому господарстві держави знаходиться понад 100 тис. котелень різного призначення. Переважна більшість із них – це дрібні промислові чи опалювальні автономні котельні, в якості палива

використовують природний газ – не менше 50 % і вугілля – до 40 % [6]. Питомі витрати палива при генерації теплоти в середньому для котелень становлять 165 кг ум.п./Гкал.

Частка потужностей у тепловій генерації, що відповідає екологічним вимогам ЄС (щодо викидів в атмосферне повітря забруднювальних речовин і парникових газів), не перевищує декількох відсотків [1; 2]. Аналогічна картина і з часткою альтернативних видів палива у місцевих паливно-енергетичних балансах. Проте, з точки зору екологічних наслідків, домінування природного газу в якості основного палива для джерел теплопостачання є найбільш сприятливим для довкілля.

При реалізації поставлених завдань Законами України, іншими нормативно-правовими актами [3; 4; 5] до 2035 р. планується досягти європейського рівня щодо екобезпеки виробництва теплоти (поточний рівень викидів забруднювальних речовин в Україні, наприклад, при використанні вугілля є більшим за нормативи ЄС у середньому в 7-80 разів в залежності виду палива). Водночас частка місцевих альтернативних палив сягне 20 %.

Формулювання цілей статті. Дана робота присвячена дослідженню ефективності заходів із заміни природного газу альтернативним паливом для потреб теплопостачання населених пунктів України, а також оцінки впливу на навколишнє природне середовище викидів забруднювальних речовин разом з продуктами спалювання.

Основна частина. В Законі України «Про енергоефективність будівель» [3] встановлено пріоритетність заходів із забезпечення належних умов проживання та/або життєдіяльності людей протягом нормативного строку експлуатації будівлі при нормативно допустимому рівні витрат енергії [4]. Першочерговими завданнями є зменшення

споживання енергії за рахунок термомодернізації зовнішньої оболонки будівлі, автоматизації процесів регулювання відпуску теплоти, облік спожитих енергоресурсів тощо. Використання альтернативних палив слід розглядати лише після виконання вище вказаних заходів.

Аналіз рішень з практичної реалізації заходів, особливо в умовах децентралізації державного управління, засвідчує майже цілковите недотримання вказаної послідовності. Серед основних, що впроваджуються і які, на перший погляд, дають економію коштів слід відзначити:

1) заміну традиційного палива – природного газу – альтернативним, як правило, місцевим – торфом, брикетами деревини, відходами сільськогосподарського виробництва тощо;

2) використання електроенергії, переважна більшість якої генерується атомними електростанціями (до 2020 р. в Україні вичерпають проектні терміни експлуатації – 30 років – 12 з 15 працюючих енергоблоків [6]; з усіх держав, які розвивають атомну енергетику, лише у США кількість енергоблоків, роботу яких продовжено, перевищує кількість зупинених [13]).

Як приклад розглянуто реконструкцію котельні школи, розташованої в сільській місцевості. Для покриття теплових навантажень встановлено 2 водогрійних котли номінальною потужністю 170 кВт кожний. Газопостачання котлів передбачається природним газом з нижньою теплотворною спроможністю $Q_{\text{н}}=33,01$ МДж/м³ від газопроводу низького тиску ($P \leq 0,003$ МПа). Манометричний тиск газу перед пальником $P=1,0 \dots 2,0$ кПа. Витрата газу на один котел складає 20,0 м³/год. Відповідно, сумарна максимально-годинна витрата газу на котельню дорівнює 40,0 м³/год. Тривалість роботи котлів при максимальному навантаженні протягом опалювального періоду не перевищує 2140 годин.

З метою зменшення витрат для потреб тепlopостачання школи запропоновано варіантне проектування котелень аналогічної теплової потужності з різними видами палива. При визначенні витрат палива значення коефіцієнтів корисної дії прийнято в межах 0,8...0,82 згідно з паспортною характеристикою котлів. Одночасна робота твердопаливних котлів, що проектується, та газових (існуючих) котлів не передбачена. Котли, які працюють на газовому паливі, на період використання твердопаливних котлів консервуються.

Характеристика палив наведена у табл.1.

