

Дослідження теплоаеродинаміки шахтних зерносушарок Грейн-Хендлер І.Гапонюк (d-p техн-х наук, проф. НУХТ, м. Київ, nuft2016@gmail.com)

Анотація: виконано аналіз особливостей сучасних сушарок *GH*, наведено порівняльні дані відповідності паспортних показників цих сушарок розрахунковим і фактичним, відмічено відмінності американських та вітчизняних сушарок, особливість їх роботи в Україні.

Ключові слова: сушіння, зерно, теплота, тепло-аеродинаміка.

Стрімкий розвиток вітчизняної зернової індустрії зі збільшення врожаю від 30 млн т зерна та лише кількомільйонного його експорту, до понад 60 млн. т урожаю та експорту більше 35 млн.т. можна простежити в кілька етапів. Першому характерним є інтенсивне нарощування металозбірних ємностей, досвід з виготовлення яких у вітчизняних машинобудівельних підприємств був відсутній. Другому відповідає нарощування продуктивності транспортного та технологічного устаткування післязбиральної обробки зерна і третьому – поява аналогів закордонному високопродуктивного обладнання вітчизняного виробництва. Факторами стрімкого оновлення зернозаготівельного господарства стали 140 % дефіцит ємностей і майже 150 % сушильних потужностей та значні інвестиційні потоки. І вже на сьогодні ми в себе вдома можемо бачити непоодинокі найсучасніші в світі елеватори.

На першому етапі, з появою на вітчизняному ринку сучасних американських та європейських металозбірних ємностей для зерна, отримання позитивного досвіду їх експлуатації та особливо цінової їх привабливості кардинально змінився світогляд та технічну політику великих зернових господарств щодо інтенсифікації власної діяльності за рахунок іноземної техніки. Якщо до очікуваних переваг іноземної техніки й зернових ємностей вітчизняний споживач був готовий, то конкурентоспроможність їх цінових показників з вітчизняними аналогами, особливо заокеанської, дійсно шокував.

Утверджена думка, що суттєві технічні переваги закордонного устаткування гармонізують із значно вищою їх ціною, порівняно із вітчизняними аналогами, на практиці не підтвердилася. Нижче пропонуємо розглянути деякі особливості застосування та відмінності високопродуктивних зерносушарок Грейн-Хендлер (*GH*), виробництва США, їх техніко-технологічні переваги та цінова конкурентоспроможність.

Поруч із цим слід відмітити, що інтерес до зерносушильної техніки світових лідерів, до яких відносять устаткування США, пов'язують не лише із економічними показниками діяльності вітчизняних елеваторів, а й із можливістю машинобудівельних підприємств України удосконалити своє устаткування.



Рис.1. – Зовнішній вигляд зерносушарки *GH* на елеваторі.

Способи приведення зерна зібраного урожаю в стійкий стан зберігання в США подібні нашим вітчизняним. Для цього застосовують різноманітні способи зневоднення та конструкції зерносушарок. Найпоширенішим, як і у вітчизняній практиці, є конвективний спосіб із застосуванням нагрітих до заданої температури робочих газів.

За сприяння агрохолдингу з іноземними інвестиціями та представництва Грейн-Хендлер в Україні, автори отримали можливість у виробничих умовах комплексно дослідити показники високопродуктивних зерносушильних агрегатів моделі *GH* (США).

Зовнішній вигляд сушарки, пальника та напрямки переміщення робочих газів представлено на рис.1. Оригінальна технічна характеристика сушарок модельного ряду *GH-510...GH-4024*, забезпечує досить широкий діапазон продуктивності від 10 до 240 пл.т/год (табл.1). Сушарки вказаного модельного ряду можуть успішно застосовуватися як у невеликих і середніх фермерських

господарствах, так і в потужних зернозаготівельних підприємствах до 5-ти більше тисяч тон за добу сушіння зерна.

