

Krystyna TURKIEWICZ

Paweł RYLIK

ANALIZA PRACY WĘZŁÓW ZMIESZANIA POMPOWEGO PRZY ZMIENNYCH CIŚNIENIACH DYSPOZYCYJNYCH

Streszczenie. W referacie przedstawiono analizę wpływu zmian dyspozycyjnej różnicy ciśnień w sieci na parametry pracy węzłów mieszania pompowego przy braku automatycznej regulacji dostawy ciepła w węźle. Wnioski z analizy wskazują na możliwość takiego doboru spadków ciśnień w poszczególnych odcinkach, aby określone zmienności ciśnień powodowały jak najmniejsze zakłócenia pracy instalacji.

1. Wstęp

Stała rozbudowa istniejących wodnych systemów ciepłowniczych, ilościowa regulacja dostawy ciepła do produkcji ciepłej wody użytkowej, okresowe wyłączanie odbiorców ciepła dla potrzeb wentylacji, mało precyzyjna regulacja ciśnień w źródłach to między innymi przyczyny powiększających się stale zmienności przepływów i ciśnień w sieciach ciepłych. Taka sytuacja spowodowała zaniechanie stosowania węzłów hydroelewstorowych jako najbardziej wrażliwych na wahania ciśnień dyspozycyjnych.

W niniejszym referacie przedstawiono teoretyczną analizę wpływu wahań ciśnienia dyspozycyjnego na parametry pracy węzłów mieszania pompowego i instalacji odbioru przy braku automatycznej regulacji dostawy ciepła w stacji.

Jako tezę przyjęto, że przy odpowiednio dobranych opornościach poszczególnych obiegów węzła mieszania pompowego z pompą na zasilaniu lub powrocie można utrzymać w dopuszczalnych granicach odchyłki temperatury powietrza w pomieszczeniach ogrzewanych przy stosunkowo dużych zmianach ciśnienia dyspozycyjnego w sieci ciepłej.

2. Równania wyjściowe i założenia do obliczeń

Dane wyjściowe dla przeprowadzenia analizy wpływu zmian ciśnienia dyspozycyjnego na jakość spełnienia funkcji węzłów mieszania pompowego uzyskano przez rozwiązanie równań opisujących rozprawy wody w węźle oraz

bilansu cieplnego całego układu. Obliczenia przeprowadzono dla stanu ustalonego, przy założeniu ruchu burzliwego w przewodach i wartości temperatur: zewnętrznej - 20°C, wody sieciowej zasilającej 150°C, czyli dla nominalnego (projektowego) punktu pracy. Z równań określono wpływ zmian ciśnienia dyspozycyjnego od 40% do 160% wartości nominalnej na:

- natężenie przepływu wody sieciowej w przewodzie mieszającym i instalacji,
- temperatury wody zasilającej i powrotnej w instalacji odbioru,
- temperaturę powietrza w pomieszczeniach ogrzewanych

dla różnych wartości:

- nominalnych wydajności cieplnych węzła,
- nominalnych ciśnień dyspozycyjnych dla węzła w sieci cieplnej,
- oporności odcinków sieciowych, instalacji i przewodu mieszającego,
- nachylenia charakterystyki pompy.

Układy równań sporządzono kierując się następującymi zasadami:

- a) dzięki pominięciu ciśnień grawitacyjnych rozdzielono równania ciepłne od hydraulicznych,
- b) układy ciśnień występujące w stosowanych węzłach zmieszania pompowego (rys. 1) sprowadzono do dwóch podstawowych, dla których obowiązują następujące równania:

- dla pompy na zasilaniu lub powrocie

$$\Delta p_s = r_s \cdot \dot{G}_s^2 - r_m \dot{G}_m^2 \quad (1)$$

$$\Delta p_p = r_w \cdot \dot{G}_s^2 + r_m \dot{G}_m^2 \quad (2)$$

$$\Delta p_p = \Delta p_{p0} + a(\dot{G}_w - \dot{G}_o) \quad (3)$$

$$\dot{G}_w = \dot{G}_s + \dot{G}_m \quad (4)$$

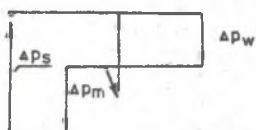
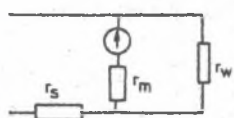
- dla pompy na przewodzie mieszającym

