

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **240113**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **418893**

(22) Data zgłoszenia: **28.09.2016**

(51) Int.Cl.

B29C 49/06 (2006.01)

B29C 49/12 (2006.01)

B29C 49/48 (2006.01)

B29C 49/78 (2006.01)

C03B 9/38 (2006.01)

C03B 9/41 (2006.01)

(54)

**Sposób i układ do kontroli procesu chłodzenia form
podczas formowania opakowań szklanych**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

09.04.2018 BUP 08/18

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

14.02.2022 WUP 07/22

(73) Uprawniony z patentu:

**LWN CONSTRUCTION
SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Wrocław, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**ALEKSANDER PINDA, Strzegom, PL
REINER GIESBERT, Springe, DE**

(74) Pełnomocnik:

rzec. pat. Anna Rożkowicz

PL 240113 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób kontroli procesu chłodzenia form podczas formowania opakowań szklanych oraz układ do realizacji tego sposobu. Przedmioty wynalazku mają zastosowanie w wytwarzaniu produktów ze szkła w szczególności opakowań szklanych, szkła medycznego oraz opakowań specjalnych.

Proces produkcji opakowań szklanych można podzielić na 3 główne etapy produkcji: wytapianie szkła (ang. melting), formowanie opakowań szklanych (ang. hot end), odprężanie, chłodzenie, kontrola jakości i pakowanie (ang. cold end). Produkcja opakowań szklanych zaczyna się zatem wraz z wytapianiem szkła w wannach szklarskich, jednak jednym z najistotniejszych etapów jest etap formowania (ang. hot end). Generalnie proces ten niezależnie od producenta i rodzaju produkowanych opakowań szklanych przebiega w ten sam sposób i w 80% globalnej produkcji jest zautomatyzowany. Proces ten realizowany jest przy użyciu dwurzędowych formujących automatów szklarskich typu IS (ang. individual section). Pozostałe 20% globalnej produkcji odbywa się półautomatycznie lub ręcznie, niemniej jednak światowy trend zmierza do prawie całkowitej eliminacji tego rodzaju produkcji.

Dwurzędowy automat szklarski zbudowany jest zazwyczaj z 6 do 12 niezależnych od siebie sekcji. Każda sekcja składa się z dwóch rzędów form, nazywanych: przedformami (ang. blank side), w których formowane są z kropli tzw. bańki (ang. parison), formami gotowymi (ang. blow side), w których formowane są ostateczne opakowania.

Zarówno formy zabudowane na przedformach oraz formach gotowych różnią się od siebie ze względu na użyty materiał do formowania, rodzaj chłodzenia, rodzaj produkowanego opakowania, typ zastosowanego automatu. Proces formowania na automatach IS sterowany jest za pośrednictwem sterownika elektronicznego. Każdy cykl produkcyjny opakowania podzielony jest na 360°, w których automat wykonuje szereg różnych czynności związanych z produkcją opakowania. Każda wykonywana czynność ograniczona jest przez określoną ilość stopni, w ciągu których jest ona wykonana. Jednostka czasu określająca cykl produkcyjny 360° określana jest przez prędkość cieciska kropli. Ustawienie prędkości z jaką odbywają się poszczególne zdarzenia nazywane jest timingiem i stanowi najważniejszą nastawę w procesie formowania. Sekcje w automacie formującym są sterowane niezależnie.

Oznacza to, że posiadają one indywidualny sterownik timingu, co umożliwia np. produkcję kilku różnych rodzajów opakowań szklanych z różnymi prędkościami produkcji na jednym automacie. Zadaniem form jest nie tylko nadanie kropli szkła odpowiedniego kształtu, ale również jego wychłodzenie do temperatury umożliwiającej formowanie. W automatach szklarskich możliwe jest zastosowanie następujących rodzajów chłodzenia form:

Sposób Vertiflow, Invertiflow – ogólna zasada działania każdego z wymienionych typów chłodzenia jest taka sama i odbywa się poprzez dostarczenie czynnika chłodzącego od dołu (vertiflow) lub od góry formy (invertiflow) do kanałów osiowych wykonanych w przekroju osiowym formy szklarskiej. Czynniki chłodzący dostarczany jest tylko w momencie, gdy forma jest zamknięta i masa szklana znajduje się wewnątrz niej. Czas, w jakim forma jest chłodzona ograniczony jest przez nastawę timingu na maszynie szklarskiej i związany jest z czasem, w którym forma znajduje się w pozycji zamkniętej.

Sposób 360° cooling, E-moc cooling, Axial cooling – zasada działania jest podobna do powyższego z tą różnicą, że powietrze dostarczane jest poprzez wieszaki, na których zamocowana jest forma i nie jest ograniczone żadnym zdarzeniem na maszynie, co oznacza, że czynnik chłodzący dostarczany jest od środka do dołu i góry formy. Wieszaki zlokalizowane są na ogół pośrodku formy. Chłodzenie to może być realizowane przez 360° cyklu produkcyjnego.

Sposób Stack cooling, chłodzenie radialne – jest ono realizowane poprzez nadmuch powietrza na zewnętrzną stronę form. Czynniki chłodzący rozprawdany jest za pomocą dysz posadowionych na brzegach sekcji. Chłodzenie to może się również odbywać przez 360° cyklu produkcyjnego i nie jest ograniczone żadnym innym zdarzeniem w timingu maszyny.

Istnieje również możliwość zestawiania różnych rodzajów chłodzenia jednocześnie na jednej sekcji, przy czym zależy to od rodzaju maszyny IS.

Automaty szklarskie różnicuje się również ze względu na: ilość sekcji, ilości kropli, maksymalną prędkość produkcji, wielkości form możliwych do zabudowy na maszynie, sposób chłodzenia form, sposób napędu mechanizmów maszyny, rodzaj produkowanych opakowań szklanych. Niezależnie od wspomnianych powyżej schematów budowy, zasada działania automatów typu IS jest zazwyczaj zbieżna i obejmuje następujące etapy:

Etap dostarczenie szkła za pomocą zasilaczy (tj. kanałów, do których wypływa szkło z wanny szklarskiej) do automatu szklarskiego. W zasilaczach temperatura szkła jest obniżana do temperatury umożliwiającej formowanie opakowań szklanych oraz ujednorodniana termicznie.

Etap formowanie kropli szkła (tj. porcji szkła, z której następnie formowane jest opakowanie szklane). Ciągły strumień szkła zostaje dostarczony z zasilaczy do rozdzielacza, gdzie za pomocą tłoka nurnikowego przeciskany jest do wąskiej rurki. Po przejściu szkła przez rurkę, zostaje ono obcięte, tworząc uformowaną kroplę. Wielkości kropli różnią się między sobą wagą oraz długością. Parametry te zależne są od wielkości produkowanego opakowania szklanego oraz jego masy docelowej. Wielkość kropli regulowana jest za pomocą prędkości cięcia na nożycach zamontowanych w głowicy automatu.

W kolejnym etapie, każda kropla za pomocą rozdzielacza zostaje skierowana do aktualnie nie zajętej formy po stronie przedform w sekcji w automacie szklarskim, w której rozpoczyna się proces formowania opakowania szklanego.

Etap formowanie bańki (ang. parison). Po wpłynięciu kropli do przedformy, pod wpływem ciśnienia lub wytłocznika zostaje uformowana bańka, która następnie przenoszona jest do formy po stronie form gotowych.

Po dostarczeniu bańki do formy po stronie form gotowych, bańka jest formowana do ostatecznego kształtu opakowania szklanego za pomocą wydmuchu i odstawiona na taśmę transportera.

Z amerykańskiego patentu US3953188 znany jest układ do kontroli chłodzenia form w automacie szklarskim. Układ ten obejmuje kompensację zadanego ciśnienia do kontroli powietrza chłodzącego w celu skorygowania zmian temperatury powietrza chłodzącego oraz zmian natężenia przepływu masy szkła. Podczas warunków minimalnego i maksymalnego przepływu powietrza chłodzącego równowaga wymiany ciepła pomiędzy czynnikiem chłodzącym i bańkami poddawany chłodzeniu ulega modyfikacji poprzez zmiany parametrów zadanych regulatorów temperatury na zasilaczu dostarczającym materiał do automatu szklarskiego lub alternatywnie poprzez zmianę prędkości produkcji automatu szklarskiego w taki sposób, że bańki przechowywane są zazwyczaj w pożądanej temperaturze z ograniczonym zakresem dostarczania środka chłodzącego.

Z kolei w niemieckim dokumencie DE102004054254 ujawniono sposób automatycznego sterowania procesem chłodzenia form szklanych wykorzystywanych w automatach szklarskich. Cytowane rozwiązanie obejmuje automatyczny pomiar, przechowywanie i kontrolowanie wartości temperatury wewnętrznej przedform i form gotowych dla każdej pojedynczej formy szklarskiej, a następnie porównanie parametru sterującego z parametrem kontrolnym i ustalenie parametru wyrównującego dla każdej pojedynczej formy szklarskiej. Parametr wyrównujący wpływa na wydajność chłodzenia każdej formy przede wszystkim poprzez zastosowanie elektrycznych, hydraulicznych lub pneumatycznych elementów nastawczych i pozwala na uzyskanie pożądanej temperatury wewnętrznej formy dzięki wykorzystaniu czujnika temperatury umieszczonego w każdej stacji z formami szklarskimi, w celu pomiaru temperatury wewnętrznej form.

Z kolei z europejskiego zgłoszenia patentowego EP1136453 znany jest układ chłodzenia form stosowany w automatach szklarskich, wykorzystujący szereg niezależnych wentylatorów sprzężonych z ramą każdej sekcji automatu. Układ chłodzenia form dla automatów szklarskich z szeregiem sekcji zawiera urządzenie chłodzące dla każdej sekcji, napędzane silnikiem kontrolowanym przez układ sterowania, pozwalającym na regulację prędkości silnika, a w konsekwencji przepływu i ciśnienia powietrza chłodzącego, co z kolei przekłada się na regulację temperatury formy, która zmienia się w trakcie prowadzenia procesu formowania elementów szklanych.

