УДК 29-93

А.В. СВІНЦІЦЬКИЙ, В.П. ТКАЧУК, К.С. СОКОЛАН
Хмельницький національний університет

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМУ ЗАПИРАННЯ ТВЕРДОПАЛИВНОГО КОТЛА З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕКОНОМІЧНОСТІ

У даній роботі викладено результати проведеного аналізу у Flow Simulation впливу негерметичності камери згорання на ККД твердопаливного котла. Запропоновано конструкцію механізму запирання та розраховано силове навантаження на основні деталі.

Ключові слова: твердопаливний котел; solidworks simulation; метод скінчених елементів; віртуальні та емпіричні дослідження.

A.V. SVINTSITSKIY, V.P. TKACHUK , K.S. SOKOLAN
Khmelnytskiy National University

IMPROVEMENT OF CLOSING MECHANISM CONSTRUCTION OF SOLID-FUEL BOILER WITH THE OBJECT OF INCREASING ITS ECONOMY

The most wide spreaded mechanisms of closing solid-fuel boilers are analyzed in this article and there deficiencies and advantages are detected. The calculation of volumes and masses of combustion products and waste gases was realized. Simplified 3-D model of solid-fuel boiler was created. The analysis in Flow Simulation of the influence of thin heat-insulated cord Izopac 57 to the window of the boiler on the efficiency factor was carried out. Simulation of solid-fuel boiler operation was carried out under normal conditions, with value of natural draught with depression in flue 15 Pa. After analyzing problems that occur during production and exploitation of solid-fuel boilers and after processing received experimental results it was determined that rotational mechanism must have possibility of adjusting pressing force of locking screen to the bode, and have possibility to adjust inclination angle of the screen relatively to the horizontal surface of the boiler's window in closed position. This adjusting will provide firm adherence to heat insulating cord and solve problem with jamming. On the basis of construction analysis of existing closing mechanisms the construction, which provides stable hermetic closing of the boiler due to compliant display and possibility of adjusting relatively to the window in three dimensions was offered. The calculation of the most vulnerable elements of construction was carried out in SolidWorks Simulation. The calculation of the hook's handle form that contacts with ear was carried out and examination for a possibility to self-dependent opening was performed. The force, which must be applied to the handle for closing boiler and for providing its hermeticity was calculated. 3-D model of closing mechanism construction was developed and created. The technology of production hook detail was developed. Using CAMWorks software the program of part processing on the lathe HAAS VFI was created.

Keywords: solid-fuel boiler; solidworks simulation; finite element method; virtual and empiric researches.

Вступ

В останні роки в Україні спостерігається тенденція подорожчання органічного палива. Особливо це стосується такого виду палива, як природний газ. У зв'язку з цим відбувається перехід на інші джерела теплової енергії при опаленні приватних будинків зокрема тверде паливо. Тому розроблення і вдосконалення твердопаливних котлів є актуальною задачею сьогодення. Метою роботи було удосконалення механізму запирання твердопаливного котла, для підвищення ККД та покращення екологічної безпеки.

Теоретичні дослідження

Для дослідження потоків газів в камері згорання котла за допомогою Flow Simulation ми використали спрощену модель твердопаливного котла виробництва КОРДІ АОТВ 16-20Е зображеного на рис. 1. На рис. 2 зображений переріз котла АОТВ 16-20Е.

Рис. 1. Твердопаливний котел АОТВ 16-20Е

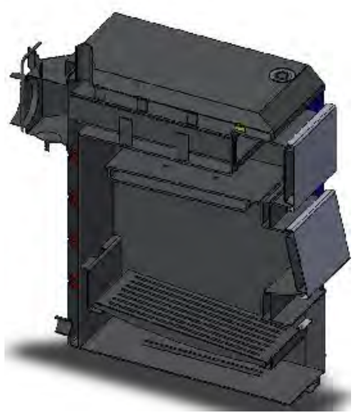

Рис. 2. Переріз 3-D моделі котла АОТВ 16-20Е

АОТВ 16-20Е – це сучасний двоходовий котел, що працює на деревині та вугіллі. Симуляцію роботи твердопаливного котла проводили за звичайних умов при природній тязі із розрідженням в димоході в 15 Па. Таке розрідження є рекомендованим для стабільної та безпечної роботи АОТВ 16-20Е. Для проведення випробування і симуляції нещільного закривання дверей ми створили спрощену модель корпусу котла, і на загрузочних дверях по висоті почергово створили пази шириною 0.1, 0.5 та 1 мм.

