

Henryk SZLUMCZYK  
Stanisław JURA  
Henryk OLEJNICZAK

Instytut Odlewnictwa  
Politechniki Śląskiej

## ANALIZA CZYNNIKÓW WARUNKUJĄCYCH SKUTECZNOŚĆ PNEUMATYCZNEJ REGENERACJI OSNOWY MAS FORMIERSKICH

**Streszczenie.** Analiza zjawisk zachodzących podczas suchej regeneracji osnowy mas formierskich jest podstawą ustalenia czynników decydujących o skuteczności przebiegu procesu. Opracowane założenia sprawdzono doświadczalnie. W tym celu wykorzystano instalację badawczo-pomiarową pneumatycznej regeneracji osnowy mas formierskich, wykonaną w skali przemysłowej. Wyniki badań opracowano w postaci zależności występujących między parametrami pracy układu badawczego i efektami przebiegu procesu.

### 1. Wprowadzenie

Stosowanie regeneracji osnowy mas formierskich w odlewni wynika z przeprowadzonego rachunku ekonomicznego oraz czynników technologicznych i socjologicznych występujących w gospodarce materiałowej [1, 2, 4]. Głowę większości mas formierskich stanowi piasek kwarcowy. W procesie technologicznym wytwarzania odlewu osnowa masy nie ulega zużyciu, ani też nie podlega przemianom eliminującym jej przydatność. Nieodwracalne zmiany szeregu spoiw i dodatków wprowadzonych do mas formierskich uniemożliwiają jednak powtórne wykorzystanie osnowy bez zastosowania regeneracji.

Problem ten nabiera szczególnego znaczenia w stosowaniu technologii mas wiązanych chemicznie, których spoiwa ulegają nieodwracalnym przemianom (szkło wodne, żywice, cementy itp.). Osnowa tych mas traci swą technologiczną przydatność odwracalnie. Proces odzysku osnowy masy, zwany regeneracją, umiejętnie przeprowadzony pozwala otrzymać piasek o właściwościach zbliżonych do pierwotnych, tzn. takich, jakie posiadał przed sporządzeniem masy formierskiej. Różnorodność stosowanych w odlewniach mas posiada istotny wpływ na rozwój w zakresie poszukiwania metod i urządzeń do odzysku ich osnowy. Analizując przebieg regeneracji w różnych środowiskach [2, 3, 4] stwierdzono, że najkorzystniejsze efekty technologiczne uzyskuje się stosując metodę suchą. Przemawia za tym jej uniwersalność oraz względy ekonomiczne. Oczyszczanie ziarn osnowy masy realizowane jest

w urządzeniach mechanicznych i pneumatycznych, w których przebiega proces udarowego i ściernego oddziaływania elementów urządzeń na osnowę. Proces przebiega w środowisku suchym o temperaturze otoczenia. Metoda regeneracji pneumatycznej umożliwia połączenie przemieszczania osnowy masy z równoczesnym oczyszczaniem powierzchni ziarn piasku, co czyni ją konkurencyjną do pozostałych.

## 2. Czynniki warunkujące prawidłowy przebieg procesu regeneracji pneumatycznej

Pneumatyczne przemieszczanie rozdrobnionej osnowy masy regenerowanej, realizowane w układzie urządzeń systemu "POLKO", wyposażonym w podajnik komorowy wysokociśnieniowy z dolnym rozładunkiem, powinno być prowadzone w warunkach zapewniających oczyszczenie powierzchni ziarn. Warunki te ograniczone są wartościami prędkości maksymalnej oraz minimalnej.

Analizując zagadnienie ruchu strumienia materiału podczas pneumatycznego przemieszczania i wykorzystania jego energii dla potrzeb regeneracji osnowy mas formierskich [6], otrzymać można zależność maksymalnej prędkości przemieszczanych cząstek ze względu na ich wytrzymałość. Oceny dokonano przyjmując założenie, że cząstka (ziarno) w chwili zderzenia ze sztywną przegrodą nie ulega zniszczeniu (rozpadowi) [5, 9]:

$$w_{zkr} = \delta \sqrt{\frac{1}{E_z \cdot \rho_z}} \quad (1)$$

gdzie:

- $\delta$  - wytrzymałość ziarna na ściskanie,
- $E_z$  - moduł sprężystości podłużnej materiału ziarna,
- $\rho_z$  - gęstość ziarna,
- $w_{zkr}$  - maksymalna wartość prędkości ziarna w chwili zderzenia.

