

Andrzej HEIM, Marek TOMALCZYK

e-mail: heim@wipos.p.lodz.pl

Katedra Aparatury Procesowej, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska, Politechnika Łódzka, Łódź

## Konstrukcja przeponowej chłodziarki cukru

### Wstęp

Praca jest kontynuacją cyklu prac [1–3] dotyczących konstrukcji aparatów do suszenia i chłodzenia materiałów ziarnistych (wdrażanych głównie jako suszarki i chłodziarki cukru). Dotychczas były to aparaty fluidalne, w których fluidyzacja jest wspomagana procesem mieszania (suszarki) lub tego nie wymaga (chłodziarki). Procesy wymiany ciepła i masy w warstwie fluidalnej charakteryzuje doskonale rozwinięcie powierzchni międzyfazowej i znaczne gradienty prędkości na granicy faz, co korzystnie wpływa na proces podstawowy. W procesie fluidalnym można również oddzielić frakcję ziaren o najmniejszej granulacji, która na ogół pogarsza jakość produktu. Procesy fluidalne wymagają jednak instalacji wentylatorów dużych mocy, o znacznych strumieniach, zdolnych do pokonania oporów przepływu przez sito i samą warstwę fluidalną. Zgodnie ze światowym trendem oszczędzania energii, również ze względów ekologicznych, zaczęto tam, gdzie to możliwe zastępować urządzenia fluidalne udoskonalonymi suszarkami bębnowymi i przeponowymi wymiennikami ciepła do materiałów ziarnistych. W pracy opisano konstrukcję przeponowego wymiennika ciepła wdrożonego do chłodzenia cukru w 2009 roku w *Cukrowni Strzelin* należącej do koncernu *Südzucker Polska S.A.*

### Przeponowe wymienniki ciepła dla materiału ziarnistego

Jest znanych wiele rodzajów przeponowych wymienników ciepła do czynników płynnych, takich jak wymiennik płaszczowo-rurowy lub płytowy *DeLaval*. Budowa przeponowego wymiennika do materiału ziarnistego w zasadzie nie różni się od tych konstrukcji, z tym zastrzeżeniem, że ma on kształt kolumny a rozmieszczenie elementów z cieczą chłodzącą (rurek, płyt) musi umożliwiać pionowy, grawitacyjny przepływ materiału ziarnistego. Spełnienie tego zastrzeżenia narzuca w praktyce szereg ograniczeń – przykładowo nie można stosować poziomych den sitowych.

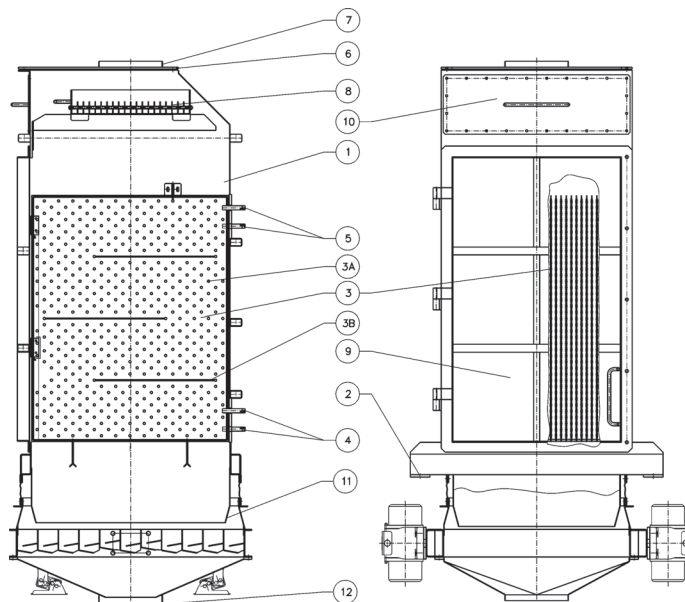
Podstawowym warunkiem prawidłowej pracy wymiennika jest jednak zapewnienie *tłokowego* przepływu materiału ziarnistego w kierunku wylotu, dlatego lokalne opory przepływu w różnych punktach poziomych przekrojów wymiennika muszą być podobne. Oznacza to również konieczność, albo bardzo równomiernego zasilania wymiennika na całej powierzchni jego przekroju poziomego nad elementami chłodzącymi, albo takiego samego odbioru materiału ziarnistego na dole. Łatwiej jest zrealizować drugi sposób polegający na równomiernym odbiorze ziaren na całej powierzchni poziomego przekroju wymiennika. Dostępne w kraju dozowniki materiałów sypkich [4] nie spełniają tych wymagań i dlatego konieczne było opracowanie własnej konstrukcji.