За результатами аналізу було побудовано гістограму яка зображена на рис. 3. По горизонталі відображено ширину пазу δ=0,1 мм. δ=0,5 мм і відповідно δ=1мм. На рис. 4 можна побачити траєкторію потоків газів в середині камери згорання (частина потоків прихована).

У першому випадку кількість продуктів згорання, які покинули камеру згорання через створений паз становили 0,3%. В другому випадку це значення зросло до 0,7%. І в третьому випадку до 0,9%. Враховуючи, що при роботі твердопаливного котла потужністю 20 кВт кількість продуктів згорання при спалювані деревини вологістю 20% становить близько 30 м³/год. Помноживши об’єм на відсоток отриманий при симуляції отримаємо об’єм викидів газів у приміщення котельні: при 0,1 мм – 0,09 м³, при 0,5 мм – 0,21 м³ і при 1 мм – 0,27 м³.

При відсутності вентиляції в приміщені, де знаходиться котел, уже за годину роботи при мінімальній ширині пазу тривале перебування людини може викликати проблеми зі здоров’ям.

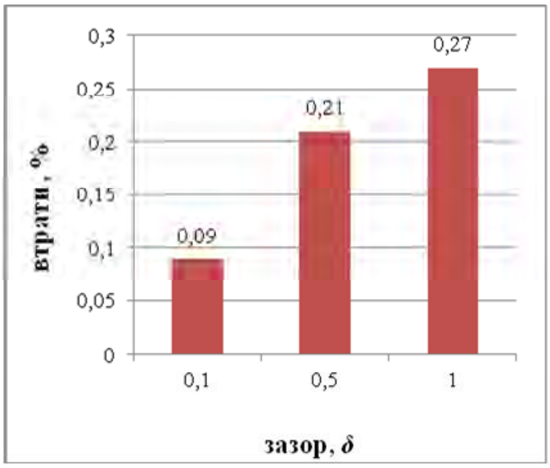

Рис. 3. Результати досліджень втрат

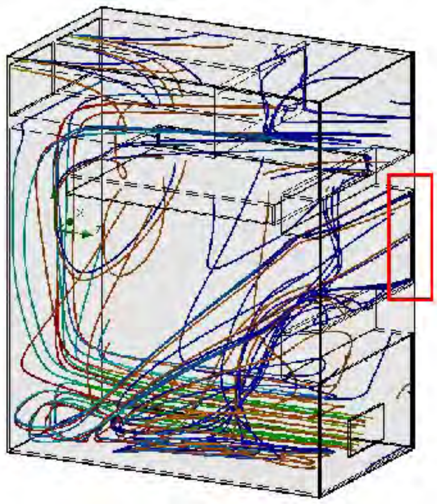

Рис. 4. Траєкторії потоків газів

Першим етапом досліджень було визначення об’єму продуктів згорання вагою 1 кг твердого палива з вмістом $C^p = 52.1\%; H^p = 3.8\%; S^p{}_4 = 2.9\%; N^p = 1.1\%; O^p = 9.1\%$. Для цього необхідно визначити об’єм сухих газів, теоретичний об’єм азоту та об’єм водяної пари.

Об’єм сухих газів:

$$V_{RO_2} = \frac{M_{CO_2}}{\rho^H_{CO_2}} + \frac{M_{SO_2}}{\rho^H_{SO_2}} = 1,866\frac{52.1 + 0,375\times 29}{100} = 0.99 \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (1)$$

Теоретичний об’єм азоту:

$$V_{N_2} = (\frac{V_B^O}{100}\times 79) + \frac{N^p}{100\rho_{N_2}} = 0,79\times 5,03 + 0,8\frac{1,1}{100} = 3,98 \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (2)$$

Теоретичний об’єм водяної пари:

$$V^O_{H_2O} = (0,111\times H^p) + 0,0124W^p + 0.0161V_B^O + 1,24W_\phi = 0.111\times 3.8 + 0.0124\times 9.1 + 0.161\times 5.03 = 0,62 \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (3)$$

Повний об’єм димових газів:

$$V_\Gamma = V^O_{H_2O} + V_{RO_2} + V_{N_2} + V_B^O(\alpha - 1) = 0,99 + 3,98 + 0,62 = 5,59 \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (4)$$

Теоретично, для спалювання 1 кг твердого палива при α=1 (коефіцієнт надлишку повітря, що показує, у скільки разів кількість повітря, що дійсно надходить у камеру згорання, відрізняється від теоретично необхідної кількості) через димову трубу вийде5,59 м³ димових газів.