Minimalna wartość prędkości ziarn przemieszczanych pneumatycznie powinna zapewnić równomierny rozkład materiału w przekroju poprzecznym rurociągu.

Na charakter ruchu ziarn w rurociągu wpływa stężenie ziarn w powietrzu transportującym, zwane koncentracją mieszaniny. Poruszając się po złożonych trajektoriach ziarna osnowy masy regenerowanej zderzają się ze sobą oraz uderzają o ścianki rurociągu i konstrukcyjne elementy układu. Prowadzi to do erozyjnego rozdrabniania materiału transportowanego. W polidispersyjnym złożu ulegają erozji i ścierniu głównie cząstki duże, natomiast ziarna o średnicy  $d_z < 0,044$  mm praktycznie nie zmieniają kształtu [6]. Energia strumienia powietrza transportującego ziarna osnowy masy regenerowanej w rurociągu wykorzystywana jest w procesie regeneracji do ściernia z ich powierzchni zestalonego spoiwa oraz do rozdrabniania "zrostów" masy formierskiej.

Rozkład ziarn w strumieniu transportującym zależy od prędkości tego strumienia. Przy większych prędkościach ziarna rozkładają się bardziej równomiernie w przekroju poprzecznym rurociągu. W rozwiązaniu systemu "POLKO" w podajniku komorowym zastosowano dyszę, zwaną komorą mieszania, która umożliwia wprowadzenie materiału transportowanego do układu z prędkością strumienia zapewniającą równomierny rozkład ziarna w przekroju poprzecznym rurociągu. Rozważając wpływ elementów konstrukcyjnych układu pneumatycznej regeneracji osnowy mas formierskich na przebieg procesu ścierania [7] poddano analizie:

- odcinki proste rurociągu (początkowy i końcowy),
- łuki zmieniające kierunek przemieszczania ziarn osnowy masy regenerowanej,
- urządzenia odbiorcze, zwane kołpakami ścierno-udarowym zainstalowanym u wylotu rurociągu, wykonane w kształcie wyprofilowanej płyty zapewniającej prawidłowy przebieg procesu ścierania.

W wyniku przeprowadzonych prób ustalono, że w badanym układzie elementów ok. 60% efektów procesu ścierania warstwy spoiwa z powierzchni ziarn osnowy uzyskuje się w kołpaku ścierno-udarowym, ok. 35% w trzech łukach zmieniających kierunek przemieszczania oraz ok. 5% w odcinkach prostych instalacji.

Klasyfikacja i odpylenie produktów rozdrabniania i ścierania zestalonego spoiwa z powierzchni ziarn osnowy masy regenerowanej stanowi końcowy etap regeneracji. Dobór optymalnego sposobu klasyfikacji oraz ustalenia parametrów odpylania regeneratu jest czynnikiem istotnym w procesie regeneracji.

Najskuteczniejszą metodą w technologicznym układzie urządzeń regeneracji pneumatycznej jest klasyfikacja przeciwpądowa [8]. Do usuwania pyłów i drobnych frakcji zanieczyszczających regenerat wykorzystano zjawisko unoszenia ciał stałych.

Badania procesu klasyfikacji przeciwpądowej umożliwiły ustalenie czynników decydujących o skuteczności tej metody klasyfikacji, a mianowicie:

- materiał klasyfikowany powinien być wysuszony (wilgotność nie powinna przekraczać 0,5%),
- struga przesypującego się materiału klasyfikowanego powinna być równomiernie rozpraszana w całym przekroju urządzenia,
- dla zmniejszenia prędkości swobodnie opadających ziarn oraz rozproszenia strugi polidyspersyjnego materiału klasyfikowanego powinny być wprowadzone elementy przesypane.

### 3. Badania skuteczności przebiegu procesu regeneracji pneumatycznej ciekłej masy samoutwardzalnej

Materiałem badawczym stosowanym w ocenie skuteczności przebiegu procesu regeneracji pneumatycznej była rozdrobniona i przesiana ( $< 3 \text{ mm}$ ) ciekła masa samoutwardzalna wybita z form. Ilość frakcji powyżej  $1,6 \text{ mm}$  nie przekraczała 5%. Celem prowadzonych prób było określenie efektywności procesu ścierania w badanym układzie urządzeń oraz opracowanie zależności między parametrami pracy układu badawczego i przyrostem frakcji pylistych (łącznie z podziarnem  $< 0,1 \text{ mm}$ ).