Таблиця 1

Фізико-хімічні властивості палив [6]

Паливо	A_r , %	W_r , %	Елементний склад (масовий вміст на горючу масу), %					Теплота спалювання Q_p , МДж/кг (МДж/м ³)
			C^{daf}	H^{daf}	S^{daf}	O^{daf}	N^{daf}	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вугілля марки ГР	23	10	79,5	5,2	3,7	10,3	1,3	20,47
Деревина	0,7	30,0	35,4	4,2	0	29,3	0,4	12,31
Солома	4,5	10,0	42,7	5,3	0,1	36,9	0,5	15,70
Лушпиння соняхів	2,4	15,0	42,5	4,9	0,16	34,6	0,44	19,13
Торф	14,9	30,0	30,7	3,5	0,2	19,2	1,5	11,97
Газ								33,01

Примітки. A_r – зольність палива у робочому стані; W_r – те ж, вологість.

Вартість кожного з палив визначена за ринковими цінами станом на 1.01.2019 р. Для твердих палив у подальших розрахунках не врахована вартість доставки, зберігання та утилізації твердих відходів

Податкові зобов'язання за викиди забруднювальних речовин та парникових газів в атмосферне повітря розраховують у відповідності з вимогами ст.243 Податкового кодексу України на підставі ставок податку, які вказано у табл.2.

Таблиця 2

Ставки податку на викиди забруднювальних речовин і парникових газів

Речовина	NO_x	CO	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	SO ₂	сажа
1	2	3	4	5	6	7	8
Ставка податку, грн./т	2451,84	92,37	10,00	4016,11	138,57	2451,84	92,37

- показник емісії	k_{CO}	г/ГДж	121	121	121	121	17	121
- валовий викид	E_{CO}	т	0,3947	0,3951	0,3958	0,3969	0,0359	0,3963
5. Тверді частки:								
- показник емісії	$k_{сажі}$	г/ГДж	87	437	191	1893	0	4263
- валовий викид	$E_{сажі}$	т	0,2838	1,4271	0,6248	6,2086	0	13,962
6. Разом ЗР	ΣE_1	т	0,8416	2,3806	1,7043	7,8584	0,1246	23,958
Б. Викиди парникових газів (ПГ)								
7. Діоксид вуглецю								
- показник емісії	k_{CO_2}	г/ГДж	105328	99574	81320	93278	58593	126293
- валовий викид	E_{CO_2}	т	343,6	325,2	266,0	305,9	123,78	413,6
8. Метан:								
- показник емісії	k_{CH_4}	г/ГДж	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
- валовий викид	E_{CH_4}	т	0,0033	0,0033	0,0033	0,0033	0,0021	0,0033
9. Оксид діазоту:								
- показник емісії	k_{N_2O}	г/ГДж	1,4	1,4	1,4	1,4	0,1	1,4
- валовий викид	E_{N_2O}	т	0,0046	0,0046	0,0046	0,0046	0,0002	0,0046
10. Разом ПГ:	ΣE_2	т	343,61	325,21	266,01	305,91	123,78	413,61
11. Всього ЗР+ПГ:	ΣE	т	344,45	327,59	267,71	313,77	123,91	437,57
В. Економічні показники								
12. Вартість палив	$ВП$	тис.грн.	755,3	520,0	427,5	657,6	749,6	416,0
13. Податкові зобов'язання, у т.ч.:	$\Sigma ПЗ$	грн.	3918	4808	4450	6760	1460	29018
13.1. Викиди ЗР	$ПЗ1$	грн.	463	1537	1771	3682	221	24863
13.2. Викиди ПГ	$ПЗ2$	грн.	3455	3271	2679	3078	1239	4155

Отримані розрахунковим шляхом значення показників емісії (див. табл.3) з достатньою точністю співпадають з аналогічними, наведеними в роботах [2;4; 6].

Найбільш екологічно небезпечним паливом серед інших є вугілля. Це викликано значним вмістом сірки та високою зольністю палива. Для невеликої потужності водогрійних котлів влаштовувати пилогазоочисні установки практично недоцільно. Особливо це стосується очистки викидів від сполук сірки. Проте – це найдешевший вид палива з поміж тих, що розглянуті.