Коефіцієнт надлишку повітря залежить від виду палива, що спалюється, способу його спалювання, конструкції камери згорання котла і приймається на підставі експериментальних даних [2, 3].

При спалюванні палива дуже важливо правильно регулювати надходження повітря в камеру згорання котла. Якщо повітря буде надходити мало, то кисню не вистачатиме для повного згоряння палива, і частина горючих газів, що утворюються в топці котла (наприклад, окис вуглецю CO), і незгорілі частки твердого палива будуть видалятись разом із продуктами горіння в димову трубу. Неповноту згорання палива можна виявити по появі чорного диму з димаря. Очевидно, що таке спалювання викликає зайву витрату палива.

Щоб забезпечити повне згорання палива, на практиці доводиться подавати повітря в топку дещо більше, ніж потрібно за розрахунком. Але надмірний надлишок повітря в котлі неприпустимий, так як багато тепла при цьому витрачається на нагрівання зайвого повітря, а також багато тепла виходить через димову трубу.

Фактична кількість повітря, необхідна для повного згоряння 1 кг палива, має бути трохи більшою теоретичного, так як при практичному спалюванні палива не вся кількість теоретично необхідного повітря використовується для горіння палива; частина його не бере участі в реакції горіння в результаті недостатнього перемішування повітря з паливом, а також через те, що повітря не встигає вступити в зіткнення з вуглецем палива і йде в газоходи котла у вільному стані. Тому відношення фактичної кількості повітря, яке подається в камеру згорання котла, до теоретично необхідного називають коефіцієнтом надлишку повітря.

$$\alpha_T = V_{П.Ф} / V_П , \qquad (5)$$

де $V_{П.Ф}$ – фактичний об'єм повітря, поданого в камеру згорання котла на 1 кг палива, $V_П$ – теоретичний об'єм повітря.

Тоді,

$$V_{П.Ф} = \alpha_T \times V_П \qquad (6)$$

При роботі топок всіх видів необхідно постійно спостерігати за ефективністю процесів горіння по контрольно-вимірювальним приладах. На економічність роботи котла значний вплив мають втрати тепла від хімічної неповноти згоряння палива. Величина втрат залежить в основному від кількості повітря, що надходить в топку.

Як відомо, ККД котла за зворотнім балансом рівний:

$$\eta = 100 - q_2 - q_3 - q_5 , \qquad (7)$$

Де q_2 – % втрати тепла з вихідними газами,

q_3 – % втрати тепла від неповного згорання,

q_5 – % втрати тепла в навколишнє середовище.

У цій формулі нас цікавить тільки q_2, q_3. Оскільки α не впливає на q_5. При нестачі повітря з'являється хімічний недопал. Він пояснюється появою в продуктах згоряння чадного газу – СО, сажі, водню – H_2, а в деяких випадках і CH_4. При цьому виділяється лише частина теплоти згорання. Тому і говорять про хімічний недопал.

При цьому з власного досвіду отриманого на ДП КАЗ відомо, що при зниженні втрат тепла з димовими газами - q_2 збільшуються втрати q_3 і згідно з формулою ККД буде різко падати. До того ж робота котла при хімічному недопалі навіть за невеликий час призведе до зниження тепловіддачі, як наслідок відбудеться істотне зниження теплопродуктивності котла і його ККД.

При надлишку повітря паливо згорає повністю, але частина теплоти витрачається на підігрів зайвої кількості повітря. Відбувається зниження температури вихідних газів і внаслідок цього зниження теплової потужності котла та його ККД. Отже при оптимальному значенні α ККД буде рости, внаслідок зменшення втрат q_2, і відсутності втрат q_3.