Każde z powyższych rozwiązań koncentruje się przede wszystkim na układzie chłodzenia i jego funkcjonalności.

Jedną z podstawowych kwestii ograniczających prędkość produkcji opakowań szklanych jest chłodzenie form w sekcjach automatu szklarskiego. Co więcej, proces ten jest niezwykle energochłonny. Problem chłodzenia występuje zarówno po stronie przedform, jak i form gotowych, niezależnie od konfiguracji automatu szklarskiego oraz wytwarzanego produktu. Każdy proces produkcji opakowań szklanych na automacie szklarskim jest procesem skończonym, niemniej jednak może on być rozłożony w bardzo długim czasie, w którym nie następuje żadne jego przerwanie. Oznacza to, że formy, do których dostarczane jest szkło w postaci płynnej, narażone są na długotrwałe działanie wysokiej temperatury. Temperatura form poprzez długo nieustający i bardzo szybki proces produkcyjny multiplikuje się, ponieważ nie występuje okres przerwy, w której mogłyby one wytracić temperaturę. Jednocześnie granica pomiędzy temperaturą szkła, przy której daje się ono formować, i temperaturą, przy której proces ten jest niemożliwy lub bardzo utrudniony, jest bardzo mała. Jeżeli formy osiągną zbyt wysoką temperaturę,

uniemożliwiająca wychłodzenie szkła do odpowiedniej temperatury, proces produkcji zostaje zaburzony. Niedostateczne wychłodzenie form może powodować wady w kształcie formowanego opakowania, wady w szkłe oraz szybsze zużywanie się form lub wręcz ich uszkodzenie. Brak odpowiedniego schłodzenia form wiąże się również z bardzo dużymi stratami energii (powtórne wytapianie szkła, napędzanie maszyny szklarskiej, napędzanie wentylatorów chłodzenia form, itd.), a co za tym idzie, dużymi stratami ekonomicznymi dla producenta opakowań. Wielu producentów opakowań szklanych zmuszonych jest do redukcji prędkości produkcji lub do zmniejszania ilości sekcji, na których produkowane są opakowania (np. na 10-sekcyjnym automacie opakowania produkowane są tylko na 8 sekcjach), co powoduje również duże straty ekonomiczne i negatywnie wpływa na opłacalność produkcji. Dlatego też niezwykle istotne jest, aby formy utrzymywały stałą temperaturę, na poziomie umożliwiającym formowanie opakowań szklanych pozbawionych wszelkich wad.

Wpływ na temperaturę form mają następujące parametry: temperatura szkła, prędkość produkcji CRV (ang. cavity rate, definiująca ilość cięć na minutę), rodzaj materiału form, konstrukcja formy, timing ustawiony na automacie formującym, rodzaj zastosowanego chłodzenia, parametry powietrza chłodzącego. Wspomniane parametry charakteryzują każdą produkcję opakowań szklanych i występują niezależnie od zastosowanej maszyny, rodzaju produkowanego opakowania, czy też producenta opakowań szklanych. W celu utrzymania temperatury form na odpowiednim poziomie należy zapewnić możliwie jak najlepszą wymianę ciepła pomiędzy formą i czynnikiem chłodzącym. Największy wpływ, na ten proces mają następujące czynniki: temperatura powietrza na wlocie do wentylatora, odpowiedni dobór punktów pracy wentylatora chłodzącego formy, rodzaj przepływu powietrza w dyszach chłodzących, ustawienie odpowiedniego timingu na maszynie.

Temperatura powietrza na wlocie do wentylatora jest szczególnie istotna w przypadku producentów opakowań szklanych, których zakłady produkcyjne znajdują się w krajach o wyższej średniej temperaturze rocznej (np. Arabia Saudyjska, Australia) i/lub generalnie w czasie okresu letniego. Temperatura powietrza na wlocie do wentylatora jest bardzo istotnym czynnikiem, który utrudnia proces formowania, ponieważ jej zbyt wysoka wartość powoduje zmniejszenie pojemności cieplnej czynnika chłodzącego, co skutkuje niedostatecznym odbiorem ciepła z formy.

Na ogół parametry pracy wentylatora dobierane są przez pracowników hut opakowań szklanych na podstawie doświadczenia lub danych dostarczanych przez producenta maszyn formujących. Nieodpowiedni dobór punktów pracy wentylatora, powoduje duże problemy ze schłodzeniem form, czasami wręcz uniemożliwia ich prawidłowe schłodzenie. Zły dobór wentylatora skutkuje pracą poza optymalnym punktem pracy (pompowanie, przeciążenie, itd.), co z kolei może skutkować zniszczeniem łożysk, pęknięciami obudowy, przepaleniem silnika, nadmiernym hałasem, pęknięciami rurociągu.

Kolejnym parametrem jest rodzaj przepływu powietrza w dyszach chłodzących (w przypadku chłodzenia promieniowego) i/lub kanałach chłodzących (w przypadku chłodzenia osiowego). W przypadku przepływu laminarnego, proces konwekcji ciepła pomiędzy formą i czynnikiem chłodzącym jest mniejszy niż w przypadku przepływu wzburzonego. Rodzaj przepływu w kanałach formy lub dyszach chłodzących związany jest z budową kanałów doprowadzających czynnik chłodzący oraz konstrukcją łoża maszyny.

Ustawienie odpowiedniego timingu na maszynie ma bardzo duży wpływ na wychłodzenie form, jego długość jest jednak ograniczona przez zadaną prędkość produkcji. Im szybsza produkcja tym mniej czasu w timingu na zdarzenie procesu chłodzenia. Problem ten występuje w szczególności przy chłodzeniu osiowym, w szczególności przy chłodzeniu typu vertiflow oraz invertiflow.

Konstrukcja i rodzaj materiału użytego na formę uwzględniają ich wytrzymałość mechaniczną, lecz bardzo rzadko brana jest pod uwagę konstrukcja formy ze względu na jej właściwości termiczne, wymianę ciepła i zapewnienie odpowiedniego chłodzenia. Takie podejście skutkuje czasami trudnym, długim i pracochłonnym procesem wzorowania nowo wdrażanego produktu (przed właściwym procesem produkcji każde opakowanie testowane jest na maszynie pod względem, jakości i możliwości produkcji, proces ten nazywany jest wzorowaniem).

Wilgotność powietrza na wlocie do wentylatora ma najmniejszy wpływ na jakość chłodzenia oraz wymianę ciepła między powietrzem i formą. Wilgotne powietrze ma większą pojemność cieplną niż powietrze suche. Tylko bardzo duże wahania wilgotności mogą wpływać w sposób znaczący na wydajność chłodzenia.

W znanych maszynach formujących opakowania szklane jako czynnik chłodzący wykorzystywane jest powietrze. Najczęściej do pompowania powietrza chłodzącego wykorzystuje się wentylatory promieniowe, które tłoczą je poprzez układ rurociągów i klap regulacyjnych do łoża maszyny formującej, gdzie rozdzielane jest ono do poszczególnych sekcji, a dalej do form szklarskich. Proces chłodzenia

polega na odebraniu odpowiedniej ilości ciepła dostarczonego przez kroplę szkła do formy szklarskiej poprzez dostarczenie do niej czynnika chłodzącego, w tym przypadku powietrza. Proces ten ma zapewnić utrzymanie odpowiedniej temperatury szkła znajdującego się w formie, przy której jest ono formowalne. Z uwagi na to, że granica temperatur, przy których szkło jest formowalne (tzn. można je formować w opakowanie szklane bez żadnych wad produkcyjnych) jest bardzo mała, proces chłodzenia jest nie tylko bardzo skomplikowanym, ale jest jednym z najważniejszych przy formowaniu opakowań szklanych. Mimo wszystko wpływ tego procesu, ze względu na jego złożoność oraz nieliniowość, jest przez wielu producentów zarówno maszyn formujących, jak i opakowań szklanych, minimalizowany lub pomijany.

Zarówno parametry mające wpływ na temperaturę formy, jak i mające wpływ na jakość chłodzenia form, pokrywają się i są od siebie zależne. Pokazuje to jak bardzo złożony jest proces formowania, a także jak trudne jest uzyskanie odpowiedniej wymiany ciepła pomiędzy formą i czynnikiem chłodzącym.

Tak więc problemem technicznym pozostającym do rozwiązania jest zaproponowanie takiego sposobu i układu do kontroli procesu chłodzenia form podczas formowania opakowań szklanych, które pozwolą na optymalizację konstrukcji form szklarskich, skrócenie czasu przygotowania układu do wytwarzania i jego ustawienia, pozwolą na ciągłą kontrolę i bieżącą optymalizację procesu produkcyjnego, zapewnią ograniczenie odpadów produkcyjnych wpływając zasadniczo na uzyskanie korzyści ekonomicznych. Co więcej pożądanym jest zapewnienie lepszej kontroli procesu odprężania wytworzonych produktów oraz zmniejszenie energochłonności całego procesu i ograniczenie czasu pracy operatorów automatów szklarskich. Nieoczekiwanie wspomniane problemy rozwiązał prezentowany wynalazek.

