

**Чернокрылюк В.В., Есин Е.С., Вернигора О.А., Штырин П.В.**  
*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*  
*КП «Дирекция развития инфраструктуры территорий»*

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОТЛОВ НИИСТУ-5 ПЕРЕВЕДЕННЫХ С ГАЗОВОГО НА ТВЕРДОЕ ТОПЛИВО**

Отсутствие в Украине достаточного количества газового топлива в усугубившихся политико-экономических отношениях с Россией ставит перед теплоэнергетиками задачу быстрее решения вопроса полного отказа от газового топлива и замены его отечественным твердым топливом. Наиболее желаемым топливом должно быть недорогое и возобновляемое: брикеты, пеллеты, биоотходы и другие.

Одним из простейших технологических решений является перевод действующих наиболее распространенных в тепловом хозяйстве котлов «НИИСТУ-5» с газового на твердое топливо.

Котлы «НИИСТУ-5» изначально создавались и серийно выпускались для работы на твердом топливе.

В 70 – 90 годы прошлого столетия при массовом переводе котлов «НИИСТУ-5» на газовое топливо все оборудование, предназначенное для твердого топлива демонтировалось и заменялось несущими конструкциями и фронтальными плитами для газогорелочных устройств.

Кроме того, выполнялись соответствующие работы по частичному переустройству кладки топочного пространства, газоходов и футеровки.

Поэтому задаваясь сейчас «обратной» целью перевода котлов типа «НИИСТУ-5» и им подобных («НР – 18», «Надточия», Универсал, Пламя и др.) с газового на твердое топливо мы фактически должны вернуть котлам их первоначальное проектное и заводское исполнение котла на твердом топливе.

На теплоснабжающем предприятии «Дирекция развития инфраструктуры территорий», входящем в состав Харьковской МРК «Теплоэнергии» в 2010 году был начат промышленный эксперимент, а затем освоен серийный перевод котлов «НИИСТУ-5» с газового на твердое топливо.

Впервые эксперимент проведен в котельной пгт. Шевченково ул. Комсомольская, 12к. До эксперимента котлы более пятнадцати лет безаварийно проработали на газовом топливе, обеспечивая теплом небольшой микрорайон.

При проведении эксперимента в качестве топлива использовались брикеты из соломы, собственного производства (паспортная теплотворная способность брикетов 3700 ккал/кг).

Одной из задач было определение максимальной (номинальной) теплопроизводительности котла с площадью нагрева 32,2 м<sup>2</sup>.

До начала эксперимента по переводу на твердое топливо для возможности дальнейших сопоставлений нами были проведены все необходимые измерения на том же действующем газовом котле. Результаты измерений приведены в табл. 1.

Предполагаемая номинальная производительность котла после перевода на твердое топливо 0,3 Гкал/ч. В ходе пробного пуска интенсифицируя процесс горения дутьевым вентилятором в течении 40 минут, было полностью сожжено 80 кг брикетов. Котел загружался двумя порциями по 40 кг с трехкратной шуровкой за 40 минут. Время загрузки одной порции составило 2 мин.

Таким образом, за один час сжигалось полностью 120 кг брикетов, получая при этом тепловую мощность 0,3 Гкал/ч.

Согласно сертификату на топливные брикеты из соломы зольность составляет 7,3%, т.е. из 100 кг брикетов выход золы составит 7,3 кг (для сравнения, зольность углей в среднем составляет 30%). Удаление золы проводилось через зольник.

Ориентировочный расход брикетов из соломы в зависимости от температуры наружного воздуха и присоединенной нагрузки приведен в табл. 2.