### Konstrukcja przeponowej chłodziarki cukru

W chłodziarce cukru, która jest przedmiotem niniejszego artykułu zastosowano kolumnowy, płytowy wymiennik ciepła z płytami holenderskiej firmy *Daussiny* oraz oryginalne [5] własnej konstrukcji urządzenie do odbioru cukru, które w dalszej części pracy będzie nazywane dozownikiem.

Konstrukcję chłodziarki przedstawiono na rys. 1. Pionowo usytuowany korpus 1 chłodziarki, prostokątny w przekroju poziomym, o wymiarach 850 mm (szerokość) × 1000 mm (głębokość) × 2400 mm (wysokość) spoczywa na łapach 2.

Wewnątrz korpusu są zamocowane równoległe pionowe płyty chłodzące. Płyty te są zbudowane z dwóch prostokątnych blach – 3 zgrza-



Rys. 1. Chłodziarka cukru (opis w tekście)

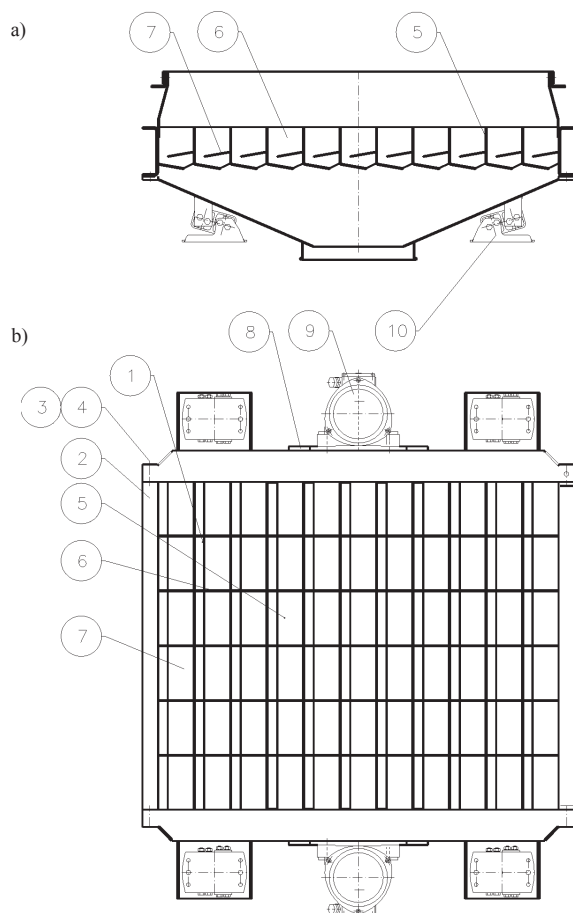
nych liniowo na obwodzie i punktowo na całej powierzchni. Przestrzeń między płytami przeznaczona dla cieczy chłodzącej jest formowana hydraulicznie. Każda płyta jest wyposażona w jeden króciec dolotowy – 4 i jeden króciec wylotowy – 5. Spoiny punktowe – 3A zapewniają płytce odpowiednią wytrzymałość a dodatkowe spoiny liniowe – 3B pełnią rolę przegród rozprowadzających ciecz po całej powierzchni płyty.