Pierwszym przedmiotem wynalazku jest sposób kontroli procesu chłodzenia form szklarskich podczas formowania opakowań szklanych w automacie szklarskim typu IS za pomocą czynnika chłodzącego, obejmujący następujące etapy:

- a) analizuje się konstrukcję formy szklarskiej pod względem wymiany ciepła pomiędzy szkłem, formą i czynnikiem chłodzącym w celu symulacji wymiany ciepła pomiędzy szkłem, formą szklarską i czynnikiem chłodzącym,
- b) z czujników (1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12) odczytuje się dane w celu ustalenia parametrów procesowych przepływu czynnika chłodzącego w formie szklarskiej obejmujące: straty ciśnienia w rurociągu doprowadzającym czynnik chłodzący do formy szklarskiej, straty ciśnienia w automacie szklarskim do momentu wejścia czynnika chłodzącego do formy szklarskiej, temperatury kropli przed wpływem do przedformy szklarskiej, temperatury i wilgotności powietrza w rurociągu po wykonaniu pracy sprężania czynnika chłodzącego przez wentylator, i wprowadza się dane odczytane z czujników (1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12) do modułu obliczeniowego (B), przy czym moduł obliczeniowy (B) stanowi moduł sterujący automatycznym układem chłodzenia form SAC B,
- c) do modułu obliczeniowego (B) wprowadza się pożądaną prędkość produkcji i maksymalny czas realizacji zdarzenia chłodzenia w timingu za pomocą czynnika chłodzącego, jak również rodzaj materiału, z którego wytworzona jest forma i/lub maksymalną dopuszczalną temperaturę formy szklarskiej,
- d) na podstawie wprowadzonych w etapie c) danych i danych odczytanych w etapie b) przeprowadza się w module obliczeniowym B obliczenia numeryczne uzyskując punkt pracy wentylatora (13, 14, 15) oraz timing zdarzenia chłodzenia, zapewniające maksymalną sprawność układu chłodzenia,

i na podstawie wyników obliczeń w etapie a–d ustala się parametry procesowe czynnika chłodzącego i wprowadza się do formy szklarskiej czynnik chłodzący, przy czym czynnik chłodzący jest wprowadzany w punkcie pracy wentylatora i zgodnie z timingiem zdarzenia chłodzenia, przy czym timing zdarzenia chłodzenia odpowiada etapowi w kolejności i prędkości realizacji poszczególnych etapów procesu formowania z jaką odbywają się poszczególne zdarzenia w procesie formowania.

W korzystnej realizacji wynalazku analiza konstrukcji form w etapie a) obejmuje analizę form szklarskich już istniejących i w użyciu produkcyjnym lub form szklarskich w fazie konstrukcyjnej, przed wdrożeniem do produkcji.

Korzystnie, obliczenia numeryczne prowadzi się przy utrzymaniu błędu obliczeniowego z zakresu od 3% do 5%.

Korzystnie, punkt pracy wentylatora (13, 14, 15) obejmuje ciśnienie statyczne oraz objętość przepływu czynnika chłodzącego.

Korzystnie, przeprowadzenie obliczeń numerycznych w module obliczeniowym (B) zwraca parametry konstrukcyjne kanałów chłodzących w formach szklarskich, korzystnie kształt, lokalizację oraz ich rozmiar.

Korzystnie, przeprowadzenie obliczeń numerycznych w module obliczeniowym (B) zwraca parametry konstrukcyjne dysz chłodzących w formach szklarskich, korzystnie kształt, lokalizację oraz ich rozmiar.

W innej korzystnej realizacji wynalazku do modułu obliczeniowego (B) wprowadza się dodatkowo dane prądowe z szafy sterującej (16, 17, 18) pompą czynnika chłodzącego oraz dane o prędkości cięcia kropli.

Korzystnie, obliczenia numeryczne przeprowadzane są cyklicznie, bardziej korzystnie w każdym cyklu produkcyjnym.

Korzystnie, czynnik chłodzący stanowi powietrze.

Kolejnym przedmiotem wynalazku jest układ kontroli procesu chłodzenia form szklarskich podczas formowania opakowań szklanych w automacie szklarskim typu IS, który zawiera moduł obliczeniowy (B) połączony z modułem sterowania timingiem automatu szklarskiego (A), ze sterownikiem wentylatora umieszczonego w szafie sterującej (16, 17, 18), który połączony jest z co najmniej jednym wentylatorem chłodzącym (13, 14, 15) oraz czujnikami (1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12) dostarczającymi dane do obliczeń, przy czym czujniki (1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12) są wybrane z grupy zawierającej: czujniki temperatury czynnika chłodzącego, czujnik wilgotności, czujnik ciśnienia statycznego, czujnik różnicy ciśnień w rurociągu głównym, czujnik temperatury kropli szkła, czujnik temperatury form szklarskich, czujnik temperatury opakowania szklanego po wyjściu z formy szklarskiej gotowej.

Korzystnie, układ zawiera dodatkowo wymiennik ciepła (22) obniżający temperaturę czynnika chłodzącego przed wejściem do sekcji automatu szklarskiego.

Korzystnie, wentylator (13, 14, 15) zawiera dwa wymienne wirniki lub wirnik o zmiennej geometrii łopatek.

Korzystnie, układ zawiera dwa wentylatory (13) i (14) dostarczające czynnik chłodzący odpowiednio do przedform szklarskich (24) oraz form szklarskich gotowych (25).

Korzystnie, układ zawiera dodatkowo nawilżacz powietrza zwiększający pojemność cieplną czynnika chłodzącego.

Korzystnie, czynnik chłodzący stanowi powietrze.

Rozwiązanie według niniejszego wynalazku uwzględnia trzy najważniejsze czynniki mające decydujący wpływ na wydajność procesu chłodzenia, które nie były stosowane w dotychczasowych rozwiązaniach, to jest: analizę konstrukcji form pozwalającą na optymalizację wymiany ciepła pomiędzy szkłem, formą i czynnikiem chłodzącym, nastawę timingu i długości czasu zdarzenia chłodzenia, analizę ustawionej prędkości produkcji i jej optymalizację pozwalającą na optymalny dobór korelacji pomiędzy prędkością produkcji, temperaturą form, zużyciem energii wentylatora i minimalizacją strat produkcyjnych, a także właściwy dobór parametrów wentylatora (ciśnienie statyczne oraz objętość przepływu) oraz jego punktu pracy przy maksymalnej wydajności i jak najmniejszym zużyciu energii w zależności od wielkości i rodzaju produkowanych opakowań szklanych.

Kolejność wyżej wymienionych parametrów nie jest przypadkowa i decyduje o tym, czy proces produkcji przebiega optymalnie, czyli przy jak największej prędkości produkcji, przy jak najmniejszej ilości strat produkcyjnych oraz przy możliwie małym poborze energii.

Zastosowanie obliczeń numerycznych pozwala na znaczące ograniczenie kosztów związanych z optymalizacją produkcji podczas jej przebiegu, a w niektórych przypadkach nawet na wykluczenie tych kosztów. Kluczowe w tym przypadku było opracowanie algorytmu obliczeniowego, pozwalającego w odpowiednio krótkim czasie, na uzyskanie wyników obciążonych błędem z zakresu od 3% do 5%. Algorytm ten zapewnia bardzo duże oszczędności związane zarówno z wdrażaniem produkcji, jak i samym procesem produkcyjnym. Istotne jest aby czas przeprowadzenia obliczeń był krótszy od cyklu produkcyjnego jednego opakowania szklanego na jednej sekcji, co pozwoli na korekcję parametrów procesowych po każdym cyklu produkcyjnym.

Obliczenia numeryczne przeprowadzane w celu optymalizacji i kontroli procesu chłodzenia form szklarskich oraz produkcji opakowań szklanych, można podzielić na dwa rodzaje: obliczenia dla form już istniejących i w użyciu produkcyjnym oraz obliczenia form jeszcze będących w fazie konstrukcyjnej, przed wdrożeniem do produkcji.

W przypadku wariantu pierwszego obliczenia termiczne chłodzenia form już istniejących mają na celu określenie, czy przy bieżącej instalacji chłodzenia oraz prędkości produkcji, istnieje możliwość uzyskania odpowiedniej konwekcji ciepła z formy. Z obliczeń tych można uzyskać informację czy należy dokonywać jakichkolwiek zmian w nastawach automatu szklarskiego lub wentylatora, lub czy należy zmodernizować bądź zmodyfikować, konstrukcję form lub wentylatora.

W drugim przypadku optymalizacja formy ze względu na wymianę termiczną przed przystąpieniem do produkcji pozwala na jej dopasowanie do zadanej prędkości produkcji oraz zoptymalizowanie wydajności chłodzącej wentylatora. Opracowany algorytm obliczeniowy pozwala na skrócenie czasu

potrzebnego na osiągnięcie wyników analizy chłodzenia do minimum, przy utrzymaniu granic błędu obliczeniowego z zakresu od 3% do 5%.

W obliczeniach numerycznych brane pod uwagę są następujące parametry: straty ciśnienia w rurociągu doprowadzającym czynnik chłodzący do formy, straty ciśnienia w automacie szklarskim, do momentu wejścia czynnika chłodzącego do formy, materiał, z jakiego forma jest lub ma być wyprodukowana, temperatura kropli przed wpływem do przed formy, temperatura powietrza w rurociągu, po wykonaniu pracy sprężania przez wentylator, wilgotności powietrza, zadana prędkość produkcji i maksymalny czas, w jakim może być realizowane zdarzenie chłodzenia w timingu, optymalny dobór punktu pracy wentylatora, w celu zapewnienia maksymalnej sprawności.

W zależności od oczekiwań i zadanych parametrów przeprowadzenie obliczeń numerycznych dostarcza następujących informacji w zakresie optymalnego doboru wentylatora i jego punktów pracy dla danego produktu lub grupy produktów, optymalizacji kształtu, lokacji i wielkości kanałów chłodzących w formach, optymalizacji kształtu, lokacji i wielkości dysz chłodzących formy oraz optymalizacji nastawy zdarzenia chłodzenia w timingu maszyny oraz ustawienia prędkości produkcji na maksymalną, przy założeniu jak najmniejszych lub całkowitym wyeliminowaniu strat produkcyjnych wynikających z niewłaściwej temperatury formy.

Obliczenia można przeprowadzić przed instalacją automatycznego układu chłodzenia form. Muszą poprzedzać one jakiegokolwiek inne działania mające na celu optymalizację procesu. Obliczenia termiczne mogą być przeprowadzone dla poszczególnych produktów lub grupy produktów charakteryzujących się podobnymi wymiarami.