$$\Delta p_s = r_s \cdot \dot{G}_s^2 + r_w \cdot \dot{G}_w^2 \quad (5)$$

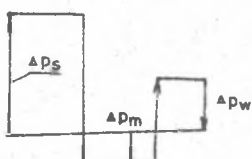
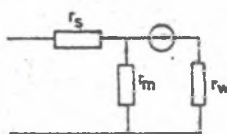
$$\Delta p_p = r_w \cdot \dot{G}_w^2 + r_m \cdot \dot{G}_m^2 \quad (6)$$

$$\Delta p_p = \Delta p_o + a(\dot{G}_m - \dot{G}_o) \quad (7)$$

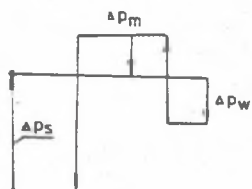
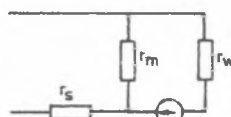
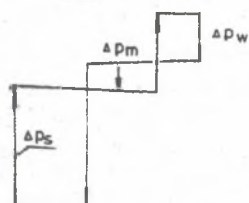
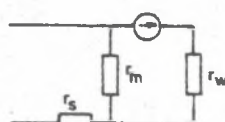
$$\dot{G}_w = \dot{G}_s + \dot{G}_m \quad (8)$$



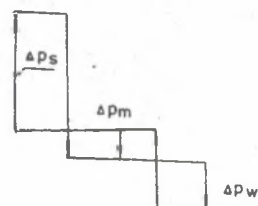
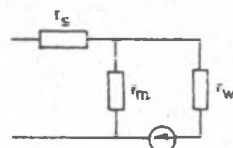
pompa w przewodzie mieszającym



pompa w przewodzie zasilającym



pompa w przewodzie powrotnym



Rys. 1. Układy ciśnień w stosowanych węzłach z mieszania pompowego

gdzie:

- Δp_B - ciśnienie dyspozycyjne w sieci ciepłej,
 Δp_p - wysokość podnoszenia pompy w węźle,
 \dot{G}_B - natężenie przepływu wody sieciowej,
 \dot{G}_w - natężenie przepływu wody w instalacji,
 \dot{G}_m - natężenie przepływu wody w przewodzie mieszającym,
 r_B - oporność odcinków zasilającego i powrotnego, od miejsca przyłączenia do sieci ciepłej do przewodu mieszającego w węźle,
 r_w - oporność instalacji wewnętrznej,
 r_m - oporność przewodu mieszającego,
 a - nachylenie charakterystyki pompy.
 Indeks "o" opisuje wielkości nominalne.

Należy w tym miejscu właściwie interpretować wartości Δp_B . Otóż oznacza ona dyspozycyjną różnicę ciśnień w punkcie przyłączenia "podejścia" węzła do trójników w sieci "wyższego rzędu", zasilającej nie tylko analizowany węzeł, zatem r_B oznacza oporność obu przewodów podejścia (przyłącza) oraz ewentualnymi kryzami, zaworami itp.

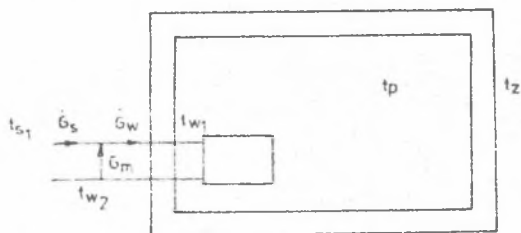
Rozwiązanie powyższych równań ma postać:

$$\dot{G}_w = f(\Delta p_B)$$

$$\dot{G}_B = f(\Delta p_B)$$

$$\dot{G}_m = f(\Delta p_B)$$

Obiekt ogrzewany sprowadzono do jednego pomieszczenia z jednym grzejnikiem konwekcyjnym (rys. 2).