На рисунку 5 показана залежність втрат q_3 від α промислового котла ДКВр-4-13 на газо генеруючому паливі. Втрати q_2 при α ≥1,2 дорівнюють нулю.

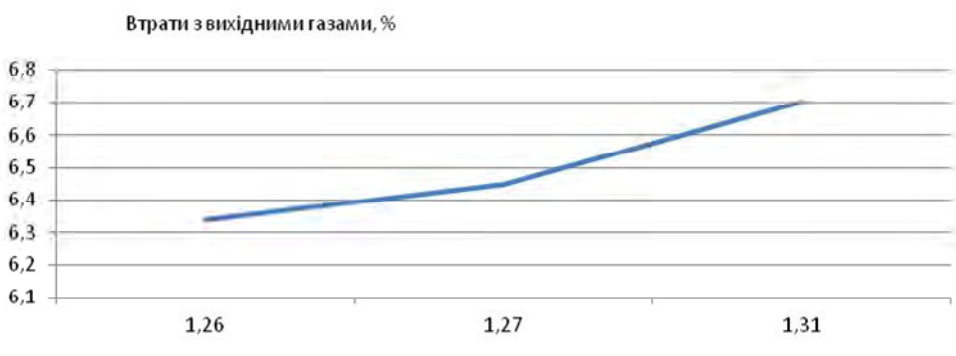

Рис. 5. Залежність втрат тепла від коефіцієнта надлишку повітря

Як видно з графіка, із зменшенням α помітно зростають втрати q_3, особливо при нижніх межах величин α, але знижується q_2, і навпаки, зі збільшенням α величина q_3 зменшується, але різко зростають втрати q_2.

Як бачимо, оптимальна величина буде відповідати випадку, коли сумарні втрати $q_2 + q_3$ будуть мінімальними. В таблиці 1 наведені дані замірів. Для вибору оптимального значення коефіцієнта надлишку повітря (α) було проведено серію дослідів при однаковій загрузці в 77% (так звані приблизні досліди). Серія дослідів представлена на рисунку 1.6 і в таблиці 2. Краще починати з α більше необхідного. Так як буде точно відсутній хімічний недопал. При зниженні тиску повітря на пальники поступово знижуються α і q_2.

Робота котла стає більш економічною. При подальшому зниженню тиску повітря в певний момент з'являється хімічний недопал. Якщо далі знижувати тиск повітря, то q_3 росте дуже швидко. Приблизно точка початку зростання СО буде точкою низу оптимальної зони.

Таблиця 1

Зведені дані замірів

Номер досліду		1	2	3
Склад вихідних газів	$O_2, \%$	4.7	4,9	5,4
	CO, ppm	214	18	30
Склад вихідних газів	$O_2, \%$	4.8	5	5.5
	CO, ppm	202	40	57
Коефіцієнт надлишку повітря за котлом		1,26	1,27	1,31
Коефіцієнт надлишку повітря за водяним економайзером		1,27	1,28	1,32
Втрати з вихідними газами, %		6,34	6,45	6,7

У свою чергу якщо підвищувати тиск повітря на пальники α і q_2 ростуть. Але падає ККД і робота котла неекономічна. Якщо і далі піднімати тиск, то при дуже великому значені α почне з'являється хімічний недопал, і ККД впаде ще нижче. точка початку зростання q_2 буде точкою верху оптимальної зони.

Отже оптимальним варіантом буде дослід № 2. Налаштувавши режим горіння на оптимальне значення α ми можемо отримати підвищення q_2 і як наслідок пониження ККД. Що може бути причиною? Присоси повітря в топку і газохід котла.

Надмірний об'єм повітря збільшує опір тракту, викликає перевантаження димососів і зниження теплопродуктивності і ККД.