Po przeanalizowaniu obliczeń numerycznych i konstrukcyjnych, wyniki przenoszone są do modułu obliczeniowego zintegrowanego z programem sterującym timingiem automatu szklarskiego. Moduł ten pozwala na obliczenie (symulację) temperatury form szklarskich zabudowanych na automacie podczas ich produkcji. Układ chłodzenia form może zawierać wymiennik ciepła zainstalowany za pompą czynnika chłodzącego. Zastosowanie wymiennika ciepła pozwala na utrzymanie stałej temperatury oraz wilgotności czynnika chłodzącego niezależnie od zmian warunków otoczenia. Do wymiennika ciepła może być dostarczany czynnik chłodzący z istniejącego już obiegu lub może zostać użyty dodatkowy agregat chłodzący. Układ chłodzenia form może zawierać nawilżacz (skraplacz pary) zainstalowany za pompą czynnika chłodzącego. Zastosowanie takiego usadzenia pozwala na zwiększenie pojemności cieplnej czynnika chłodzącego. Prowadzi to do odebrania większej ilości ciepła z formy w krótszym czasie.

Na rurociągu dostarczającym czynnik chłodzący, przed wejściem do sekcji, zarówno po stronie przedform, jak i form gotowych, zainstalowane są kłapy regulacyjne, które wysyłają sygnał o swoim położeniu do modułu obliczeniowego. Układ sterowania uzupełniony jest o szereg czujników, podzielonych na dwie grupy: grupę czujników dostarczających dane niezbędne do obliczeń przeprowadzanych cyklicznie w module obliczeniowym oraz grupę czujników weryfikujących dane obliczeniowe (opcjonalnie).

Do czujników pierwszej grupy zaliczane są następujące czujniki temperatury i czujnik pomiaru wilgotności czynnika chłodzącego, czujniki ciśnienia statycznego, czujnik różnicy ciśnień, czujnik temperatury kropli szkła, czujniki temperatury czynnika chłodzącego w rurociągu za urządzeniem pompującym oraz za wymiennikiem ciepła obniżającym temperaturę czynnika chłodzącego lub nawilżaczem tuż przed wejściem do sekcji automatu szklarskiego, czujnik wilgotności za nawilżaczem tuż przed wejściem do sekcji automatu szklarskiego. Czujników może być tyle ile sekcji w automacie szklarskim lub może być zainstalowany jeden centralny dla wszystkich sekcji (takie rozwiązanie może mieć wpływ na mniej dokładne sterowanie urządzeniem). Ponadto w pierwszej grupie czujników można wyróżnić: czujnik pomiaru wilgotności zainstalowany w rurociągu głównym za urządzeniem pompującym oraz za wymiennikiem ciepła obniżającym temperaturę czynnika chłodzącego, czujniki ciśnienia statycznego zainstalowane na rurociągu przed wejściem do każdej sekcji tuż za kłapami regulacyjnymi, czujnik różnicy ciśnień zainstalowany na rurociągu głównym, pozwalający na wyznaczenie wielkości przepływu objętościowego. Czujnik ten jest zabudowywany tylko w przypadku niewykorzystywania przemiennika częstotliwości do sterowania pompą czynnika chłodzącego lub w przypadku użycia chłodzenia radialnego.

Do drugiej grupy zalicza się czujniki temperatury form oraz czujniki temperatury opakowania szklanego po wyjściu z formy gotowej, przed wejściem na transporter. Czujniki te są opcjonalne, służą weryfikacji obliczeń i mogą być np. zabudowane tylko w fazie kalibracji systemu.

Czujniki temperatury form mogą być zainstalowane w różnych konfiguracjach, np.: tylko na pierwszej i ostatniej sekcji po stronie form gotowych, lub na pierwszej i ostatniej sekcji po stronie form gotowych i przedform.

Dodatkowo do modułu obliczeniowego dostarczane są dane prądowe z szafy sterującej pompą czynnika chłodzącego oraz dane o prędkości cięcia (prędkości produkcji) i timingu.

Daną wejściową jest zadana temperatura wewnętrznej części formy szklarskiej lub opakowania po wyjściu z niej. Daną pomocniczą jest pożądana prędkość produkcji. Dane te stanowią dane do weryfikacji przez układ np.: czy możliwe jest uzyskanie zadanej temperatury formy przy zakładanej prędkości produkcji.

Układ sterowania na podstawie danych z pierwszej grupy czujników oraz wcześniej wprowadzonych danych konstrukcji form szklarskich, przy pomocy zastosowanych algorytmów obliczeniowych i sposobu obliczeniowego oblicza cyklicznie: nastawę punktu pracy wentylatora oraz timingu chłodzenia maszyny i koryguje ich nastawę w sposób ciągły po każdym cyklu produkcyjnym lub po zmianie któregoś z parametrów wejściowych, (co ma wpływ na dużą nieliniowość obliczeń) w zależności od zadanych lub zmierzonych danych wejściowych. Timing oraz punkt pracy wentylatora może być dodatkowo korygowany i sprawdzany, szczególnie w fazie kalibracji systemu, poprzez układ czujników temperatury form zabudowanych w automacie szklarskim. Korekcja temperatury obliczeniowej w stosunku do zmierzonej w fazie kalibracji odbywa się przy użyciu współczynnika korekcyjnego różnic pomiędzy temperaturą obliczeniową oraz zmierzoną.

W przypadku użycia zarówno chłodzenia osiowego, jak i radialnego na jednym automacie szklarskim oraz wentylatorów radialnych jako pomp czynnika chłodzącego, każdy z wentylatorów powinien być wyposażony w dwa wymienne wirniki: jeden pozwalający na uzyskanie dużej objętości przetłaczanego czynnika chłodzącego przy niskim ciśnieniu oraz drugi pozwalający na uzyskanie dużego ciśnienia statycznego przy niższej objętości przepływu. Możliwe jest również zastosowanie wentylatorów z wirnikami o zmiennej geometrii łopatek. Takie rozwiązanie pozwoli na zainstalowanie znacznie mniejszej mocy silników oraz poprawę wydajności wentylatorów tłoczących czynnik chłodzący.

Przedstawiony powyżej układ do kontroli procesu chłodzenia podczas formowania opakowań szklanych pozwala na optymalizację konstrukcji form szklarskich, ze względu na zwiększenie pojemności cieplnej wymiany termicznej pomiędzy szkłem, formą szklarską i czynnikiem chłodzącym. Jednocześnie obserwuje się skrócenie czasu potrzebnego na wzorowanie nowo wprowadzanego do produkcji opakowania szklanego oraz skrócenie czasu niezbędnego do ustawienia timingu chłodzenia formy tak, aby możliwa była produkcja opakowania szklanego i optymalizacja jego nastawy. Kolejną zaletą jest zmniejszenie ilości odpadu produkcyjnego wynikającego ze złego doboru chłodzenia oraz ilości wad produkowanych opakowań, a co za tym idzie zwiększenie ich, jakości. Układ zapewnia kontrolę temperatury produkowanego opakowania przed jego wejściem na stół odstawczy, a co za tym idzie lepszą możliwość kontroli procesu jego odprężania. Zastosowanie układu według wynalazku umożliwi optymalny dobór punktu pracy wentylatora, a także ciągłą kontrolę i utrzymanie takiej samej wymiany konwekcji pomiędzy szkłem, formą szklarską i czynnikiem chłodzącym, co wiąże się ze stabilizacją warunków procesu produkcji, a przy tym ograniczeniem pracy dla operatora maszyny. Układ umożliwia przede wszystkim zwiększenie prędkości produkcji lub weryfikację czy jest to możliwe, oraz wydłużenie żywotności form szklarskich.

Każda z wyżej wymienionych zalet pozwala na wyraźne obniżenie kosztów produkcji opakowań szklanych, czy to poprzez zmniejszenie konsumpcji energii przez pompy czynnika chłodzącego oraz automat szklarski, czy przez zmniejszenie ilości produkowanych opakowań wadliwych, na zwiększeniu prędkości produkcji skończywszy.

Przykładowe realizacje wynalazku zaprezentowano na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat ideowy układu do kontroli procesu chłodzenia form podczas formowania opakowań szklanych według jednej realizacji niniejszego wynalazku, fig. 2 przedstawia schemat ideowy układu do kontroli procesu chłodzenia form podczas formowania opakowań szklanych według innej realizacji niniejszego wynalazku, natomiast fig. 3 przedstawia schemat ideowy układu do kontroli procesu chłodzenia form podczas formowania opakowań szklanych według kolejnej realizacji niniejszego wynalazku.

P r z y k ł a d

W zależności od rodzaju automatu szklarskiego 21 oraz producenta opakowań szklanych, do chłodzenia form w niniejszym wynalazku wykorzystuje się jeden lub dwa wentylatory promieniowe 13, 14, 15. W przypadku użycia jednego wentylatora 15 pompuje on powietrze do form po stronie przedform 24 oraz form gotowych 25 (fig. 1). Przy użyciu dwóch wentylatorów chłodzących 13 i 14, jeden wentylator 13 przyłączony jest do strony przedform 24 a drugi wentylator 14 do strony form gotowych 25

w dwurzędowym automacie szklarskim 21 (fig. 2). Mogą one być połączone by-passem, na którym zabudowana jest kłapa odcinającą 19, by-pass służy do dostarczenia powietrza chłodzącego z wentylatora form gotowych 14 do rurociągu przedform lub odwrotnie, w razie, gdy jeden z wentylatorów 13, 14 ulegnie awarii lub gdy jeden wentylator 13 lub 14 jest w stanie zapewnić odpowiednią ilość powietrza chłodzącego. W dotychczas znanych układach chłodzenia form, szczególnie w krajach gorących, dodatkowo na rurociągu dostarczającym powietrze chłodzące zabudowany może być wymiennik ciepła 22, wykorzystujący na ogół wodę do schłodzenia powietrza chłodzącego formy. Układ z użyciem wymiennika ciepła 22 (przedstawiony schematycznie na fig. 3), charakteryzuje się dużą stałością parametrów chłodzenia, zarówno podczas okresu zimowego, jak i okresu letniego.