Parametry wytrzymałościowe osnowy oceniono na podstawie danych literaturowych [9] i przyjęto wytrzymałość kwarcu na ściskanie w granicach  $\sigma = 3,3 \cdot 10^5 \text{ kPa}$ . Moduł sprężystości podłużnej  $E_z = 7,7 \cdot 10^7 \text{ kPa}$  ustalono z analizy stałych sprężystości wg Voighta. Dane te umożliwiają obliczenie krytycznej wartości prędkości (1), która wynosi  $W_{zkr} = 23,08 \text{ m/s}$ .

Z uwagi na brak ww. danych dla piasku kwarcowego, stanowiącego osnowę badanej masy, do analizy przyjęto dane dotyczące kwarcu, co jest jedynie przybliżeniem.

Doświadczalna ocena wartości prędkości krytycznej strumienia powietrza transportującego u wylotu rurociągu dla piasku kwarcowego "Wiślak" ustalona została w granicach  $W_{kr} \approx 65 \text{ m/s}$ . Rozdrobnienie (kruszenie) piasku oceniono na podstawie analizy mikroskopowej ziarn. Dla porównania własności wytrzymałościowych osnowy i spoiwa (szkło wodne + chromalit) przeprowadzono próby wytrzymałościowe spoiwa na spreparowanych kształtkach. Wytrzymałość spoiwa wynosiła ok.  $\sigma_s = 5,5 \cdot 10^3 \text{ kPa}$ .

Różnica wytrzymałości kwarcu i spoiwa jest bardzo wyraźna. Badania procesu ścierania powłoki spoiwa z powierzchni ziarn osnowy prowadzono na instalacji badawczej wykonanej w skali przemysłowej, której schemat przedstawiono na rys. 1.

Instalację badawczą wyposażono w następujące urządzenia: podajnik komorowy wraz z układem sterowania i systemem regulacji ilości i ciśnienia doprowadzonego, sprężonego powietrza; rurociąg transportowy o długości  $110 \text{ m}$ , w którym zabudowano 4 łuki zmieniające kierunek przemieszczania o  $1/2 \text{ rd}$ ; urządzenie odbiorcze zwane kołpakiem ścierny-udarowym oraz układ urządzeń do klasyfikacji.

Instalację badawczo-pomiarową wykonano w sposób umożliwiający prowadzenie prób z odłączeniem układu odpylania i klasyfikacji. Posiada to istotne znaczenie dla dokonania oceny ilościowej i jakościowej procesu ścierania zanieczyszczeń z powierzchni ziarn osnowy masy regenerowanej.

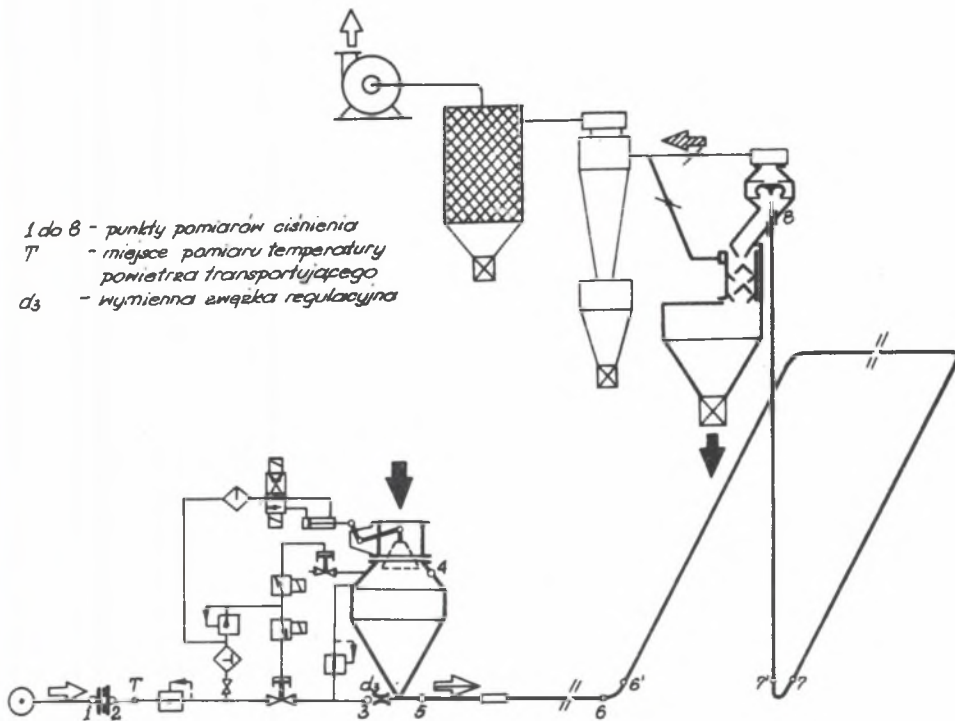
Badania przebiegu oczyszczania ziarn osnowy obejmowały:

- określenie ilościowego przyrostu pyłów i frakcji  $< 0,1 \text{ mm}$  oznaczonego symbolem  $\Delta P_{01}$ ,

- ocenę jakościowego składu produktów procesu ścierania poprzez wykonanie analizy chemicznej, przy czym składnikiem oznaczonym jest  $\text{Na}_2\text{O}$ , który wprowadzony był do masy formierskiej w spoiwie,
- pomiar parametrów pracy układu badawczego, decydujących o skuteczności prowadzenia procesu ścierania.

Intensywność ścierania uzależniona jest w przyjętym układzie badawczym od prędkości strumienia powietrza transportującego (prędkość materiału) na początku i końcu rurociągu transportowego oraz koncentracji mieszaniny. Zmianę tych parametrów uzyskiwano poprzez odpowiedni dobór ciśnienia powietrza w instalacji zasilającej "p<sub>3</sub>", średnicy zwężki regulacyjnej "d<sub>3</sub>" oraz wartości ciśnienia w podajniku komorowym "p<sub>4</sub>".

Natężenie przepływu powietrza w rurociągu oraz koncentracja mieszaniny wyrażone są w jednostkowym zużyciu energii niezbędnej do przemieszczania danego materiału "E<sub>5</sub>".



Rys. 1. Schemat układu badawczo-pomiarowego procesu ścierania w warunkach pneumatycznej regeneracji osnowy ciekłej masy samoutwardzalnej (CMS)

Ilościowej oceny zawartości pyłów i frakcji  $< 0,1$  mm dokonano prowadząc badania ziarnistości pobranych próbek przed i po procesie. Szczelność układu badawczego, w którym ubytki produktów zawierały się w granicach  $0,5 \pm 2\%$ , pozwala na dokładną ocenę ilościową procesu.

Ocena ilości powstających pyłów jest niewystarczająca bez określenia jakości tych pyłów. Podstawowym składnikiem spoiwa w procesie wykonywania ciekłej masy samoutwardzalnej jest  $\text{Na}_2\text{O}$ , którego zawartości w piasku świeżym są śladowe.

Analizie chemicznej poddawano frakcje ziarnowe w przedziale od  $0,1 \pm 1,6$  mm oraz pyły i podziarna  $< 0,1$  mm.

Badania chemiczne prowadzono każdorazowo przed i po procesie ścierania. Porównawczo określono również zawartość  $\text{Na}_2\text{O}$  w piasku świeżym, z którego sporządzono CMS.

Zawartość  $\text{Na}_2\text{O}$  w masie rozdrobnionej przed regeneracją wynosiła  $0,48 - 0,60\%$  dla frakcji  $0,1 \pm 1,6$  mm oraz  $0,97 \pm 1,12\%$  dla frakcji  $< 0,1$  mm. Natomiast w osnowie regenerowanej masy bez odpylenia wartości te zawierały się w granicach  $0,24 \pm 0,33\%$  dla frakcji  $0,1 \pm 1,6$  mm oraz  $4,74 \pm 5,40\%$   $\text{Na}_2\text{O}$  dla frakcji  $< 0,1$  mm. W piasku świeżym ilości  $\text{Na}_2\text{O}$  nie przekraczały  $0,12\%$ . Na podstawie wyników analiz chemicznych można stwierdzić, że w procesie ścierania z powierzchni ziarn osnowy usuwane było głównie zestalone szkło wodne. Świadczy to o prawidłowym jego przebiegu.