Rys. 2. Schemat do równań cieplnych

Dla określenia zależności $t_p, t_{w1}, t_{w2} = f(\dot{G}_w, \dot{G}_B, \dot{G}_m)$ z równań bilansu cieplnego, doprowadzono je do postaci:

$$\varphi = \frac{t_p - t_s}{t_{p0} - t_{s0}} \quad (9)$$

$$\varphi = \frac{t_{w1} + t_{w2} - 2t_p}{t_{w10} + t_{w20} - 2t_{p0}} \quad (10)$$

$$\varphi = \frac{G_w (t_{w1} - t_{w2})}{G_{w0} (t_{w10} - t_{w20})} \quad (11)$$

$$\dot{G}_B \cdot t_{s1} + \dot{G}_M \cdot t_{w2} = \dot{G}_W \cdot t_{w1} \quad (12)$$

gdzie:

$\varphi = \frac{\dot{G}_B}{\dot{G}_O}$ - współczynnik obciążenia cieplnego,

t_p - temperatura powietrza w pomieszczeniu,

t_{w1} , t_{w2} , t_{s1} - temperatura wody: zasilającej i powrotnej z instalacji; zasilającej z sieci;

m - wykładnik potęgowy opisujący zmienność współczynnika przenikania ciepła grzejnika ze zmianą naporu cieplnego.

Przyjęto:

$$t_{w1_0} = 90^\circ, \quad t_{w2_0} = 70^\circ, \quad t_{p_0} = 20^\circ\text{C}, \quad t_{z_0} = -20^\circ\text{C},$$

oraz

$$t_z = t_{z_0}$$

czyli

$$t_{s1} = t_{s1_0} = 150^\circ\text{C}$$

Po połączeniu wyników obliczeń z równań hydraulicznych i cieplnych otrzymano zależności temperatury pomieszczenia od zmian ciśnienia dyspozycyjnego $t_p = f(\Delta p_B)$.

Przedstawione wyżej układy równań, z uwagi na ich nieliniowość, rozwiązywano na maszynie cyfrowej metodami numerycznymi.

3. Omówienie wyników obliczeń

Wstępne analiza wyników obliczeń wykazała, że bez względu na rodzaj węzła mieszania pompowego wartości bezwzględne nominalnych wydajności cieplnych węzła i ciśnień dyspozycyjnych oraz nachylenie charakterystyki pompy nie mają istotnego wpływu na przebieg analizowanych zależności.

W związku z tym uzyskane wyniki przedstawiono w postaci bezwymiarowej, używając:

$$\frac{\Delta p_B}{\Delta p_{B_0}} \quad \text{- jako względnej wielkości zakłócenia,}$$

$\Delta p_{B_0}/\Delta p_{W_0}$ i $\Delta p_{M_0}/\Delta p_{W_0}$ - jako parametrów charakteryzujących warunki hydrauliczne pracy węzła (można je zastąpić stosunkami oporności charaktery-

stycznych obiegów, wydaje się jednak, że stosunki spadków ciśnień w tych obiegach w warunkach nominalnych są bardziej czytelne dla projektanta), $\frac{\dot{G}_w}{G_{w0}}$, $\frac{\dot{G}_s}{G_{s0}}$, $\frac{\dot{G}_m}{G_{m0}}$ jako względnych wartości natężenia przepływu (wyniki obliczeń hydraulicznych).

Wyniki obliczeń cieplnych ujęto w zależności:

$$t_p, t_{w1}, \text{ i } t_{w2} = f\left(\frac{\Delta p_s}{\Delta p_{s0}}\right)$$

Na rysunku 3 zilustrowano zmiany przepływów i temperatur na skutek zmian ciśnienia dyspozycyjnego w węzłach zmieszania pompowego z pompą na zasilaniu (lub powrocie) oraz z pompą w przewodzie mieszającym, dla tych samych wielkości wyjściowych:

$$\Delta p_{s0} / \Delta p_{w0} = 10 \text{ i } \Delta p_{m0} / \Delta p_{w0} = 0,1$$

Jak wynika z rysunku, dla tak dobranych wielkości wyjściowych zmiany analizowanych wielkości są podobne. Zmianą ciśnienia dyspozycyjnego do 0,4 ciśnienia nominalnego powoduje spadek przepływu wody sieciowej do węzła do 0,6 przepływu nominalnego, co w efekcie powoduje spadek temperatury powietrza w pomieszczeniu o ok. 10° w stosunku do obliczeniowej. Przepływy wody w instalacji wewnętrznej i przewodzie mieszającym zmieniają się nieznacznie, przy czym w węźle z pompą na zasilaniu lub powrocie przepływ w instalacji wewnętrznej jest prawie stały, a rośnie o 10% w przewodzie mieszającym, natomiast w węźle z pompą w przewodzie mieszającym przepływ w przewodzie mieszającym rośnie o 5%, a w instalacji maleje o 5%. Wzrost ciśnienia dyspozycyjnego w węźle o 60% pociąga za sobą wzrost przepływu wody sieciowej o ok. 25%, co wyraża się wzrostem temperatury powietrza w pomieszczeniu o ok. 5°.