Układ do kontroli procesu chłodzenia form jest oparty na ciągłej analizie i wpływaniu na parametry mające bezpośredni wpływ na proces chłodzenia. W celu ułatwienia zrozumienia zasady działania systemu, poniżej opisane są wszystkie parametry mające wpływ na jego przebieg podczas produkcji opakowań szklanych. Wszystkie te parametry można podzielić na 4 podgrupy:

1. Parametry otoczenia, parametry te są zawsze danymi wejściowymi, mogą one zostać jedynie odczytane z czujników układu do kontroli procesu chłodzenia.

$$f(P_{oto.}) = p_{bar.}, t_{oto.}, w_{oto.}, A,$$

gdzie:

$P_{oto.}$ – parametry otoczenia,

$P_{bar.}$ – ciśnienie barometryczne,

$t_{oto.}$ – temperatura otoczenia, w miejscu lokalizacji pomp,

$w_{oto.}$ – wilgotność otoczenia, w miejscu lokalizacji pomp,

A – wysokość położenia nad poziomem morza lokalizacji zakładu produkcyjnego.

2. Parametry czynnika chłodzącego. Zbiór parametrów odpowiadających bezpośrednio za jakość konwekcji ciepła pomiędzy powietrzem a formą.

$$f(P_{ch.}) = Q_{cz.}, p_{cz.stat.}, t_{cz.}, w_{cz.}, R_e, \rho$$

gdzie:

$P_{ch.}$ – parametry czynnika chłodzącego,

$Q_{cz.}$ – przepływ objętościowy czynnika, wytwarzanego przez element pompujący, w tym wypadku wentylator promieniowy,

$p_{cz.stat.}$ – ciśnienie statyczne czynnika, j.w.,

$t_{cz.}$ – temperatura czynnika w rurociągu po wykonaniu pracy sprężania pompy oraz po przejściu przez wymiennik ciepła 22 w przypadku jego użycia.

$w_{cz.}$ – wilgotność czynnika po wykonaniu pracy sprężania pompy oraz po przejściu przez wymiennik ciepła 22 w przypadku jego użycia. Charakteryzuje zawartość drobinek wody w powietrzu chłodzącym, parametr mający bardzo duże znaczenie przy użyciu wymiennika ciepła 22.

R_e – rodzaj przepływu czynnika w kanałach chłodzących. Może być laminarny lub wzburzony,

ρ – gęstość czynnika chłodzącego,

3. Parametry konstrukcyjne form szklarskich. Zbiór parametrów wynikających z konstrukcji form szklarskich mających wpływ na konwekcję ciepła pomiędzy szkłem - formą a czynnikiem chłodzącym.

$$f(P_{konst.}) = M_f, i_{kr.}, r_{ch.}, m_{op.}, V_{op.}$$

gdzie:

P_{konstr} – konstrukcja formy

M_f – materiał, z którego wykonana jest forma i jej części. Czynnikiem ten ma wpływ na prędkość konwekcji ciepła pomiędzy szkłem – formą a czynnikiem chłodzącym. Ma na niego wpływ różna przewodność cieplna λ materiałów, z których wykonana jest forma szklarska lub poszczególne jej elementy.

i_{kr} – liczba kropli na maszynie szklarskiej, z której jednocześnie na jednej sekcji automatu szklarskiego 21 produkowane są opakowania szklane. Ma on wpływ na ilość miejsca przeznaczonego na formę pojedynczego opakowania szklanego. Im większa ilość kropli tym mniej jest miejsca na zabudowę form szklarskich i tym mniejsze mają one gabaryty zewnętrzne, co ma wpływ na ilość czynnika chłodzącego, który musi odebrać ciepło z formy.

Wraz ze wzrostem liczby kropli na automacie szklarskim:

- maleje ilość miejsca na zabudowę form, a przez to zmniejsza się miejsce na dostarczenie czynnika chłodzącego do poszczególnej formy, co powoduje zmniejszenie grubości ścianki formy, która odbiera ciepło ze szkła.
- zwiększa się zapotrzebowanie na czynnik chłodzący, który szybciej musi odbierać większą ilość ciepła z form szklarskich.

r_{ch} – rodzaj zabudowanego chłodzenia. Konstrukcja formy jest inna dla każdego z rodzajów chłodzenia używanych przy produkcji opakowań szklanych. Rodzaj użytego chłodzenia ma największy wpływ na wyjściowy dobór punktu pracy wentylatora.

$m_{op.}$ – masa produkowanego opakowania szklanego, tak jak liczba kropli na automacie szklarskim, ma wpływ na ilość miejsca na zabudowę formy oraz ilość ciepła, która zostanie dostarczona wraz z kroplą do formy. Im większa masa kropli tym więcej ciepła należy odebrać z formy.

$V_{op.}$ – objętość produkowanego opakowania szklanego, j.w.

4. Parametry produkcyjne. Zbiór parametrów, które wpływają bezpośrednio na temperaturę form oraz wymianę ciepła pomiędzy szkłem – formą a czynnikiem chłodzącym. Parametry te zależne są od nastaw oraz typu maszyny formującej.

$$f(P_{prod.}) = v_{prod.}, t_{kr.}, T_{ch.}, t_f.$$

gdzie:

$P_{prod.}$ – parametry produkcyjne,

$V_{prod.}$ – prędkość produkcji, czyli ilość cięć na minutę. Czas tej nastawy na maszynie formującej ma wpływ na długość każdego zdarzenia w cyklu produkcyjnym na automacie szklarskim.

$t_{kr.}$ – temperatura kropli na rozdzielaczu. Parametr ten ma znaczący wpływ na temperaturę formy.

$T_{ch.}$ – długość zdarzenia chłodzenia w timingu maszyny. Nastawa ta mówi o tym, przez jaki czas ma być dostarczane chłodzenie do formy.

t_f – maksymalna dopuszczalna temperatura formy, gwarantująca jej nieprzegrzewanie się oraz umożliwiającą formowanie opakowań szklanych. Zbyt wysoka temperatura formy, prowadzi do wad produkcyjnych oraz do jej uszkodzenia lub szybszego zużycia.

Okazuje się, że przedstawione wyżej grupy parametrów są od siebie zależne. Jedynie parametry otoczenia oddziałują jednostronnie na inne parametry, oznacza to, że ich zmiana wpływa na zmianę pozostałych trzech grup parametrów, ale jakkolwiek zmiana któregoś z parametrów w tych grupach nie ma wpływu na parametry otoczenia. Dalej, zmiana jakiegokolwiek parametru w obrębie jednej grupy parametrów z grupy $P_{konst.}$, $P_{ch.}$, $P_{prod.}$, może powodować zmiany w parametrach pozostałych grup za wyjątkiem P_{oto} . Należy również zaznaczyć, że zmiany parametrów w obrębie grupy $P_{konst.}$ są możliwe do wprowadzenia tylko przed wprowadzeniem opakowania szklanego do produkcji lub podczas zmiany form szklarskich. Jakkolwiek zmiana któregoś z parametrów w obrębie tej grupy wiąże się z potrzebą rekonstrukcji lub wykonania nowego kompletu form szklarskich.

Działanie automatycznego systemu chłodzenia form szklarskich podzielone jest na 3 etapy:

- przygotowanie do implementacji systemu do produkcji,
- wprowadzenie systemu do produkcji i dobór współczynników korygujących,
- właściwe działanie automatycznego systemu chłodzenia form.

Zasada działania układu do kontroli procesu chłodzenia form została opisana na przykładzie układu z użyciem dwóch osobnych wentylatorów 13 i 14 do chłodzenia przedform 24 i form gotowych 25.

W etapie „ii) przy głównym module sterującym A maszyny formującej zainstalowany jest moduł sterujący automatycznym układem chłodzenia form SAC B. Do modułu SAC B wprowadzony zostaje model numeryczny formy aktualnie produkowanego, bądź wprowadzanego do produkcji, opakowania szklanego, który to model numeryczny odzwierciedlony jest za pośrednictwem elementów pierwszego rzędu, w aktualnie wykorzystywanym schemacie dyskretyzacji. Ilość elementów siatki musi pozwolić na uzyskanie wyniku obliczeniowego obciążonego maksymalnie 4% błędem w porównaniu do pomiarów z czujników temperatury zainstalowanych na maszynie 21, i zależna jest od stopnia skomplikowania oraz wielkości produkowanego opakowania szklanego. Do modułu obliczeniowego B zostają również dodane krzywe pracy wentylatorów chłodzenia 13 i 14, odpowiednio przedform 24 oraz form gotowych 25, z zaznaczonym nominalnym punktem pracy wentylatora (dane te dostarczane są przez producenta wentylatora). Obliczone nastawy wentylatora 13 i 14 (ciśnienie oraz przepływ objętościowy)

dla zadanej żądanej temperatury form, nanoszone są na krzywe pracy wentylatora (dostarczone przez ich producenta). W razie pracy przy sprawności poniżej 75%, moduł obliczeniowy B komunikuje o konieczności zabudowy innego wirnika, którego krzywa pracy bardziej pasuje do zadanego punktu pracy.

Jako dane wejściowe zadane ręcznie do modułu obliczeniowego B, przyjęte zostają następujące parametry z wyżej wymienionych grup:

- Wszystkie parametry z grupy parametrów $P_{konstr.}$
- Parametr A z grupy parametrów $P_{oto.}$
- Parametr t_r , dopuszczalnej maksymalnej temperatury formy z grupy parametrów $P_{prod.}$

Jako nastawy szukane, zostają na maszynie zadane następujące parametry z wyżej wymienionych grup:

- $P_{cz. stat.}$, $Q_{cz.}$ z grupy parametrów $P_{ch.}$
- $V_{prod.}$, $T_{ch.}$ z grupy parametrów $P_{prod.}$

W etapie ii) po implementacji wszystkich danych wejściowych oraz szukanych, do modułu obliczeniowego B zostają podłączone czujniki 1–3, 6–12 oraz dostarczone sygnały w następującej kolejności:

- sygnał f mówiący o temperaturze kropli, odczytywany z czujnika 10,
- sygnał i, parametry otoczenia odczytywane z czujnika temperatury i wilgotności 11, 12 zamontowanych na ssaniu wentylatora.