Табл.1 – Технічна характеристика зерносушарок модельного ряду GH

Модель сушарки GH	Продуктивність, т/г		Кількість вентиляторів	Загальна ємність, т
	5%	10%		
810	14	9	2	18
812	16	10	2	21
816	20	13	2	26
1210	21	14	3	27
1212	24	16	3	31
1216	30	20	3	39
1610	28	18	4	36
1614	36	23	4	47
1616	40	26	4	53
1620	49	32	4	63
1624	57	37	4	74
2410	42	27	6	55
2412	48	31	6	63
2416	61	39	6	79
2420	73	48	6	95
2424	86	56	6	111
3216	81	53	8	115
3218	89	58	8	119
3220	98	63	8	126
3222	106	69	8	129
4016	101	66	10	131
4018	111	72	10	145
4020	122	74	10	158
4022	132	86	10	172
4816	121	79	12	158
4818	134	87	12	174
4820	146	95	12	190
4824	171	111	12	222

Зерносушарки GH відносять до шахтного типу, прямотечійні, одноконтурні, розраховані на сушіння більшості плодів зернових, бобових та олійних культур широкого діапазону вологості та різного цільового використання, в тому числі насінневого. Стан рухомості шару зерна в шахтах, подібно як і в більшості зерносушарок вітчизняного виробництва, малорухомий. Швидкість його гравітаційного переміщення в сушарці коливається від 0,1 до 0,7 м/с та перебуває в зворотній залежності від початкової вологості, хімічного складу, розмірів тіла зернин та цільового використання зерна (насінневого призначення, продовольчого чи на фуражні потреби). Вказана швидкість руху шару зерна забезпечує його від нерівномірності сушіння в сушарці GH, а отже і від його пошкодження та перевитрат теплоносія й мінімальні ризики пожежовибухобезпеки. Широкий діапазон швидкості пошарового переміщення зерна забезпечує різну тривалість його сушіння і інтервал сушіння від 17 до 41 %.

Поєднання вдалого розташування і конструкції пальника між сушильними шахтами (рис.2) у поєднанні із вирівняним полем газоповітряного струменю, на відмінність від більшо-



Рис.2. – Зовнішній вигляд та розташування пальника між шахтами зерносушарки GH

стості аналогічних сушарок, виключає непродуктивні втрати теплоти. Досвідчений сушарщик при першому ж досвіді роботи з сушаркою GH відмічає переваги застосування діаметральних вентиляторів (рис.3). Вони найкраще забезпечують рівномірне пошарове сушіння в горизонтальних та, що особливо важливо, вертикальних площинах шахт сушарки. Для прикладу в деяких шахтних зерносушарках сучасних європейських виробників автори відмічали нерівномірність пошарового теплового потоку до 25 % в горизонтальних та до 35 % - вертикальних площинах. Особливості аеродинамічної характеристики цих вентиляторів мінімізують ризики формування турбулентних зон та дозволяють рівномірно управляти полем швидкостей теплових потоків в заданому діапазоні від 100 до 25 % продуктивності вентиляторів. Попри те, що саме завдяки таким особливостям діаметральних вентиляторів, як можливість суттєво зменшити ризики нерівномірності нагрівання та сушіння зерна в шахтах, забезпечувати вирівняну швидкість відпрацьованих газів із газовідвідних коробів, плавно змінювати енергію течії робочих газів у відповідності з парусною швидкістю різних зернових культур і насіння соняшника, - ці вентилятори у інших моделях сушарок європейського та вітчизняного виробництва, на жаль, ще вкрай рідко застосовують. На перевагу цих вентиляторів свідчать також вдвічі менші питомі енерговитрати з переміщення сушильних газів, порівняно із відцентровими вентиляторами, та до 25 % - вісьових.

Широкий діапазон продуктивності модельного ряду сушарок GH від 10 до 240 пл.т за годину забезпечується перемінними розмірами тепловологообмінної камери та кількістю й продуктивністю повітрорудних машин. Тут варто відмітити, що за одну планову тону в американських сушарках, подібно як і європейських, прийнято зневоднення однієї тони зерна пшениці не на 6 %, як у вітчизняних, а лише на 5 %. До цього ж кінцеву вологу встановлено закордонними стандартами 15 %, проти вітчизняних 14 %, що слід мати на увазі.



Рис.3. – Зовнішній вигляд діаметрального вентилятора зерносушарки GH

Технологічні схеми та принцип роботи й управління різними сушарками модельного ряду GH є подібні. Аналогічно більшості європейських модульних сушарок, застосування в GH унікальних конструктивних елементів тепловологообмінної камери дозволяє у виробничих умовах змінювати продуктивність робочої зерносушарки зміненням розмірів сушильної камери із внесенням, при потребі, коректив щодо фундаменту та теплоаеродинамічних її показників. Вказана особливість дозволяє корегувати планову продуктивність сушарки на елеваторі з кроком у 3,6 пл.т. за год. Більш як у двічі менша вага конструктивних елементів сушарки, тих же самих секцій, порівняно із вітчизняними типу ДСП, суттєво полегшують та здешевлюють роботи з коригування продуктивності сушарки, або її ремонту.