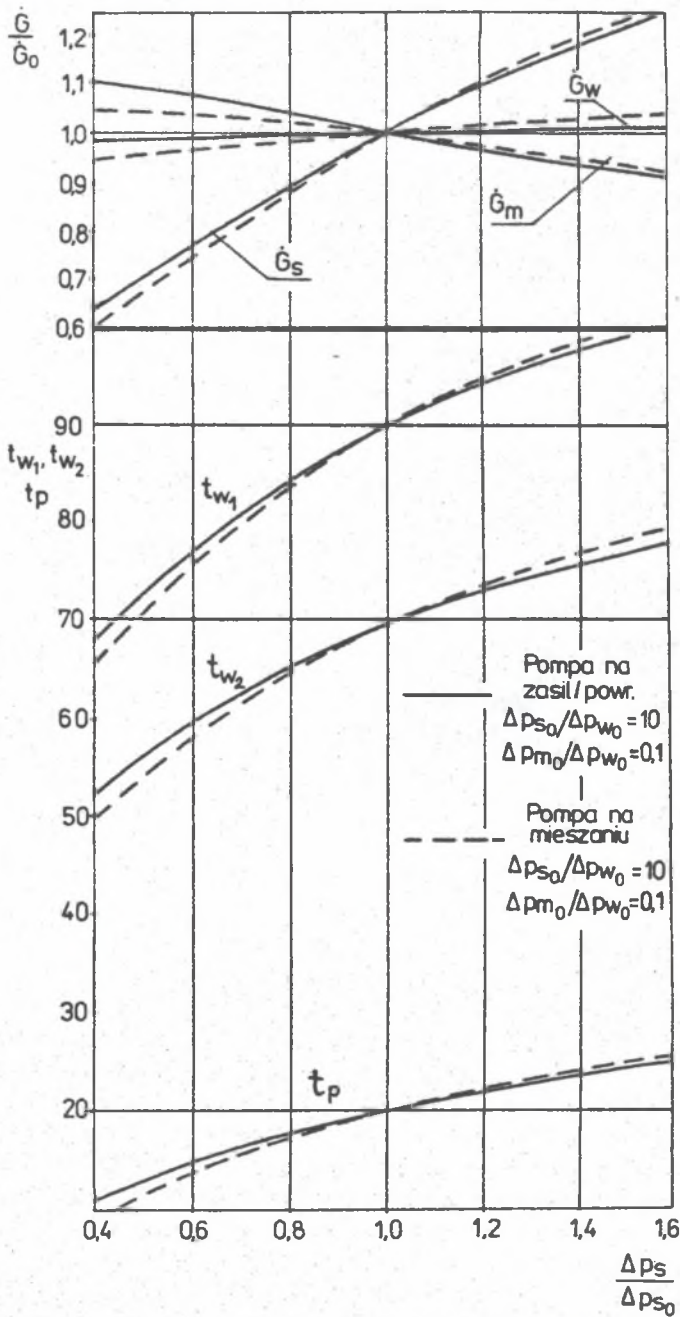
Z analizy zależności przedstawionych na rysunku 3 można wyciągnąć następujące wnioski ogólne.

Wzrost ciśnienia dyspozycyjnego powoduje mniejsze zakłócenia przepływów i temperatur niż ten sam procentowy spadek ciśnienia dyspozycyjnego.