Po dostarczeniu wyżej wymienionych danych, za pomocą napędów z przemiennikami częstotliwości 16, 17 zostają załączone wentylatory chłodzenia 14, 13 form gotowych 25 oraz przedform 24. Kłapy 5, 4, odpowiednio po stronie form gotowych 25 oraz po stronie przedform 24, podczas startu wentylatorów 13 i 14 znajdują się w pozycji zamkniętej (informacja o położeniu kłap dostarczana jest z potencjometru do modułu sterującego B za pomocą sygnału g i b).

Po starcie wentylatorów 13 i 14, do modułu sterującego B zostają dostarczone sygnały c, e, I z czujników ciśnienia statycznego 1 oraz 2, oraz czujnika różnicy ciśnień 3, który może być zabudowany po stronie ssącej wentylatora lub w rurociągu po stronie toczenia. Do modułu SAC B zostają również dostarczone odczyty z czujnika temperatury czynnika chłodzącego w rurociągu 6, po wykonaniu pracy sprężania przez wentylatory (sygnał h). Dodatkowo do modułu obliczeniowego B za pomocą sygnałów j, k z przemienników częstotliwości 16, 17 dostarczane są informacje o prędkości obrotowej (lub częstotliwości) oraz mocy pobieranej na wale silnika wentylatorów chłodzenia odpowiednich sekcji 13, 14. Po osiągnięciu przez wentylatory 13, 14 wstępnie wyznaczonego (w pierwszym etapie) punktu pracy, na rurociągach doprowadzających powietrze do poszczególnych sekcji zostają otwarte kłapy regulacyjne 4, 5, tak, aby ciśnienie statyczne pomiędzy poszczególnymi sekcjami było na takim samym poziomie. W momencie otwarcia kłap 4, 5 wentylator 13, 14 powinien znajdować się w wyznaczonym punkcie pracy, co pozwala wyznaczyć straty ciśnienia powodowane przepływem czynnika oraz określić zapotrzebowanie na powietrze chłodzące w formach szklarskich 24, 25.

Po wystartowaniu produkcji (niezależnie czy w czasie procesu wzorowania, czy już właściwej produkcji), wyżej wymienione informacje dostarczane do modułu obliczeniowego B, wykorzystywane są do wyznaczenia rzeczywistego (produkcyjnego) zmiennego algorytmu krzywej chłodzenia i nagrzewania formy szklarskiej. Z uwagi na bardzo dużą ilość zmiennych, rzeczywista krzywa chłodzenia zmienia się przy zmianie każdego z parametrów, i jest ona niemożliwa do opisanie za pomocą jednego i takiego samego wzoru matematycznego. Obliczenia dla każdego cyklu produkcyjnego muszą być przeprowadzane na nowo. Krzywe chłodzenia i nagrzewania formy szklarskiej wykorzystywane są do wyznaczenia temperatury formy (przy wstępnych nastawach timingu maszyny oraz wentylatora), obliczanej za pomocą metody elementów skończonych.

Po dostarczeniu informacji ze wszystkich czujników do modułu obliczeniowego B, zostają obliczone następujące nastawy:

- ciśnienie statyczne i przepływ objętościowy, czyli punkt pracy wentylatora 13, 14, przy którym jest on najbardziej efektywny energetycznie. Nastawa ta realizowana jest za pomocą zmiany częstotliwości (a w konsekwencji prędkości obrotowej wirnika), wentylatorów chłodzenia 13, 14 odpowiednio przedform 24 oraz form gotowych 25. Dobór optymalnego punktu pracy ma wpływ na sprawność jego działania, pobór mocy na wale wentylatora, a co za tym idzie zużycie energii.
- Nastawę chłodzenia w timingu maszyny 21, co ma wpływ na prędkość produkcji. Im krótszy czas zdarzenia chłodzenia tym krótszy czas cyklu produkcyjnego.

Moduł obliczeniowy B sprawdza sprzężenie zwrotne między nastawą punktu pracy wentylatora 13, 14 oraz czasem chłodzenia w timingu maszyny. Obie te nastawy dobrane są tak, aby zapewnić

maksymalną prędkość produkcji, nie przekraczając maksymalnej temperatury formy, przy jednoczesnym punkcie pracy wentylatora 13, 14 z jak największą jego sprawnością.

W etapie iii) w czasie pracy układu kontroli procesu chłodzenia, po każdym cyklu produkcyjnym, do modułu SAC B dostarczane są sygnały ze wszystkich czujników 1–3 oraz 6–12. W razie jakichkolwiek zmian któregoś z parametrów otoczenia bądź temperatury, moduł obliczeniowy B wyznacza nowe nastawy dla punktu pracy wentylatora 13, 14 oraz timingu maszyny. Po każdym cyklu produkcyjnym do modułu SAC B dostarczany jest sygnał d z czujników temperatury formy 7 zainstalowanych na maszynie formującej 21 (maksymalnie 3 czujniki zamontowane na stałe w uchwytach form). Pomiar temperatury formy może być wykonany tylko w momencie, gdy jest ona otwarta. Z uwagi na bardzo dużą niedokładność pomiaru i możliwy bardzo duży błąd pomiarowy, sygnał ten traktowany jest, jako informacja weryfikująca obliczenia dokonywane w module SAC B. Jeżeli przy pomiarach z czterech kolejnych cykli rozbieżność pomiędzy obliczoną temperaturą z modułu SAC B a zmierzoną wartością z czujnika 7 znajduje się w granicach 15%, operator maszyny dostaje informację o konieczności ręcznego zmierzenia temperatury wewnątrz formy za pomocą pirometru ręcznego. Operator musi dokonać czterech pomiarów w czasie czterech następujących po sobie kolejno cykli produkcyjnych. Pomiar dokonywany ręcznie wprowadzany jest do modułu SAC B, jeżeli różnica pomiędzy nimi a wartościami obliczeniowymi wynosi więcej niż 10%, zostaje wyznaczony współczynnik korygujący obliczenia temperatury form, co wpływa na zmianę nastaw punktu pracy wentylatora 13, 14 oraz timingu.

W module SAC B zainstalowanych jest szereg filtrów sygnałów, które odrzucają wahania pomiarów z każdego z czujników 1, 2, 3, 6, 8, 9, 10, 11, 12, o więcej, niż 10%, jeżeli nie występują one w kolejnych czterech cyklach produkcyjnych.

Opis oznaczeń

Oznaczenia literowe:

A – Nadrzędny główny system sterujący automatem formującym,

B – moduł obliczeniowy, oraz system sterujący automatycznym systemem chłodzenia form, SAC

a – sygnał sterujący timingiem automatu formującego,

b – sygnał sterujący klapami regulacyjnymi po stronie przed form (ilość sygnałów równa ilości sekcji),

c – odczyt ciśnienia statycznego na rurociągu doprowadzającym powietrze do każdej z sekcji po stronie przed form (od jednego do ilość sygnałów równej ilości sekcji),

d – odczyt temperatury formy po stronie przed form lub form gotowych, na sekcji, na której jest zainstalowany zestaw czujników, (od jednego do ilość sygnałów równe ilości sekcji pomnożonej przez dwa),

e – odczyt ciśnienia statycznego na rurociągu doprowadzającym powietrze do każdej z sekcji po stronie form gotowych (od jednego do ilość sygnałów równej ilości sekcji),

f – odczyt temperatury kropli szkła na rozdzielaczu,

g – sygnał sterujący klapami regulacyjnymi po stronie form gotowych (ilość sygnałów równa ilości sekcji),

h – odczyt temperatury:

- powietrza chłodzącego w rurociągu po stronie przed form (fig. 1),
- powietrza chłodzącego w rurociągu po stronie form gotowych (fig. 1),
- powietrza chłodzącego w rurociągu głównym dostarczającym powietrze do przed form oraz form gotowych (fig. 2 i 3),
- powietrza chłodzącego przed wejściem do wymiennika ciepła (fig. 3),
- powietrza chłodzącego po wyjściu z wymiennika ciepła (fig. 3),
- wody chłodniczej przed wejściem do wymiennika ciepła (fig. 3),

i – odczyt temperatury i wilgotności, powietrza na ssaniu wentylatorów,

j, k – sygnał sterujący punktem pracy wentylatora chłodzenia:

- przedform (fig. 1),
- form gotowych (fig. 1),
- przed form i form gotowych (fig. 2 i 3),

l – sygnał z czujnika ciśnienia statycznego (zamontowanego na rurociągu głównym), oraz czujnika różnicy ciśnień (zamontowanego na wlocie do wentylatora lub na rurociągu głównym), mówiący o aktualnym punkcie pracy wentylatora,

m – sygnał sterujący zaworem regulującym przepływ wody chłodniczej w wymienniku ciepła,

x – sygnał z głównego systemu sterującego automatem formującym o aktualnej nastawie timingu, długości zdążenia chłodzenia oraz prędkości produkcji,

y – sygnał korekcyjny nastawy długości zdążenia chłodzenia, mający wpływ na korekcje prędkości produkcji.