Природний газ є екологічно чистим паливом. Він характеризується найменшим рівнем забруднення атмосферного повітря. Проте – це одне із найдорожчих (разом з пелетами (брикетами) з деревини твердих порід (дуб)) палив.

Відходи сільськогосподарського виробництва (солома, лушпиння соняхів) займають проміжне місце між вугіллям та природним газом. При незначній вартості вони можуть стати основним альтернативним паливом для потреб теплопостачання як індивідуальних житлових будинків, так і комунально-побутових та громадських об'єктів у сільській місцевості.

Торф як місцеве паливо за негативним впливом на довкілля займає друге місце за вугіллям. Водночас – це недешеве паливо.

У табл.4 виконано порівняльний аналіз палив щодо їх впливу на довкілля, а також безпосередньо вартості палив (у частках до природного газу).

Таблиця 4

Порівняльний аналіз використання альтернативних палив для потреб теплопостачання (у частках до природного газу)

Показник	Паливо					
	дере- вина	соло- ма	луш- пиння	торф	газ	вугіл- ля ГР
1	4	5	6	7	8	9
А. Викиди забруднюювальних речовин (ЗР)						
1. Оксиди азоту	1,839	1,841	1,844	1,849	1,0	4,541
2. Оксиди сірки*	-	1,0	1,316	2,756	-	23,277
3. Оксид вуглецю	10,994	11,006	11,025	11,056	1,0	11,039
4. Тверді частки**	1,0	5,055	2,213	21,993	-	49,458
5. Разом ЗР	6,754	19,106	13,678	63,069	1,0	192,28

Б. Викиди парникових газів (ПГ)						
6. Діоксид вуглецю	2,776	2,627	2,149	2,471	1,0	3,341
7. Метан	1,571	1,571	1,571	1,571	1,0	1,571
8. Оксид діазоту	23,0	23,0	23,0	23,0	1,0	23,0
9. Разом ПГ	2,776	2,627	2,149	2,471	1,0	3,341
10. Всього ЗР+ПГ	2,780	2,664	2,161	2,532	1,0	3,660
В. Економічні показники						
12. Вартість палив	1,008	0,694	0,570	0,877	1,0	0,555
13. Податкові зо-бов'язання, у т.ч.:	2,684	3,293	3,048	4,630	1,0	19,875
13.1. Викиди ЗР	2,095	6,955	8,014	16,661	1,0	112,50
13.2. Викиди ПГ	2,789	2,640	2,162	2,484	1,0	3,354

Примітки. *При порівнянні викидів в атмосферне повітря сірчистого ангідриду за основу взято викиди при використанні соломи (для природного газу і деревини з твердих порід даний інгредієнт відсутній).

** Для викидів твердих часток в якості еталонного палива прийнято деревину, так як при використанні природного газу в навколишнє середовище цей інгредієнт не надходить.

Першочергові заходи зі встановлення в котельнях водогрійних котлів для використання в якості палива місцевих альтернативних дають лише економію коштів (за рахунок різниці цін природного газу і альтернативних палив), а не сприяють підвищенню енергоефективності та енергозбереженню в житлово-комунальному господарстві. Водночас не вирішується інша головна проблема – зниження викидів забруднювальних речовин і парникових газів в атмосферне повітря.

Для водогрійних котлів потужністю від 200 кВт реальним є встановлення засобів пилоочистки димових газів, хоча для індивідуального будівництва (котлів меншої потужності) відсутній типорозмірний ряд таких установок. Для усіх інших інгредієнтів відносно недорогих технічних засобів очистки продуктів спалювання, що надходять в атмосферне повітря від таких котлів, не існує.

У 2017 р. (за відсутності даних за 2018 р.) підприємствами теплокомуненерго України спожито для потреб населення та бюджетних установ 5,6 млрд.м³ природного газу [4]. Після додаткового

утеплення зовнішніх огорожень обсяг необхідного палива не перевищуватиме 2,5 млрд.м³, а на потреби утеплення можна бути використати не менше 26,5 млрд. грн.

У сільській місцевості, перетворивши відходи сільськогосподарського виробництва та обробки деревини як вторинну сировину в якісне біопаливо, доцільно виконати заміну традиційного природного газу альтернативним паливом.