Таблица 1 - Результаты испытания водогрейного котла №1 типа НИИСТУ-5, оборудованного форкамерными горелками при работе на природном газе  $Q_{нр} = 8050-8400$  ккал/м<sup>3</sup> (до перевода на твердое топливо)

№ п.п	Наименование показателей	Размерность	Значение величин			Величины допусков
1	Теплопроизводительность	Гкал/час	0,15-0,16	0,25-0,27	0,28-0,31	
2	Максимальный расход воды	м <sup>3</sup> /час	← 30 →			
3	Минимальный расход воды	м <sup>3</sup> /час	← 19 →			
4	Температура на выходе из котла	°С	По температурному графику			
5	Максимальный нагрев воды	°С	8	14	16	
6	Минимальный нагрев воды	°С	5	9	10	
7	Давление воды на выходе из котла	кгс/м <sup>2</sup>	← 4,0 →			± → 0,5
8	Гидравлическое сопротивление котла	кгс/м <sup>2</sup>	← 0,2 →			± → 0,1
9	Часовой расход газа	м <sup>3</sup> /час	23	39	45	
10	Давление газа перед котлом	кгс/м <sup>2</sup>	← 170 →			± → 10
11	Давление газа перед горелкой	кгс/м <sup>2</sup>	25	80	110	± → 1
12	Ширина воздушного зазора	мм	28	135	207	± → 5
13	Разрежение в топке котла	кгс/м <sup>2</sup>	← 1,5 →			± → 0,2
14	Температура уходящих газов	°С	262	322	352	± → 20
15	Содержание продуктов горения в балансовой точке					
	СО <sub>2</sub>	%	8,1-9	9,3-9,6	9,5-9,8	
	О <sub>2</sub>	%	5-6,6	4-4,5	3,6-4,1	
	СО	мг/м <sup>3</sup>	← 1---64 →			
	NO <sub>x</sub>	мг/м <sup>3</sup>	← 69-142 →			
16	Коэффициент избытка воздуха в балансовой точке		1,28-1,41	1,21-1,25	1,18-1,22	
17	КПД котла брутто	%	80,1-83,3	79,5-82,6	78,6-81,7	
18	КПД котла нетто	%	76,5-81,1	77,2-81,2	76,7-80,5	
19	Удельный выброс СО	г/1000м <sup>3</sup>	← 8---700 →			
20	Удельный выброс NO <sub>x</sub>	г/1000м <sup>3</sup>	← 796---1456 →			
21	Удельный выброс СО <sub>2</sub>	кг/1000м <sup>3</sup>	← 1866---1947 →			
22	Удельный расход топлива	м <sup>3</sup> /Гкал	143-155,1	144,1-156,2	145,8-158,1	
23	Удельный расход условного топлива	кг.у.т./Гкал	171,6-178-4	172,9-179,7	174,9-181,8	

- Испытания проведены при температуре газа 9–12°С, температура воздуха на горение 18–22 °С.

Таблица 2 – Данные о расходе брикетов

$Q_{пр} = 0,569$

t	Q	G
8	0,1388	53,5832
6	0,1655	64,2998
4	0,1943	75,0165
2	0,222	85,7331
0	0,2498	96,4498
-2	0,2776	107,166
-3,6	0,2998	115,74

$Q_{пр} = 0,351$

t	Q	G
8	0,09146	35,3141
6	0,10976	42,3769
4	0,12805	49,4397
2	0,14634	56,5025
0	0,16463	63,5653
-2	0,18293	70,6281
-4	0,20122	77,6909
-6	0,21951	84,7537
-8	0,2378	91,8166
-10	0,2561	98,8794
-12	0,27439	105,942

$Q_{пр} = 0,351$

t	Q	G
8	0,08561	33,05
6	0,10273	39,66
4	0,11985	46,28
2	0,13698	52,89
0	0,1541	59,5
-2	0,17122	66,11
-4	0,18834	72,72
-6	0,20546	79,33
-8	0,22259	85,94
-10	0,23971	92,55
-12	0,25683	99,16
-14	0,27395	105,8
-14,8	0,2808	108,4
-16	0,29107	112,4
-17	0,29963	115,7

Принятые обозначения:  $Q_{пр}$  – Присоединенная нагрузка, Гкал/час; Q – Фактическая нагрузка котла покрывающая теплопотери при t, Гкал/час; T – Температура наружного воздуха, °C; G – Расход брикетов, кг/ч

В расчетах тепловых потерь по элементарному составу топлива, все величины относились к 1 кг топлива по приведенным характеристикам. Все величины (состав топлива, относительные объемы воздуха и продуктов сгорания, их теплосодержание) относились к 1000 ккал нижней рабочей теплоты сгорания.