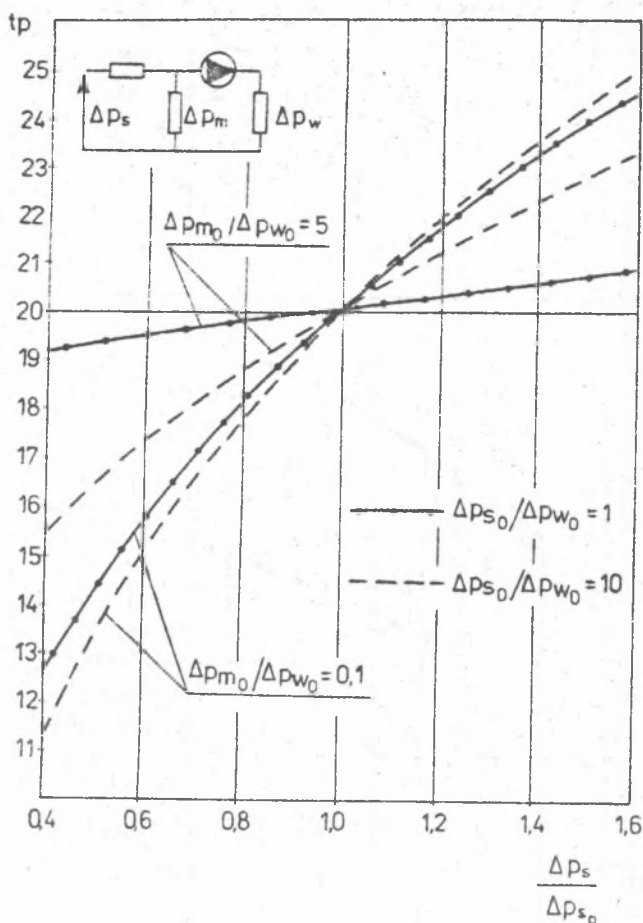
Większe zakłócenia występują przy tych samych zmianach ciśnienia dyspozycyjnego w węzłach z pompą w przewodzie mieszającym, mniejsze w węzłach z pompą na zasilaniu lub powrocie.

3.1. Analiza pracy węzłów z pompą na zasilaniu lub powrocie przy różnych danych wyjściowych

Wpływ różnych wartości oporności poszczególnych obiegów hydraulicznych na wielkość zmian powstających w skutek wahań ciśnienia dyspozycyjnego w węźle przedstawiono graficznie na rysunku 4. Za wielkość mierzalną dla



Rys. 3. Przebieg zależności charakterystycznych przepływów i temperatur od wahań ciśnienia dyspozycyjnego dla obu typów węzłów zmieszania pompowego



rys. 4. Pompa na zasilaniu powrocie - zależność temperatury pomieszczenia od wahań ciśnienia dyspozycyjnego

oceny wpływu omawianego tu zakłócenia przyjęto temperaturę powietrza w pomieszczeniu.

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że parametrami wpływającymi na przebieg charakterystyk pracy węzła z pompą na zasilaniu/powrocie są:

- spadek ciśnienia w przewodzie mieszającym w stosunku do spadku ciśnienia w instalacji wewnętrznej $\frac{\Delta p_{m_0}}{\Delta p_{w_0}}$,
- dyspozycyjna różnica ciśnień wody sieciowej w stosunku do spadku ciśnienia w instalacji wewnętrznej $\frac{\Delta p_{B_0}}{\Delta p_{w_0}}$.

Im większe wartości przyjmuje stosunek spadku ciśnienia w przewodzie mieszającym do spadku ciśnienia w instalacji wewnętrznej oraz równocześnie gdy dyspozycyjna różnica ciśnień dla węzła jest zbliżona do spadku ciśnienia w instalacji wewnętrznej, tym mniejsze odchyłki temperatury powietrza w pomieszczeniu występują przy znaczących wahaniami ciśnień dyspozycyjnych. Jak wynika z rysunku, istnieją takie wartości spadków ciśnień w układzie, przy których zmiany ciśnienia dyspozycyjnego od 0,4 do 1,6 wartości obliczeniowej powodują zmianę temperatury powietrza w pomieszczeniu ok. $\pm 1^{\circ}$.

5.2. Analiza pracy węzłów z pompą w przewodzie mieszającym dla różnych danych wyjściowych

Na podstawie analizy wyników obliczeń stwierdzono, że w węzłach z pompą w przewodzie mieszającym stosunek spadku ciśnienia w przewodzie mieszającym do spadku ciśnienia w instalacji wewnętrznej nie ma istotnego znaczenia w kształtowaniu przepływów i temperatur, przy występowaniu omawianego zakłócenia.

Na rysunku 5 zilustrowano wpływ różnych proporcji ciśnień dyspozycyjnych do spadków ciśnień w instalacji wewnętrznej na zmiany temperatury powietrza w pomieszczeniu, przy wahaniami ciśnienia dyspozycyjnego w sieci.