#### 4. Opracowanie wyników badań

Otrzymane wyniki badań opracowano statystycznie określając wpływ parametrów przebiegu procesu w układzie badawczym na przyrost pyłów. W opracowaniu wyników zastosowano metodę regresji krokowej [10]. Prowadząc analizę parametrów doświadczalnych i ich wpływ na przyrost pyłów otrzymano najkorzystniejsze wyniki przy założonym modelu równania  $\Delta P_{01} = f(E_5, P_4)$ . Ponadto opracowano zależności umożliwiające określenie prędkości strumienia powietrza na końcu rurociągu  $w_8 = f(E_5)$  oraz wartości ciśnień w instalacji zasilającej  $p_3 = f(E_5, d_3)$ .

Modele równań regresji oraz współczynniki podano w tabelicy 1, w której znajdują się ponadto:

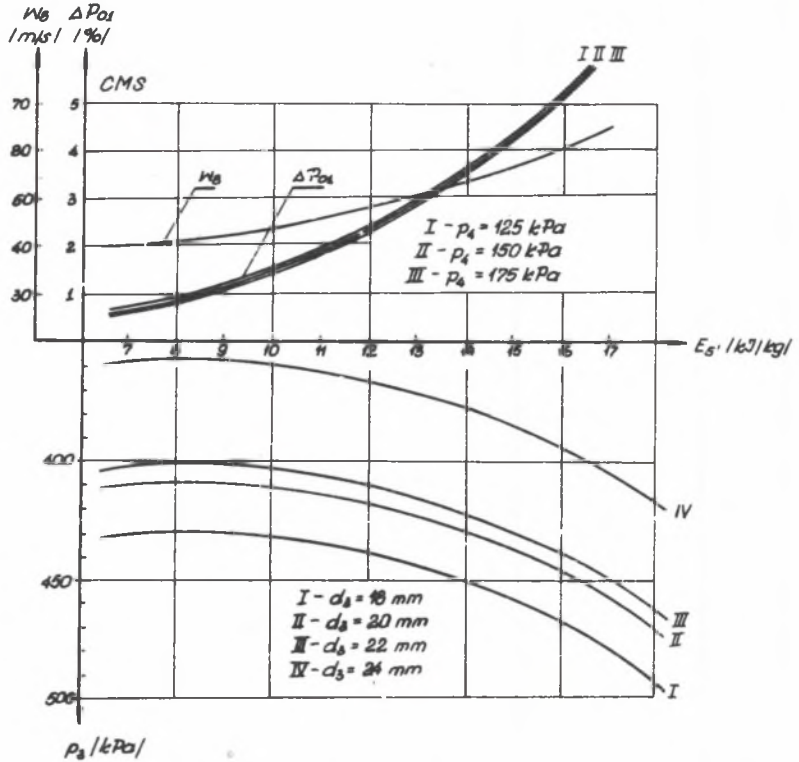
- współczynnik korelacji wielowymiarowej,
- odchylenie standardowe jako procent średniej,
- wartość testu F dla funkcji regresji,
- wartość krytyczna  $F_{kr}$  do analizy istotności związku między parametrami.

Obliczenia wykonano wykorzystując minikomputer typu WANG-2200. Opracowanie statystyczne przedstawił graficznie na rys. 2.

Tablica 1

Wyniki analizy statystycznej doświadczalnych zależności między badanymi parametrami procesu regeneracji pneumatycznej osnowy masy CMS

LP.	Postać ogólna funkcji	Postać równania regresji	Współczynnik korelacji wielowymiarowej R	Odchylenie standardowe - % średniej Y	Test F dla funkcji regresji	Wartość krytyczna testu F <sub>kr</sub>
%						
1	$\Delta P_{01} = f(E'_5, P_4)$	$\Delta P_{01} = -1,98282 + 735,8465 \frac{1}{P_4} - 57274,3 \frac{1}{2} + 1,1896 \cdot 10^{-3} \cdot E_5^3$	0,971	12,37	86,97	2,87
2	$w_8 = f(E'_5)$	$w_8 = 94,73 + 26,35 \cdot E'_5 - 50,06 \cdot E_5^0,8$	0,848	5,47	21,73	
3	$P_3 = f(E'_5, d_3)$	$P_3 = -17835,6 + 188,955 \frac{1}{E'_5} + 0,0138 \cdot E_5^3 + 42,7 \cdot d_3^2 - 1,03 \cdot d_3^3 + 187318,6 \cdot \frac{1}{d_3}$	0,926	2,60	22,58	