W górnej pokrywie – 6 chłodziarki umieszczono króciec zasypowy – 7 a pod nim ruszt – 8. Jedna z węższych ścian chłodziarki jest zaopatrzona w drzwi – 9, które umożliwiają montaż i wymianę płyt. Nad drzwiami – 9 znajduje się właz – 10 przeznaczony do czyszczenia rusztu – 8. W dolnej części chłodziarki ściany korpusu tworzą lej – 11 zagłębiony w dozowniku.

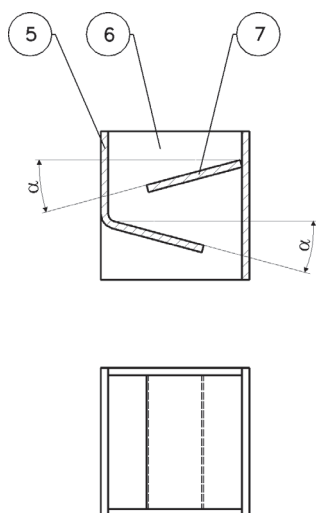
Konstrukcję dozownika przedstawiono na rys. 2. Rzut a) przedstawia pionowy przekrój wzdłużny poprowadzony przez płaszczyznę symetrii dozownika a rzut b) widok z góry na dozownik.

Usytuowana poziomo prostokątna rama dozownika składa się z dwóch belek wzdłużnych – 1 oraz dwóch poprzecznych – 2. Do belek – 1 są mocowane, równo wzdłuż nich rozmieszczone, pionowe przegrody – 5, zagięte na dole pod kątem  $\alpha$  do poziomu w ten sposób, aby część pionowa i część zagięta przegrody tworzyły ze sobą kąt rozwarty. Pomiędzy przegrodami – 5 umieszczono równo rozmieszczone wzdłuż belek – 2 pionowe blachy – 6 prostopadłe do przegród – 5 i szczelnie do nich przyspawane. Po przeciwnej do zagięcia stronie przegrody – 5, w odpowiedniej odległości od krawędzi zagięcia, umieszczono skośną półkę – 7 spawaną do przegród – 5 i blach – 6, tworzącą z poziomem również kąt  $\alpha$ . Do zewnętrznych pionowych ścian belek – 1 wzmocnionych blachami – 8, są mocowane wibratory bezwładnościowe – 9. Dozownik jest posadowiony na elastycznych podporach – 10 firmy *Rosta*.

Blachy – 5 i 6 tworzą prostopadłościenną komórkę (Rys. 3), zaopatrzoną zamiast dna w zagięcie blach – 5 i skośne blachy – 7. Kąt  $\alpha$  i geometria komórek są tak dobrane aby przy nieruchomym dozowniku cukier samoistnie nie zsypywał się w dół. Przepływ materiału przez dozownik jest spowodowany drganiami które wywołują wibratory.



Rys. 2. Dozownik (opis w tekście)



Rys. 3. Komórka dozownika (opis w tekście)

### Działanie chłodziarki

Wysuszony, gorący cukier jest podawany do chłodziarki króćcem zasypowym – 7 i zsypuje się poprzez ruszt – 8 do przestrzeni między-płytkowych, z których wypływ regulowany jest dozownikiem. Szybkość przepływu cukru przez dozownik zależy od parametrów jego drgań – amplitudy i częstotliwości. W przypadku wymuszania drgań wibratorami bezwładnościowymi, jak ma to miejsce w omawianej konstrukcji, amplituda drgań zależy od siły wymuszającej drgania, a częstotliwość drgań od prędkości obrotowej wirników wibratorów.

Siłę wymuszającą drgania można regulować (w granicach podanych przez producenta wibratorów) poprzez zmianę wzajemnego położenia nie wyważonych obciążników mocowanych do końców wału wibratora. Zwiększanie kąta pomiędzy osiami symetrii obciążników poprzez ich obrót na wale wirnika powoduje zmniejszenie wypadkowego niewyważenia zespołu wirnika z obciążnikami i skutkuje zmniejszeniem siły wymuszającej drgania.