Висновки. Впровадженню нових технологій в енергетичне виробництво з мінімальним впливом на навколишнє середовище сприятимуть ефективні схеми торгівлі викидами, зелені сертифікати та спеціальні тарифи, що слід опрацювати в спеціальних програмах та заходах з реалізації Енергетичної стратегії.

Особливу необхідно приділити формуванню громадської думки щодо економії енергоресурсів та підтримки екологічно прийняттого розвитку енергетики країни, яка має стимулювати органи законодавчої та виконавчої влади до прийняття та реалізації відповідних рішень.

Лише дотримання вимог Закону України «Про енергоефективність будівель», особливо в частині термомодернізації зовнішньої оболонки існуючих будівель і споруд дозволить зменшити потребу в тепловій енергії не менше, чим у 2.5 рази і, відповідно, залишити в якості основного органічного палива для потреб тепlopостачання населених пунктів України найбільш екологічне – природний газ, тим більш, що розвідані запаси дозволяють збільшити його видобуток і повністю відмовитись від закупівель за кордоном.

Література:

1. *Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони.* Офіційний сайт

Верховної Ради України. < https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011. (2018, грудень, 26).

2. *World Energy Investment 2018*. International Energy Agency. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.iea.org/wei2018/>. (2019, січень, 08).

3. *Про енергоефективність будівель*. Офіційний сайт Верховної Ради України. < <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19>. (2018, грудень, 26).

4. *Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання*. Офіційний сайт Верховної Ради України. < <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2119>-(2018, грудень, 26).

5. *Про фонд енергоефективності*. Офіційний сайт Верховної Ради України. < zakon.rada.gov.ua/laws/show/2095-19. (2018, грудень, 26).

6. Предун, К.М. (2017). Підвищення енергоефективності існуючого житлового фонду України. *Містобудування та територіальне планування*, 65, 462-466 .

References:

1. *Uhoda pro asotsiatsiyu mizh Ukrayinoyu, z odniyeyi storony, ta Yevropeys'kym Soyuzom, Yevropeys'kym spivtovarystvom z atomnoyi enerhiyi i yikhnimy derzhavamy-chlenamy, z inshoyi storony* [The Association Agreement between Ukraine, on the one hand, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their Member States, on the other.] *Ofitsiyyny sayt Verkhovnoyi Rady Ukrayiny*. [The official website of the Verkhovna Rada of Ukraine]. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011. [in Ukrainian]. (2018, December, 26).

2. *World Energy Investment 2018*. International Energy Agency. Retrieved from <https://www.iea.org/wei2018/>. [in English]. (2019, January, 08).

3. *Pro enerhetychnu efektyvnist' budivel' 2017* (Verkhovna Rada Ukrayiny). [On the energy efficiency of buildings (Verkhovna Rada of Ukraine)]. *Ofitsiyyny sayt Verkhovnoyi Rady Ukrayiny*. [The official website of the Verkhovna Rada of Ukraine]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19>. [in Ukrainian]. (2018, December, 26).
4. *Pro komertsiyyny oblik teplovoyi enerhiyi ta vodopostachannya 2018* (Verkhovna Rada Ukrayiny). [On commercial accounting of thermal energy and water supply (Verkhovna Rada of Ukraine)]. *Ofitsiyyny sayt Verkhovnoyi Rady Ukrayiny*. [The official website of the Verkhovna Rada of Ukraine]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2119-19>. [in Ukrainian]. (2018, December, 26).
5. *Pro Fond enerhoefektyvnosti 2017* (Verkhovna Rada Ukrayiny). [About the energy efficiency foundation (Verkhovna Rada of Ukraine)]. *Ofitsiyyny sayt Verkhovnoyi Rady Ukrayiny*. [The official website of the Verkhovna Rada of Ukraine]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2095-19> . [in Ukrainian]. (2018, December, 26).
6. Predun, K.M. (2017). Pidvyshchennya enerhoefektyvnosti isnuyuchoho zhytlovoho fondu Ukrayiny [Increase of energy efficiency of existing housing stock of Ukraine]. *Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya* [Urban Planning and Territorial Planning], no. 65, 462-466. [in Ukrainian].