Найвагомішою особливістю сушарок GH, і це слід окремо виділити, є відповідність її паспортних показників роботи експлуатаційним, виробничим. Якщо випадки відмінності паспортних показників ряду європейських сушарок від виробничих до 40 % стали вже непоодинокими, а пояснення цього їх продавці непереконливо пояснюють особливістю умов роботи вітчизняних сушарок, то це свідчить про те, що сушарки GH є більш надійними та ефективними.

чизняних елеваторів чи зернових культур, то за результатами авторських досліджень у виробничих умовах американського устаткування *GH*, останнє у своїй більшості не грішило цим недоліком. Особливо це стосується питомих витрат теплоносія (МДж/1т·1%), які у окремих європейських зерносушарках не узгоджуються навіть із законами фізики щодо фазових перетворень вологи, та питомої вартості продуктивності сушарки (€/1т·1%).

Щодо інших теплоаеродинамічних особливостей сушарок *GH*. Завдяки більшій площі поперечного перетину газовідвідного/підвідного коробів на 35 %, меншій їх довжині на 24 % та майже вдвічі більшому відношенні площі перетину короба до його довжини ($1,73 \cdot 10^{-2}$ м) (рис.3) порівняно із вітчизняними аналогами ($9,8 \cdot 10^{-3}$ м), обумовлюють значно більшу тривалість міжфазової взаємодії, менші втрати енергії течії робочих газів, кращу пошарову рівномірність тепло-вологообміну, менші швидкість витоків робочих газів із газовідвідних коробів та рівень забруднення доквілля.

Геометричне виконання коробів (кути нахилу $55^\circ \times 55^\circ \times 70^\circ$ (рис. 4, 5) та перекриття їх



Рис. 4. Геометрія газо-розподільчого короба зерносушарки *GH*

нижньої площини (заглиблення) на 0,02м від нижнього рівня газовідвідного отвору суттєво зменшують ризик куполоутворення в міжкоробному просторі шахти та винесення зерна із сушильної камери разом із відпрацьованими робочими газами. У виробничих умовах експлуатації *GH* корегуванням енергії течії робочих газів повністю виключається ризик виносу зерна, навіть соняшника і ріпаку, із сушильних коробів.

Відомо, що на показники питомих витрат теплоносія суттєво впливає траєкторія руху робочих газів в шарі зерна, яка обумовлена його товщиною і опосередковано може характеризуватися коефіцієнтом k_v , що виражає співвідношення об'єму газо-

розподільчих коробів до об'єму тепловологообмінної камери. Тому завдяки порівняно більшій товщині шару зерна в зернозневоджуваній шахті (0,170...0,220 м), коефіцієнт k_v сушарок модельного ряду *GH* вдвічі менший від аналогічних ряду шахтних сушарок і становить лише $k_v = 10,0$ %, що обумовлює вдвічі більшу тривалість міжфазової взаємодії, покращує потенціал використання сушильних газів та обумовлює менші питомі витрати енергоносія.

Характер подачі вологого зерна в зерносушильну шахту та виведення із неї сухого – неперервний. Такий стан рухомості шару зерна, порівняно із періодичним у більшості вітчизняних аналогів та ряду закордонних, обумовлює менший рівень забруднення доквілля. Проте неперервний характер руху шару зерна в теплообмінній камері, особливо за умов сушіння надміру вологого зерна, може спричинити утворення «застійних» зон і цим самим погіршувати пожежебезпечний стан роботи зерносушарки. Тому сушарки цих конструкцій потребують більшої уваги з зачистки порівняно із вітчизняними аналогами.

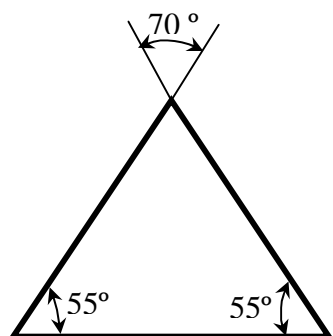


Рис. 5. Геометрія газо-розподільчого короба

Сушильні гази сушарок *GH* отримують змішуванням продуктів спалювання газу із повітрям доквілля в заданому співвідношенні, подібно як і в більшості відомих конструкцій зерносушарок вітчизняного та європейського виробництва. Однак сам палик, як уже вище відмічалось, розміщений безпосередньо в

нижній частині газорозподільної шахти сушарки, по всій її довжині. Таке розташування обумовлює мінімальні теплові та аеродинамічні втрати на переміщення робочих газів до газорозподільних коробів (рис.1 а). Попри вказане розташування палика, сушарка досить пожежебезпечно функціонує, що, скоріше за все, можна пояснити продуманими конструктивними рішеннями тепловідображальних екранів, низькотемпературними режимами сушіння, аеродина-

мічними особливостями течії робочих газів, характером переміщення шару зерна в сушильній камері та технічним наглядом інженерної служби підприємства.