Wibrator bezwładnościowy jest właściwie silnikiem asynchronicznym zwartym specjalnej konstrukcji i jego prędkość obrotową można regulować przy pomocy falownika zmieniającego częstotliwość prądu zasilającego wibrator.

Wymagana szybkość przepływu cukru przez dozownik podyktowana jest warunkami wymiany ciepła w wymienniku płytowym i zależy od temperatur cukru na wlocie i wylocie z wymiennika, temperatury cieczy chłodzącej oraz żądanej wydajności chwilowej.

Amplituda siły wymuszającej drgania może być regulowana tylko w czasie postoju. Jej wartość ustala się podczas prób w trakcie rozruchu urządzenia tak, aby zakres regulacji częstotliwości drgań za pomocą falownika był wystarczający z punktu widzenia procesu podstawowego.

W zaawansowanym rozwiązaniu falownik jest sterowany przez mikroprocesor na podstawie wskazań czujników temperatury umieszczonych na wlocie i wylocie cukru oraz czujnika poziomu cukru nad płytami. W uproszczonym – do mikroprocesora wprowadza się jedynie sygnał z czujnika poziomu cukru nad płytami.

Jednakowa geometria wszystkich komórek i jednakowe parametry drgań każdej komórki powodują, że przepływ materiału ziarnistego przez wymiennik ma prawie jednakowe natężenie na całej powierzchni przekroju poziomego przestrzeni międzypłytkowej, co ma kluczowe znaczenie dla osiągnięcia zadanych parametrów procesu chłodzenia.

Przeponowe chłodziarki cukru wymagają ścisłego przestrzegania reżimu technologicznego. Wilgotność chłodzonego cukru nie może przekraczać ustalonej wartości, temperatura wody chłodzącej na wlocie do wymiennika nie może być za niska. Nawet lokalne występowanie temperatury odpowiadającej punktowi rosy w przestrzeni między płytami jest niedopuszczalne.

### Próby eksploatacyjne i wnioski

Pierwszy egzemplarz urządzenia został przebadany w czasie kampanii cukrowniczej *Cukrowni Strzelin* należącej do koncernu *Südzucker Polska S.A.*

W czasie prób osiągnięto wydajność (poprzez zmianę częstości drgań dozownika) wynoszącą 28 t/godz., co pozwoliło na schłodzenie cukru o 5°C (od ok. 35 do 30°C). Badania oprócz wykazania poprawnej pracy aparatu pozwoliły również na oszacowanie wartości umownego współczynnika wymiany ciepła między wodą chłodzącą (przepływającą wewnątrz płyt wymiennika), a grawitacyjnie przemieszczaną warstwą cukru  $k = 200 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

Podsumowując, próby eksploatacyjne urządzenia wykazały poprawność jego działania, a uzyskane parametry w pełni spełniają wymogi dotyczące końcowej obróbki cukru.

### LITERATURA

- [1] A. Heim, M. Tomalczyk: Inżynieria Rolnicza, nr 9, 143 (2005).
- [2] M. Tomalczyk, A. Heim: Polish Journal of Food and Nutrition Sciences **57**, nr 2(A), 183 (2007).
- [3] M. Tomalczyk, A. Heim: Inż. Ap. Chem. **48**, nr 1, 120 (2009).
- [4] Zestawienie wybranych producentów i dystrybutorów dozowników: Powder & Bulk (Materiały sypkie i masowe), **6**, nr 3, 14 (2009).
- [5] M. Tomalczyk i inni: Dozownik materiałów ziarnistych. Zgłoszenie patentowe nr P-38931.

*Praca wykonana w ramach Działalności Statutowej W-10/12 /2010/ Dz.St*