За основную характеристику в этой системе принята приведенная влажность топлива, которая определяется по формуле (1):

$$W^n = (1000 \cdot W^p) / Q_{н}^p, \quad (1)$$

где  $W^p$  – рабочая влажность, %;  $Q_{н}^p$  – низшая теплотворная способность топлива, ккал/кг.

Потери тепла с уходящими газами, % (1) определяется по формуле:

$$q_2 = (K \cdot \alpha_{yx} + C) \cdot \left( t_{yx} - \frac{\alpha_{yx}}{(\alpha_{yx} + b)} \right) \cdot t_{xb} \cdot A_t \cdot \left( 1 - \frac{q_4}{100} \right) \cdot 10^{-2}, \quad (2)$$

где (для дерева и соломы – применительно) K, C, b – коэффициенты, зависящие от сорта и приведенной влажности топлива:

$$K = 3,33 + 0,02 \cdot W^n; \quad C = 0,8 + 0,044 \cdot W^n; \quad b = 0,25 + 0,01 \cdot W^n; \quad (3)$$

$t_{yx}$  – температура уходящих газов, °C;  $t_{xb}$  – температура воздуха, идущего на горение, °C;  $A_t$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние температуры на теплоемкость продуктов сгорания приведен в табл. 3.

Таблица 3 – Величины поправочного коэффициента  $A_t$

$t_{yx}, ^\circ\text{C}$	$A_t$	$t_{yx}, ^\circ\text{C}$	$A_t$	$t_{yx}, ^\circ\text{C}$	$A_t$
100	0,993	160	1,001	220	1,009
110	0,994	170	1,002	230	1,01
120	0,996	180	1,003	240	1,011
130	0,997	190	1,005	250	1,013
140	0,998	200	1,006		
150	1,0	210	1,007		

Коэффициент избытка воздуха подсчитывается по формуле:

$$\alpha = K_\alpha \cdot 21 / (21 - (O_2 - 0,5CO - 0,5H_2 - 2CH_4)), \quad (4)$$

$K_\alpha$  (применительно для древесины и соломы):

$$K_\alpha = 1 - 0,02 O_2 / 21. \quad (5)$$

Потери теплоты от химической неполноты сгорания:

$$q_3 = 3,32CO \cdot (\alpha - 0,02) \cdot (1 + 0,006W^H) \cdot \tau(1 - 0,01 \cdot q_4), \quad (6)$$

где  $CO$  – содержание угарного газа в продуктах сгорания, %;  $q_4$  – потери тепла с механическим недожогом, %.

При работе на брикетах из соломы или древесины (учитывая их малую зольность)  $q_4$  можно пренебречь.

Потери теплоты в окружающую среду:

$$q_5 = (Q_5 \cdot 100) / (G_T \cdot Q_{H^P}), \quad (7)$$

$$\text{где } Q_5 = \sum [\alpha_\Sigma \cdot (t_{\text{кл}}^{\text{нар}} - t_{\text{в}}) QF], \text{ ккал/ч,} \quad (8)$$

$\alpha_\Sigma$  – суммарный коэффициент теплоотдачи (ккал/( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$ )) находим из табл. 4.