Рідко в якій іншій конструкції сушарок серед вітчизняних, європейських, північно- чи південноамериканських виробників можна зустріти подібні Грейн-Хендлеру теплоаеродинамічні показники. Їх забезпечують розташовані в один ряд і безпосередньо під газорозподільною камерою. До цього ж значно м'якші температурні режими сушіння робочими газами (до 120 °C (248 °F)) сприяють керованості в часі тепловологообмінними процесами та покращують енергетичні й технологічні показники цих сушарок. Так, для сушіння зерна кукурудзи жовтої температури робочих газів рекомендовано дотримуватися в межах 93...110 °C, кукурудзи білої – 82...93 °C, фуражної пшениці – 82...93 °C, вівса – 71...88 °C, а соняшника насінневого лише 49...57 °C.

Для перевірки відповідності показників роботи сушарки вказаним в технічному паспорті до неї, нами були виконані відповідно теплові, аеродинамічні та технологічні розрахунки. З врахуванням особливостей теплоутворюючої спроможності природного газу вітчизняних поставок зазначені в технічному паспорті сушарки показники представлено вірно. З огляду на конструктивні особливості пальника сушарки (670 отворів Ø2,25 мм по всій його довжині) та тиск в газопроводі (0,4 кг/см²), потенціал пальника повністю задовольняє потреби сушарки і для встановленого режиму сушіння його потужність використовується лише на третину. Це важливо з огляду на можливість подальшого збільшення продуктивності сушарки.

Для кращого сприйняття особливостей тепло аеродинамічних показників шахтних сушарок американського виробництва, з метою уникнення складностей зі сприйняттям викладеного матеріалу, ми в даній статті уникали детального порівняльного аналізу особливостей техніко-технологічних сушарок інших виробників. В подальшому, в разі зацікавленості та згоді сторін можуть бути проаналізовані особливості технічних та експлуатаційних показників різних брендів в порівняльній формі.

Висновки: 1. Мінімальні втрати теплоти та енергії робочих газів забезпечено за рахунок максимального наближення пальника до зневоджуваного зерна, в міжшахтному просторі сушарки.

2. Робочі гази подаються в сушильні зони, в залежності від структурно-механічних Властивостей зерна, під тиском 0,8... 1,4 кПа;

3. Швидкість сушіння зерна на початковому етапі сушіння у *GH* більша від європейських аналогів до 20 % і досягається за рахунок швидшого нагрівання зерна;

4. Характер вивантаження зерна із сушильних шахт зменшує сушарки *GH* зменшує значення пікових швидкостей відпрацьованих газів до 30 % і відповідно забруднення доквілля;

5. Наявність тепло аеродинамічних потоків відпрацьованих газів обумовлює нашарування аеродинамічних домішок на поверхні сушарки;

6. Діапазон швидкості пошарового руху зерна в шахтах сушарки 0,1 – 0,7 м/с дозволяє в десятикратному діапазоні управляти продуктивністю сушарки і сушити зерно різного хімічного складу, цільового призначення та вологості в діапазоні 16 – 40 % за один прохід;

7. Особливість конструкції повітродувних машин та пальників ускладнює їх ремонт;

8. Зменшити втрати теплоти зерносушарок модельного ряду *GH* можна усуненням природного фактора впливу доквілля, облаштуванням укриття, зміненням способу підведення робочих газів та рекуперацією теплоти частки відпрацьованих газів.

Література:

1. Флауменбаум Б.Л. Основы консервирования пищевых продуктов / Б.Л. Флауменбаум, С.С. Танчев, М.А.Гришин // М.: Агропромиздат., – 1986. – 494 с.

2. baninternational.us.

3. Chuanping Liu. Size distribution in gas vibration bed and its application on grain drying / huanping Liu, Li Wang, Ping Wu, Fei Xiang// Powder Technology, Volume 221, May 2012, Pages 192-198.