Oznaczenia liczbowe:

- 1 czujnik ciśnienia statycznego na rurociągach doprowadzających powietrze do każdej z sekcji zarówno po stronie przed form jak i form gotowych,
- 2 czujnik ciśnienia statycznego zainstalowany na rurociągu głównym, przed rozdzieleniem powietrza do poszczególnych sekcji,
- 3 czujnik różnicy ciśnień, zainstalowany na ssaniu wentylatora bądź na rurociągu głównym, przed rozdzieleniem powietrza do poszczególnych sekcji,
- 4 klapa sterująca (otwórz, zamknij bądź z położeniem pośrednim), zainstalowana na rurociągach doprowadzających powietrze do każdej z sekcji po stronie przed form,
- 5 klapa sterująca (otwórz, zamknij bądź z położeniem pośrednim), zainstalowana na rurociągach doprowadzających powietrze do każdej z sekcji po stronie form gotowych,
- 6 czujnik temperatury powietrza w rurociągu, przed rozdzieleniem powietrza do poszczególnych sekcji,
- 7 czujnik temperatury form,
- 8 czujnik temperatury wody chłodniczej przed wejściem do wymiennika ciepła,
- 9 czujnik temperatury powietrza przed wejściem do wymiennika ciepła,
- 10 czujnik temperatury kropli szkła na rozdzielaczu kropli,
- 11 czujnik temperatury powietrza na ssaniu wentylatora,
- 12 czujnik wilgotności powietrza na ssaniu wentylatora,
- 13 wentylator chłodzenia przedform,
- 14 wentylator chłodzenia form gotowych,
- 15 wentylator chłodzenia przedform i form gotowych,
- 16 szafa sterująca z przemiennikiem częstotliwości do wentylatora chłodzenia przedform,
- 17 szafa sterująca z przemiennikiem częstotliwości do wentylatora chłodzenia form gotowych,
- 18 szafa sterująca z przemiennikiem częstotliwości do wentylatora chłodzenia przed form i form gotowych,
- 19 klapa by-passu na rurociągu pomiędzy rurociągiem doprowadzającym powietrze po stronie przedform i form gotowych,
- 20 rozdzielacz kropli,
- 21 maszyna formująca,
- 22 wymiennik ciepła,
- 23 zawór regulujący przepływ wody chłodniczej w wymienniku ciepła,
- 24 formy po stronie przedform,
- 25 formy po stronie form gotowych

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób kontroli procesu chłodzenia form szklarskich podczas formowania opakowań szklanych w automacie szklarskim typu IS za pomocą czynnika chłodzącego, **znamienny tym**, że obejmuje następujące etapy:
 - a) analizuje się konstrukcję formy szklarskiej pod względem wymiany ciepła pomiędzy szkłem, formą i czynnikiem chłodzącym w celu symulacji wymiany ciepła pomiędzy szkłem, formą szklarską i czynnikiem chłodzącym,
 - b) z czujników (1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12) odczytuje się dane w celu ustalenia parametrów procesowych przepływu czynnika chłodzącego w formie szklarskiej obejmujące: straty ciśnienia w rurociągu doprowadzającym czynnik chłodzący do formy szklarskiej, straty ciśnienia w automacie szklarskim do momentu wejścia czynnika chłodzącego do formy szklarskiej, temperatury kropli przed wpływem do przedformy szklarskiej, temperatury i wilgotności powietrza w rurociągu po wykonaniu pracy sprężania czynnika chłodzącego przez wentylator, i wprowadza się dane odczytane z czujników (1,2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12) do modułu obliczeniowego (B), przy czym moduł obliczeniowy (B) stanowi moduł sterujący automatycznym układem chłodzenia form SAC B,

- c) do modułu obliczeniowego (B) wprowadza się pożądaną prędkość produkcji i maksymalny czas realizacji zdarzenia chłodzenia w timingu za pomocą czynnika chłodzącego, jak również rodzaj materiału, z którego wytworzona jest forma i/lub maksymalną dopuszczalną temperaturę formy szklarskiej,
- d) na podstawie wprowadzonych w etapie c) danych i danych odczytanych w etapie b) przeprowadza się w module obliczeniowym B obliczenia numeryczne uzyskując punkt pracy wentylatora (13, 14, 15) oraz timing zdarzenia chłodzenia, zapewniające maksymalną sprawność układu chłodzenia,
- i na podstawie wyników obliczeń w etapie a–d ustala się parametry procesowe czynnika chłodzącego i wprowadza się do formy szklarskiej czynnik chłodzący, przy czym czynnik chłodzący jest wprowadzany w punkcie pracy wentylatora i zgodnie z timingiem zdarzenia chłodzenia,
- przy czym timing zdarzenia chłodzenia odpowiada etapowi w kolejności i prędkości realizacji poszczególnych etapów procesu formowania z jaką odbywają się poszczególne zdarzenia w procesie formowania.
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że analiza konstrukcji form w etapie a) obejmuje analizę form szklarskich już istniejących i w użyciu produkcyjnym lub form szklarskich w fazie konstrukcyjnej, przed wdrożeniem do produkcji.
 3. Sposób według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że obliczenia numeryczne prowadzi się przy utrzymaniu błędu obliczeniowego z zakresu od 3% do 5%.
 4. Sposób według któregośkolwiek z zastrz. od 1 do 3, **znamienny tym**, że punkt pracy wentylatora (13, 14, 15) obejmuje ciśnienie statyczne oraz objętość przepływu czynnika chłodzącego.
 5. Sposób według któregośkolwiek z zastrz. od 1 do 4, **znamienny tym**, że przeprowadzenie obliczeń numerycznych w module obliczeniowym (B) zwraca parametry konstrukcyjne kanałów chłodzących w formach szklarskich, korzystnie kształt, lokalizację oraz ich rozmiar.
 6. Sposób według któregośkolwiek z zastrz. od 1 do 4, **znamienny tym**, że przeprowadzenie obliczeń numerycznych w module obliczeniowym (B) zwraca parametry konstrukcyjne dysz chłodzących w formach szklarskich, korzystnie kształt, lokalizację oraz ich rozmiar.
 7. Sposób według któregośkolwiek z zastrz. od 1 do 6, **znamienny tym**, że do modułu obliczeniowego (B) wprowadza się dodatkowo dane prądowe z szafy sterującej (16, 17, 18) pompą czynnika chłodzącego oraz dane o prędkości cięcia kropli.
 8. Sposób według któregośkolwiek z zastrz. od 1 do 7, **znamienny tym**, że obliczenia numeryczne przeprowadzane są cyklicznie, korzystnie w każdym cyklu produkcyjnym.
 9. Sposób wg zastrz. od 1 do 8, **znamienny tym**, że czynnik chłodzący stanowi powietrze.
 10. Układ kontroli procesu chłodzenia form szklarskich podczas formowania opakowań szklanych w automacie szklarskim typu IS, **znamienny tym**, że zawiera moduł obliczeniowy (B) połączony z modułem sterowania timingiem automatu szklarskiego (A), ze sterownikiem wentylatora umieszczonego w szafie sterującej (16, 17, 18), który połączony jest z co najmniej jednym wentylatorem chłodzącym (13, 14, 15) oraz czujnikami (1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12) dostarczającymi dane do obliczeń, przy czym czujniki (1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12) są wybrane z grupy zawierającej: czujniki temperatury czynnika chłodzącego, czujnik wilgotności, czujnik ciśnienia statycznego, czujnik różnicy ciśnień w rurociągu głównym, czujnik temperatury kropli szkła, czujnik temperatury form szklarskich, czujnik temperatury opakowania szklanego po wyjściu z formy szklarskiej gotowej.
 11. Układ według zastrz. 10, **znamienny tym**, że zawiera dodatkowo wymiennik ciepła (22) obniżający temperaturę czynnika chłodzącego przed wejściem do sekcji automatu szklarskiego.
 12. Układ według któregośkolwiek z zastrz. od 10 do 11, **znamienny tym**, że wentylator (13, 14, 15) zawiera dwa wymienne wirniki lub wirnik o zmiennej geometrii łopatek.
 13. Układ według któregośkolwiek z zastrz. od 10 do 12, **znamienny tym**, że zawiera dwa wentylatory (13) i (14) dostarczające czynnik chłodzący odpowiednio do przedform szklarskich (24) oraz form szklarskich gotowych (25).
 14. Układ według któregośkolwiek z zastrz. od 10 do 13, **znamienny tym**, że zawiera dodatkowo nawilżacz powietrza zwiększający pojemność cieplną czynnika chłodzącego.
 15. Układ wg zastrz. od 10 do 14, **znamienny tym**, że czynnik chłodzący stanowi powietrze.