Таблица 4 – Величины коэффициента теплоотдачи  $\alpha_\Sigma$

Поверхность котла	Наружная температура поверхности котла, $^\circ\text{C}$									
	30	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Свод	9,7	10,9	12,2	13,1	14,5	15,6	16,6	17,7	18,6	19,7
Стены	7,8	8,9	10,2	11,3	12,3	13,3	14,2	15,3	16,3	17,2
Пол	6,6	7,2	8,4	9,4	10,2	11,1	12,1	13,0	13,9	14,9

При сгорании брикетов из соломы и древесины отсутствует шлак и, как следствие, потерями тепла со шлаком можно пренебречь.

КПД котла определяется по формуле:

$$\eta = 100 - (q_2 + q_3 + q_5), \quad (9)$$

Данные лабораторных испытаний топлива приведены в табл. 5.

Результаты экспериментальных испытаний, проведенных после переоборудования котла «НИИСТУ-5», с газового на твердое топливо, приведены в табл. 6.

Таблица 5 - Данные лабораторных испытаний

Наименование показателя	Метод испытания		Символ, единица измерения	Результаты анализа топливных брикетов	
				Солома	Отходы древесины
1. Массовая доля влаги	ГОСТ 11305-77		$W^T, \%$	7,8	7,4
2. Массовая доля золы	ГОСТ 11306-83		$A^d, \%$	7,3	0,2
3. Массовая доля общей серы	ДСТУ 3528-27	ISO 334-92	$S_T^d, \%$	отсутствует	отсутствует
4. Выход летучих веществ	ГОСТ 6382-91	ISO 562-81	$V^d, \%$	76,5	81,5
5. Массовая доля водорода	ГОСТ 2408.1-95	ISO 625-96	$H^d, \%$	5,58	6,50
6. Теплота сгорания: высшая	ДСТУ ISO 1928:2006		$Q_S^{def}, \text{МДж/кг}$ Ккал/кг	<u>19,65</u> 4693	<u>19,86</u> 4743
низшая			$Q_S^T, \text{МДж/кг}$ Ккал/кг	<u>15,49</u> 3700	<u>16,85</u> 4025
7. Кажущаяся плотность	ГОСТ 2160-92		$d^d, \text{кг/м}^3$	1314	1010

Таблица 6 - Результаты испытания водогрейного котла № 1 типа НИИСТУ-5, при работе на топливных брикетах из соломы  $Q_{нр}=3700$  ккал/м<sup>3</sup>

№ п.п	Наименование показателей	Размерность	Значение величин			Величины допусков
			0,09	0,20	0,31	
1	Теплопроизводительность	Гкал/час	0,09	0,20	0,31	
2	Расход воды через котел	м <sup>3</sup> /час	← 15 →			± 1
3	Температура воды на входе в котел	°С	← 60 →			± 5
4	Нагрев воды в котле	°С	6	13	21	± 1
5	Давление воды на выходе из котла	кгс/м <sup>2</sup>	← 2,4 →			± 0,2
6	Гидравлическое сопротивление котла	кгс/м <sup>2</sup>	← 0,1 →			
7	Часовой расход топливных брикетов	кг/час	33	73	115	± 2
8	Разрежение в топке	кгс/м <sup>2</sup>	← 1,0 →			± 0,5
9	Температура уходящих газов	°С	219	283	353	± 5
10	Содержание продуктов горения в балансовой точке					
11	O <sub>2</sub>	%	13,2	11,7	9,7	± 0,2
12	CO	мг/м <sup>3</sup>	← 192---522 →			
13	NO <sub>x</sub>	мг/м <sup>3</sup>	← 172---270 →			
11	Коэффициент избытка воздуха в балансовой точке		2,64	2,22	1,84	
12	КПД котла брутто	%	76,4	74,0	72,6	
13	Удельный выброс CO	г/кг топлива	← 1685---1469 →			
14		г/Гкал	← 627---1469 →			
15	Удельный выброс NO <sub>x</sub>	г/кг топлива	← 1782---1931 →			
16		г/Гкал	← 641---718 →			
17	Удельный расход топлива	кг/Гкал	353,7	365,0	372,0	
18	Удельный расход условного топлива	кг.у.т./Гкал	186,9	193,0	196,7	

- Испытания проведены при температуре топливных брикетов 14 – 15 °С, температура воздуха на горение 15 – 16 °С.