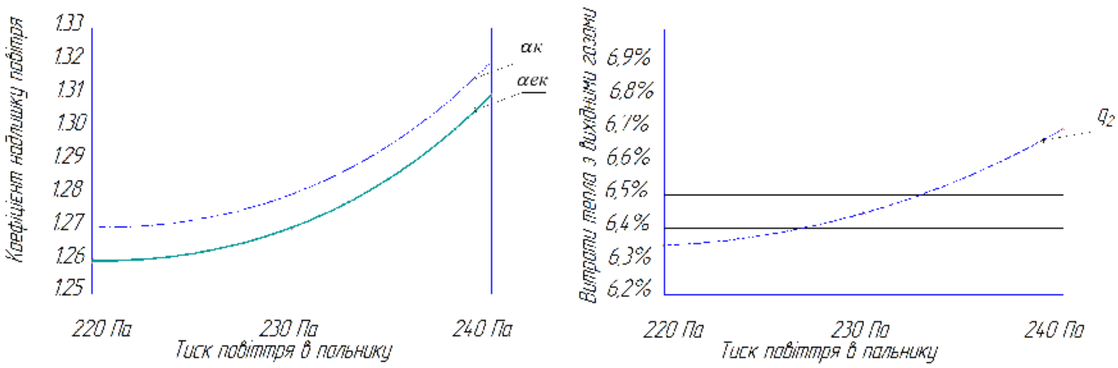

Рис. 6. Графіки залежності $\alpha к$, $\alpha ек$, q_2 від тиску повітря в пальнику

Таблиця 2

Дані для розрахунку

	До	Після
Температура вихідних газів за В.Е.	158,7	152
Коефіцієнт надлишку повітря за В.Е.	1,34	1,28
Втрати з димовими газами	7,02	6,41

Зниження температури газів внаслідок зайвого надходження холодного повітря, що зменшує кількість тепла яке передається випромінюванням.

За експертними оцінками та практичним дослідом, встановлено, що збільшення притоку повітря в камеру згорання на 0,1 знижує кількість віддачі тепла на 4-5%. Зменшення поглинальної здатності тепла поверхнями теплообміну нагрівача викликає перевантаження конвективних поверхонь, чим впливає на температуру димових газів, а саме підвищує температуру.

Наприклад, приток повітря в камеру згорання на $\Delta\alpha = 0{,}1 - 0{,}2$ підвищує температуру газів на $4 - 8\ ^{\circ}C$.

Присоси повітря в газові канали котла знижують температуру вихідних газів в зоні присосів та знижують кількість тепла, переданого поверхнями теплообміну, розташованих за місцями присосу.

Використовуючи таблицю 2 проведено розрахунок. Зменшуючи приток повітря в камеру горіння можна зменшити q_2 і підвищити ККД. Дані взяті з РНІ котла ДКВР-4-13 при навантаженні в 77% від максимуму.

Зниження втрат q_2 визначаємо за формулою:

$$\triangle q = \left(\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_1} \right) + \left(\frac{t_1 - t_2}{t_1} \right) \times q_2 \qquad (8)$$

де α_1 – коефіцієнт надлишку повітря до зменшення присосів повітря;

α_2 – коефіцієнт надлишку повітря після зменшення присосів повітря;

t_1 – температура вихідних газів за В.Е. до зменшення присосів;

t_1 – температура вихідних газів за В.Е. після зменшення присосів.

$$\triangle q = \left(\frac{1.34 - 1.28}{1.34} \right) + \left(\frac{158.7 - 152}{158.7} \right) 7.02 = 0.61\% \qquad (9)$$

В результаті зниження притоку повітря ККД котла покращується на 0,61%.

На основі патентного пошуку та власного досвіду була запропонована наступна конструкція механізму запирання камери згоряння твердопаливного котла (рис. 7). Механізм складається з 21-ї деталі. Більшість деталей є рухомими для забезпечення регулювання дверей.