Rysunki

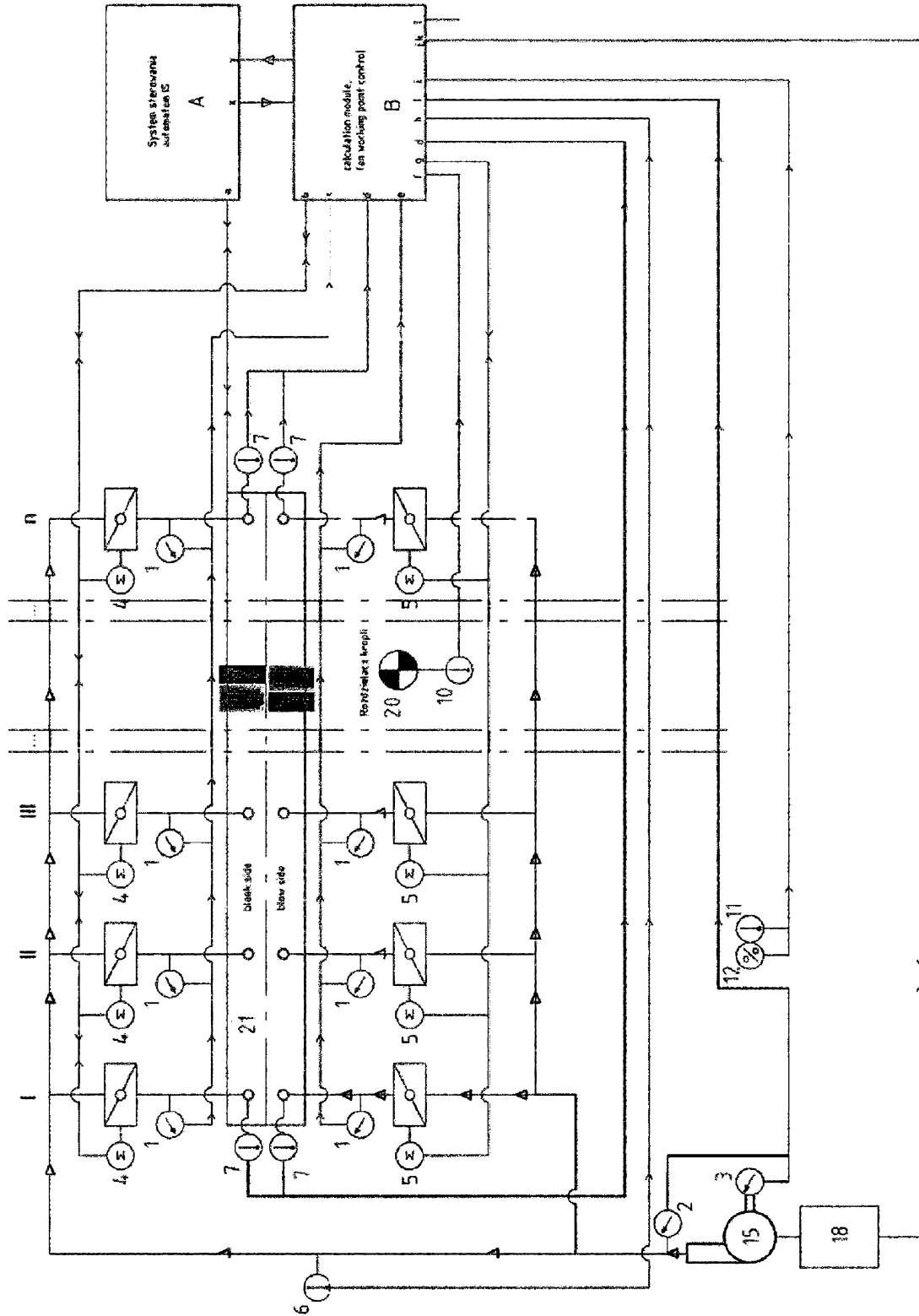


Fig.1

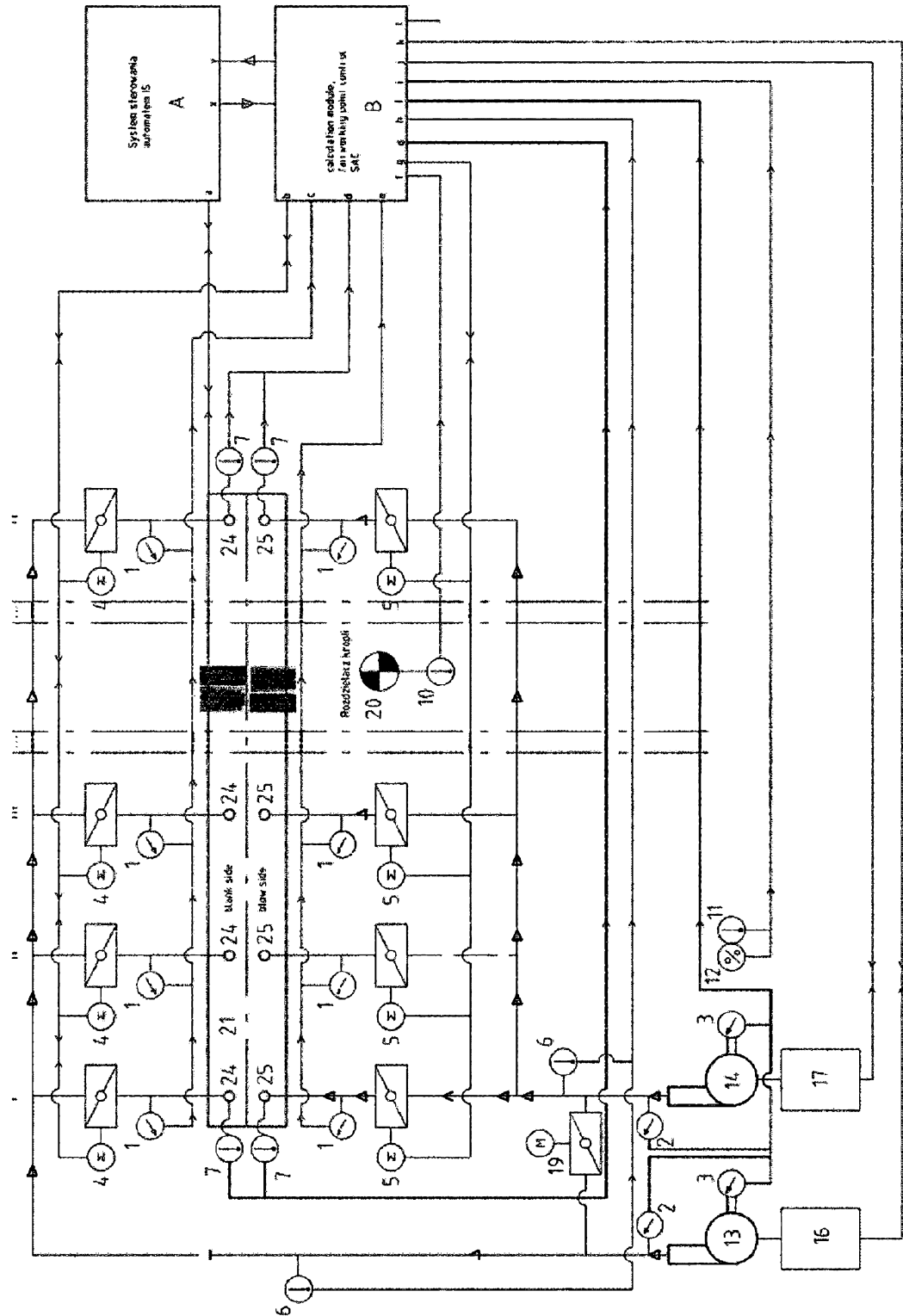


Fig.2

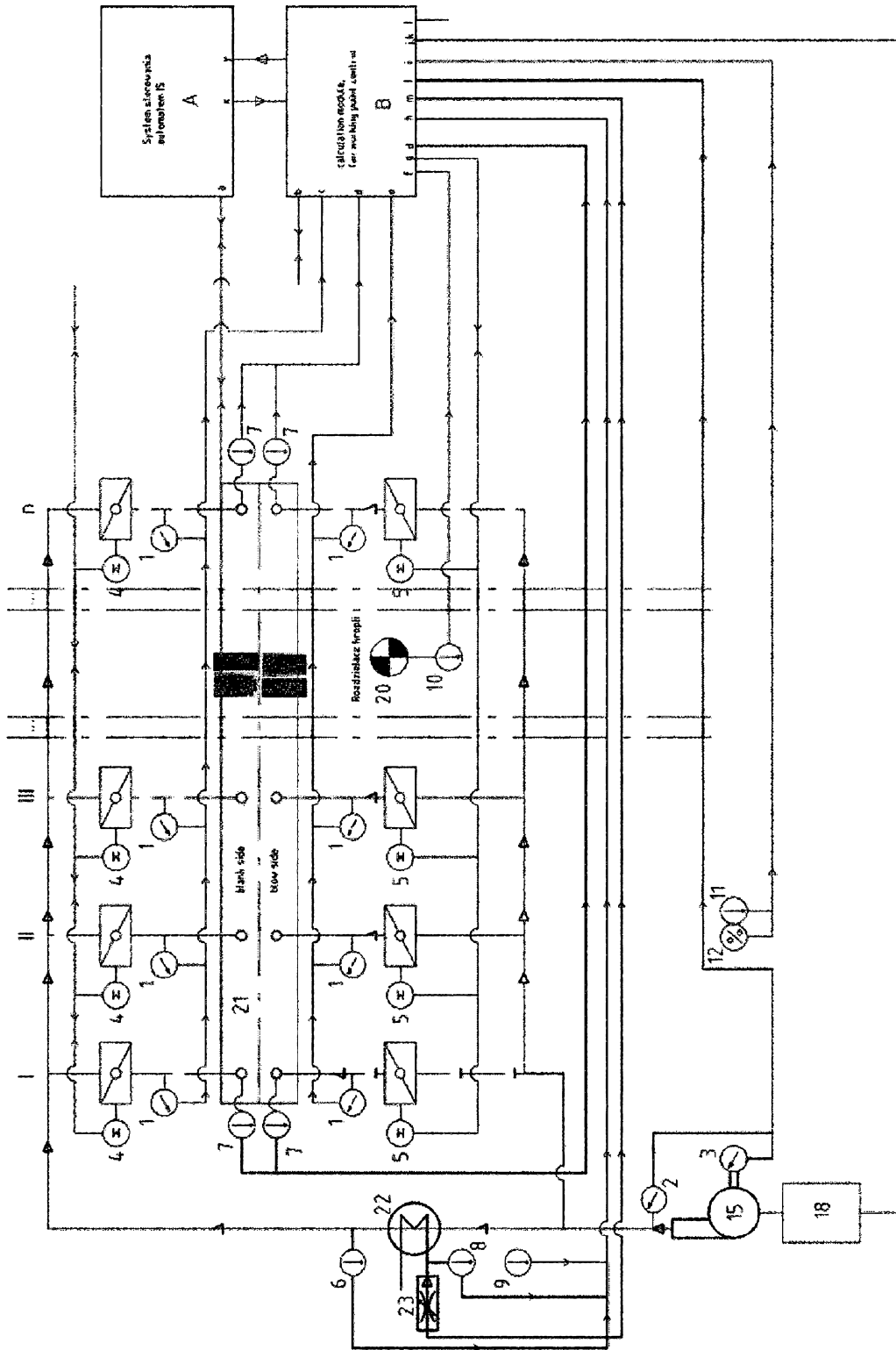


Fig. 3