Rys. 2. Wykresy zależności między parametrami procesu regeneracji pneumatycznej osnowy masy CMS

## 6. Podsumowanie

Parametrami decydującymi o prawidłowym przebiegu procesu pneumatycznej regeneracji osnowy mas formierskich są:

- prędkość przemieszczania ziarn osnowy masy regenerowanej,
- stężenie mieszaniny materiału przemieszczonego (osnowa) i powietrza transportującego w rurociągu transportowym, tzw. koncentracja mieszaniny,
- postać konstrukcyjna elementów układu urządzeń w aspekcie wzajemnego oddziaływania przemieszczanych ziarn osnowy masy regenerowanej na te elementy,
- parametry wytrzymałościowe ziarn osnowy i łączącego je spoiwa,
- metoda klasyfikacji i dobór parametrów pracy urządzeń stosowanych w tej metodzie,



- przygotowanie osnowy do regeneracji (kruszenie masy formierskiej wybitej z form, oddzielenie części metalowych, przesiewanie i wysuszenie).

## LITERATURA

- [1] Szlumczyk H.: Pneumatyczna regeneracja mas formierskich. Praca doktorska, Gliwice 1980.
- [2] Pająk A., Nawrocki A., Olszowski T.: Regeneracja mas ciekłych ze spoiwami organicznymi w urządzeniach wibracyjnych. Prace Instytutu Odlewnictwa. Zeszyty Specjalne CMS 1975, nr 25.
- [3] Piątkiewicz Z., Szlumczyk H.: Regeneracja pneumatyczna CMS. Konferencja Naukowo-Techniczna - Regeneracja mas samoutwardzalnych. Dąbrowa Górnicza 1977.
- [4] Praca zbiorowa: Sand reclamation. First Report of Working Group P-7" Brit. Foundrym, 1973, T. 66, nr 8.
- [5] Zajgerow J.B.: Regeneracja otrabotannych smiesiej w litajnom proizvodstwie. Konstrukcija i rasczot pneumaticzeskich regeneratorow. Masz-giz, Moskwa 1961.
- [6] Razumow I.M.: Fluidyzacja i transport pneumatyczny materiałów sypkich. WNT, Warszawa 1975.
- [7] Piątkiewicz Z., Kowalski E., Szlumczyk H.: Wpływ elementów konstrukcyjnych na przebieg procesu pneumatycznej regeneracji. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Mechanika z. 66, Gliwice 1978.
- [8] Piątkiewicz Z., Szlumczyk H.: Klasyfikatory przeciwprądowe. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Mechanika z. 54, Gliwice 1975.
- [9] Lechnicki S.G.: Kruczenije anizotropnych i nieodnorodnych stierżniej. Nauka, Moskwa 1971.
- [10] Volk W.: Statystyka stosowana dla inżynierów. WNT, Warszawa 1973.

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ОБУСЛАВЛИВАЮЩИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ ОСНОВЫ ФОРМОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

## Р е з ю м е

Анализ явлений, имеющих место во время сухой регенерации основы формовочных материалов, является основой для определения факторов обуславливающих эффективность протекания процесса. Разработанные основоположения проверены экспериментальным путём. Для этой цели была использована опытно-измерительная установка по пневматической регенерации основы формовочных смесей выполнена в промышленном масштабе. Результаты исследований даны в виде зависимостей, имеющих место между параметрами работы опытного устройства и эффектами протекания процесса.

AN ANALYSIS OF CONDITIONS DETERMINING EFFECTIVENESS  
OF PNEUMATIC REGENERATION OF MOULDING SAND GRAINS

S u m m a r y

An analysis of phenomena connected with dry regeneration of sand grains is basic for finding conditions determining effectiveness of the process. Assumptions have been verified experimentally. To do this the pilot instalation of pneumatic regeneration of sand grains is used. The experimental results are elaborated in the form of relations between operation parameters of the system and effects of the process.