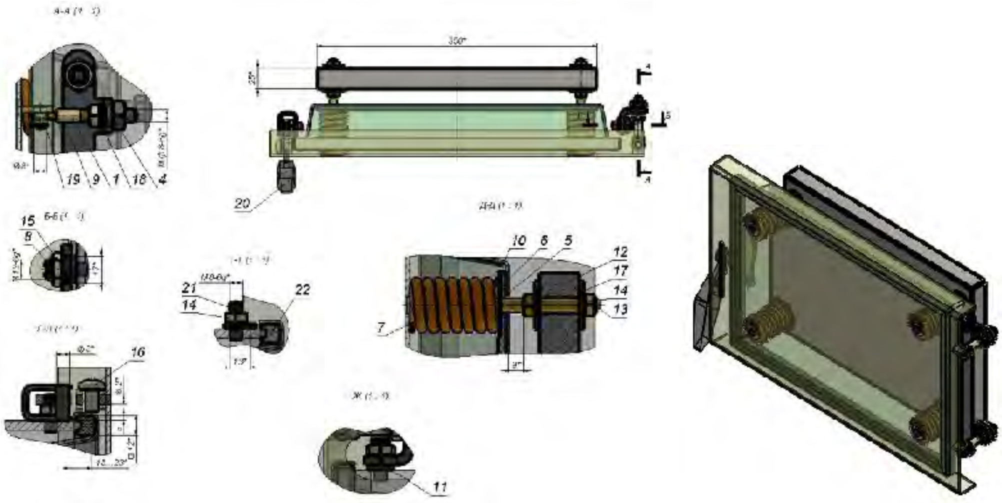

Рис. 7. Механізм запирання котла

Основною складальною одиницею дверей , на яку фіксуються більшість деталей являється дверцята (поз. 2). Дверцята оснащені чотирма втулками з внутрішньою різьбою для кріплення деталей поз. 5, 6, 7, 10, 12, 13, 14, 17. На зовнішній діаметр втулок монтуються пружина (поз. 7), після чого встановлюється упорна шайба (поз. 10).

Після монтажу упорної шайби (поз. 10) одівається екран (поз. 5) з попередньо вмонтованою базальтовою прокладкою, для теплоізоляції пружин від дії тепла в камері згорання котла. Після монтажу екрана монтуються чотири гвинта (поз. 13) які «зшивають» встановлені деталі та дверцята (поз. 2). Після монтажу гвинта (поз. 13) на упорну грань шестигранної частини гвинта одівається шайба (поз. 17) на верх якої вмонтовується шамотна плита (поз. 12) з попередньо зробленими отворами $\varnothing 10$ мм. Шамотна плита фіксується шайбою (поз. 17) та гайкою М8 (поз. 14). Використання шамотної плити знижує вплив температури на механізм, що збільшує експлуатаційний період. Гвинтами (поз. 13) регулюється стискання пружин (поз. 7) та екрана (поз. 5) до дверцят (поз. 2).

Механізм повороту складається з скоби (поз. 9) яка кріпиться на шпильки М8, що попередньо зафіксовані в корпусі котла. Але попередньо на верхнє кріплення накручується регулятор відхилення (поз. 8). На нижнє кріплення одівається шайба (поз. 11) для вирівнювання скоби (поз. 9). Після чого скоба фіксується двома гайками (поз.14 та поз. 15). Після закріплення скоби (поз. 9) через отвори в ній проходять гвинти (поз. 1) з накрученою гайкою (поз. 14). З іншої сторони фіксується накручується гайка натягу (поз. 4), що дозволяє регулювати виліт гвинта (див. переріз А-А).

Після складання механізму повороту необхідно за допомогою осей (поз.) навісити двері через отвори в вушках на гвинтах (поз. 1). Після навішування дверей за допомогою упорної шайби (поз. 19) зафіксувати осі для запобігання вильоту.

Після монтажу дверей на гвинти встановити в паз в дверях ручку котла (поз. 20) та зафіксувати гвинтом (поз. 16).

При закриванні дверей термоізоляційний шнур (поз. 22), що знаходиться в канавці екрана (поз. 5) впирається в вікно котла. Після чого пружини (поз. 7) стискаються та створюють необхідне зусилля для герметичності котла. Екран (поз. 5) від дією сил стискання пружин деформується та приймає потрібну форму. Регулювання куту нахилу дверцят відносно горизонту здійснюється за допомогою регулятора відхилення (поз. 8) провертаючи його по внутрішній різьбі. Регулювання притискання дверей здійснюється через переміщування гайки (поз. 14) та гайки натягу (поз. 4) по різьбі гвинта (поз. 1).

Для забезпечення герметичності камери згорання та ревізійної камери використовуємо термоізоляційний шнур IZOPAK-57 квадратного профілю 12x12 мм. Відповідно до технічних характеристик наданих виробником, необхідне зусилля для забезпечення герметичності при використані термоізоляційного шнуру IZOPAK-57 0,3…0,4 МПа.