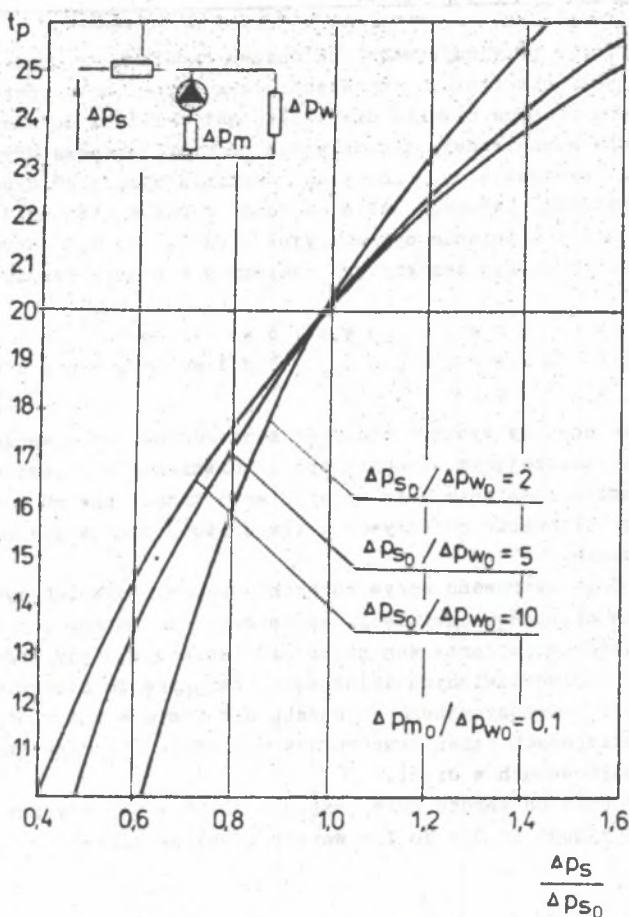
Jak wynika z przedstawionych zależności, zwiększenie stosunku obliczeniowego ciśnienia dyspozycyjnego do spadku ciśnienia w instalacji pozwala na uzyskanie mniejszych zmian temperatury powietrza w pomieszczeniu przy tych samych zakłóceniach w sieci.

Zmiany te jednak są bardzo duże, rzędu -10° i $+5^{\circ}$ przy zmianach ciśnienia dyspozycyjnego od 0,4 do 1,6 wartości obliczeniowej.

4. Wnioski końcowe

1) Węzły z pompą w przewodzie mieszającym cechują się znacznie większą wrażliwością na odchyłki ciśnień dyspozycyjnych niż węzły z pompą na zasilaniu lub powrocie. Zmiana ciśnienia dyspozycyjnego o 20% powoduje zmianę temperatury w pomieszczeniu o $2,5^{\circ}$ do $4,5^{\circ}\text{C}$ (przy $\Delta p_B / \Delta p_W \geq 2$).

2) W węzłach z pompą w przewodzie powrotnym lub zasilającym można zwiększyć skuteczność hydrauliczną, zwiększając w warunkach obliczeniowych spadek ciśnienia w przewodzie mieszającym w stosunku do spadku ciśnienia w instalacji. Niezależnie od tego korzystne są duże spadki ciśnienia w instalacji wewnętrznej w stosunku do dyspozycyjnej różnicy ciśnień. Sztuczne zwiększenie Δp_W lub Δp_m może polepszyć odporność węzła na wahaniami różnicy ciśnień, lecz jednocześnie oznacza konieczność zwiększenia mocy pompy.



Rys. 5. Pompa w przewodzie mieszającym - zależność temperatury pomieszczenia od wahań ciśnienia dyspozycyjnego

3) Z analizy wszystkich uzyskanych wyników można wyciągnąć wniosek, iż pompa w węzle mieszania pompowego posiada właściwość "stabilizowania" natężenia przepływu w tej gałęzi, w której się znajduje. Jest to jedna z przyczyn, dla których węzły z pompą na zasilaniu lub powrocie są na ogół znacznie odporniejsze na wahania ciśnienia dyspozycyjnego.

АНАЛИЗ РАБОТЫ НАСОСНОГО СМЕШИВАТЕЛЯ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ ДАВЛЕНИИ

Р е з ю м е

В реферате представлен анализ влияния разницы давления в сети на параметры работы узлов насосного смешивания при отсутствии автоматического регулирования подачи тепла в узле. Приведенные выводы на основе анализа показывают на возможность такого подбора давлений на отдельных отрезках.

THE ANALYSIS OF THE POINTS OF PUMPS MIXING IN THE CASE OF VARIABLE DISPOSITION PRESSURE

S u m m a r y

Results of changes of disposition pressures in the network upon parameters of work of points of pump mixing are analyzed when there is no automatic control of heat supply in the point. Results of the analysis enable such a choice of pressures depressions which cause the least disturbances of the installation work.