- Разрежение поддерживалось положением воздушной заслонки дутьевого вентилятора.

Сравнивая данные табл. 1 и 6 можно четко видеть насколько изменяется теплопроизводительность одного и того же котла при переходе с газового на твердое топливо. Наглядно в сравнении видны и другие показатели.

**ВЫВОДЫ:**

1) Перевод существующих котлов «НИИСТУ-5» с газового на твердое топливо наиболее быстрый и реальный путь отказа от дорогостоящего импортного газового топлива.

2) При переводе котла с газового на твердое топливо значительно снижается фактическая и удельная теплопроизводительность котла.

3) Перевод котла с газового на твердое топливо приводит к значительному увеличению количества выбросов вредных веществ в атмосферу.

4) Снижение фактической и удельной теплопроизводительности котлов может быть компенсировано за счет включения в работу резервных котлов, имеющих в котельных.

5) Переводу котлов с газового на твердое топливо должны предшествовать проектные и научно-экспериментальные работы оценивающие последствия перевода как с теплотехнической, так и экологической точки зрения.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Справочник по котельным установкам малой производительности Роддатис К.Ф., Плотарецкий А.Н. М.: Энергоатомиздат, 1989. 488с.

2. Смирнов А.В., Юферев Ю.В., Юферева Л.М., Овчаров И.В. Изготовление и монтаж котлоагрегатов малой мощности «КВП-1,74-ВТКС»// Строй-профиль, 2004, №5.

3. Комунальна теплоенергетика України: Стан, проблеми, шляхи модернізації в 2-х томах / За ред. А.А. Долинського, Б.І. Баска, Є.Т. Бозєєва, І.А. Піроженко. – К.: British Council, 2007. – 827 с.

4. Лукьянов А.В. Теоретические основы и способы повышения энергетических характеристик теплоагрегатов для локальных систем теплоснабжения. Автореферат докторской диссертации. – Макеевка. -2008. 26 с.

5. Тарадай О.М., Швед С.О., Варва Є.М. Регіональна програма модернізації комунальної теплоенергетики Харківської області на 2012-2015 роки / - Харків: ТОВ «МРК Теплоенергія» - 2012р. – 252 с.

6. Шушляков А.В., Кривонос Г.А., Шушляков А.В. Использование пылевидных отходов угля в качестве водно – угольного топлива. // Экологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов. Сб. научн. Трудов т.1 ВОДГЕО, Харьков, 2010. -351 – 357 с.

7. Шушляков А.В. Повышение КПД генераторов тепловой энергии как фактор повышения их экологической эффективности / Шушляков А.В., Паламарчук О.Ю., Овчаренко С.В. // Науковий вісник будівництва. – В. 49. – Харків, ХОТВАБУ, 2008. – С. 285 – 295.

8. Долинский А.А., Сигал А.И. Коммунальная энергетика. Комплексная модернизация или замена. Сб.: Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики. – Севастополь, 2002. – С. 7–13.

9. Сигал А.И. Обзор рынка украинского котлостроения. Сб.: Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики. – Севастополь, 2002. – С. 8–17.

УДК 628.13, 628.33

**Бабенко С.П.**

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

**РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО РАСЧЕТУ И ПРИМЕНЕНИЮ ТОНКОСЛОЙНЫХ ОТСТОЙНИКОВ С УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ ТОНКОСЛОЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Наиболее перспективными сооружениями, которые используются для очистки различных типов вод от взвешенных веществ, являются тонкослойные отстойники [1-3]. В этих сооружениях за счет

уменьшения высоты осаждения примесей процесс осветления воды происходит значительно интенсивнее.