Для розрахунку необхідного зусилля запирання дверей потрібно визначити площу контакту термоізоляційного шнура IZOPAK-57 та корпусу котла. З попереднього розділу відомо, що внутрішні розміри вікна котла 250x390 мм, товщина стінки металу 6мм. Площа контакту визначається за формулою (мм^2):

$$S_k = 2((l+2t)t + h\times t) = 2((390+2\times 6)6 + 250\times 6) = 7824 \qquad (10)$$

Для розрахунку вибираємо більше значення, для точного забезпечення герметичності котла при роботі. Також для надійності при розрахунку деталей навантаження збільшимо на 25% для надійності.

На рисунку 1.8 схематично розміщені точки кріплення дверцят, на які буде розповсюджуватись навантаження від пружин.

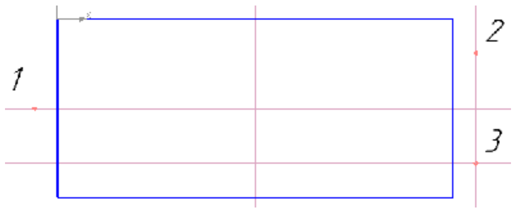

Рис. 8. Розміщення точок закріплення механізму запирання

Оскільки точки 1 та 2,3 розміщені симетрично відносно центра вікна котла, то для спрощення розрахунку приймаємо, що зусилля яке виникає в точці 1 дорівнює сумарному зусиллю в точці 2 та 3. Також, оскільки точки 2 та 3 розташовані симетрично відносно центра вікна то приймаємо, що зусилля в цих точках рівне.

$$P_1 = P_2 + P_3; \quad P_2 = P_3. \qquad (11)$$

Сумарне зусилля, що виникає при роботі пружин стискання дорівнює:

$$P_{сум} = S\times P_{ш}; \quad P_{сум} = 7824\times 0,4; \quad P_{сум} \approx 3130H. \qquad (12)$$

Враховуючи коефіцієнт запасу міцності 1,25 ми отримуємо:

$$P_p = P_{сум}\times 1.25 = 3130\times 1.25 = 3912H. \qquad (12)$$

Зусилля які виникають в точках 1,2 та 3 дорівнюють:

$$P_1 = P_p / 2 = \frac{3912}{2} = 1956H.$$
$$P_2 = P_3 = \frac{P_1}{2} = \frac{1956}{2} = 978H. \qquad (12)$$

Висновки

На основі аналізу існуючих конструкцій твердопаливних котлів запропонована нова конструкція механізму запирання котла, що забезпечує стабільне герметичне запирання камери згорання за рахунок податливого екрану та можливості регулювання відносно вікна в трьох напрямках. Отримані результати передано для впровадження на ДП КАЗ (м. Красилів) при проектуванні та серійному випуску твердопаливних котлів «Корді».

Література

1. Трембовля В. И. Теплотехнические испытания котельных установок / В. И. Трембовля, Е. Д. Фигнер. – М. : Энергия, 1977. – 296 с.

2. Стаскевич Н. Л. Справочник по газоснабжению и использованию газа / Стаскевич Н. Л. – Л. : Недра, 1990. –762 с.

3. Янкелевич В. И. Наладка газа-мазутных промышленных котельных / В. И. Янкелевич. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 216 с.

4. Равич Р. Б. Эффективность использования топлива / Равич Р. Б. – М. : Наука, 1977. – 344 с.

References

1. Trembovlia V. Y. Teplotekhnycheskye yspytanyia kotelnыkh ustanovok / V. Y. Trembovlia, E. D. Fyhner. – M. : Enerhyia, 1977. – 296 s.

2. Staskevych N. L. Spravochnyk po hazosnabzhenyiu y yspolzovanyiu haza / Staskevych N. L. – L. : Nedra, 1990. – 762 s.

3. Iankelevych V. Y. Naladka haza-mazutnykh promыshlennykh kotelnykh / V. Y. Yankelevych. – M. : Enerhoatomyzdat, 1988. – 216 s.

4. Ravych R. B. Effektyvnost yspolzovanyia toplyva / Ravych R. B. – M. : Nauka, 1977. – 344 s.

Рецензія/Peer review : 16.02.2018 р. Надрукована/Printed :27.03.2018 р.
Стаття рецензована редакційною колегією