

V. G. Berezyuk¹, S. B. Kuzembaev², M. R. Sikhimbayev³, B. N. Absadykov⁴

¹Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia;

²Sh. Ualikhanov Kokshetau State University, Kokshetau, Kazakhstan;

³Karaganda Economic University of Kazpotrebsouz, Karaganda, Kazakhstan;

⁴A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: vberezuk@mail.ru; ksb_mlp@mail.ru; smurat@yandex.ru; b_absadykov@mail.ru

BLAST-WAVE IMPULSE COMPACTION OF THE VISCOELASTOPLASTIC MOLDING SAND

Abstract. This article examines the compaction process in the green molding sand by the explosive impulse of combustion gas. The study was taken on a testing device based on the semi-automatic molding machine. The dependence of mold density on impulse power and physical and mechanical properties of the sand has been found. An explosion pressure wave drives the sand column in a flask. The sand moves gradually by layers. Each layer first accelerates, then moves uniformly, decelerates and eventually stops. Here, the layer is compacted due to the kinetic energy of its movement. The higher the velocity of the molding sand is, the higher its kinetic energy and the compressive stress gained during the compaction, are. Fluidity of the molding sand depends on its physical and mechanical properties, particularly on its viscosity. The behavior of viscous, elastic and plastic properties of the molding sand during the compaction process has been researched using the self-designed device. During the compaction process, the parameters interchange, while the value of the sum is constant. During the acceleration phase, the molding sand has minimal elastic properties, the viscous properties recede and plastic properties enhance. During the uniform motion of the sand, its viscous properties are minimal, while the plastic properties enhance to the maximum. Then till the end of the process, viscous properties keep enhancing up to 80...90 %, while plastic properties recede almost to zero. Elastic properties slightly enhance almost linearly during the whole process.

Key words: molding sand, compaction process, impulse, viscosity, elasticity.

Introduction. The key factors that affect molding are the physical and mechanical properties of molding sand and the compaction parameters. The studies [1-10] of compaction process in green sand molds by general impulse methods have revealed the effect of power impulse on molding sand in flasks. The pressure wave goes through the molding sand volume and drives it in direction to the pattern plate. Here, the molding sand layers located near the pattern plate, start moving the last and stop the first when decelerating on the pattern plate. The motion of the sand layers comprises acceleration, uniform motion and deceleration phases. When accelerating, the molding sand gains kinetic energy $E = \sum \left(\frac{mv^2}{2} \right)$ that goes

into compaction when the sand decelerates on the pattern plate and the pattern. Here m is the mass of a moving elementary volume of the sand; v is its velocity. The higher the velocity of the molding sand is, the higher its kinetic energy and the compressive stress gained during the compaction, are.

The compaction mechanism in green molding sands has viscoelastoplastic character [11]. It's similar to how the material reacts to rolling and drawing [12, 13]. The green molding sand is supposed to behave the same way when being loaded. To provide the required quality of impulse-based molding, an effect of viscous, elastic and plastic components on each phase of compaction process has to be estimated.

Methods. The study was carried out on a testing device (figure 1) based on the semi-automatic molding machine 1 model 22111, additionally provided with the combustion chamber 2 with a pre-ignition chamber 3, a fan 4 and an ignition device 5. The testing device allows for explosive compaction in flasks 6 sized 300×360×(100÷200) mm with working pressure in the combustion chamber 0.2-0.3 MPa and working pressure rise time to maximum 0.02-0.08 s. Methane was used as the combustion gas. Atmospheric oxygen acted as an oxidizer.

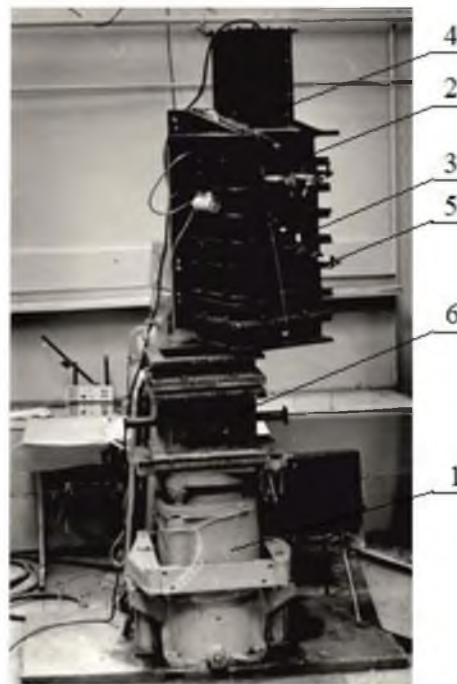


Figure 1 – The testing device

Piezoelectric crystal pressure sensors with a sensing element made of lithium niobate with measurement range 0-3.0 MPa and resonance frequency 50.0 kHz were used for recording processes at the combustion chamber. Resistance strain gauges model 2ФПКА with measurement range 0-2.5 MPa and resonance frequency 30.0 kHz were used for recording compressive stresses in the molding sand. All stress measurements were duplicated using the load cells with a sensing element made of lead. Displacement sensors type ДП6 were used for strain gaging of molding sand.

The tests revealed that the density of the mold compacted by combustion gas wave pressure, depends on the load impulse parameters, strain rate of the molding sand and compressive stresses occurring during the compaction. Under a short-time loading, the compaction process does not keep pace with loading, i.e., a delay of deformation of the molding sand from the loading occurs. Here, the delay time depends on the physical and mechanical properties of the molding sand, particularly on the viscous properties.

Figure 2 shows the travelling speeds of the layers of molding sands with the same moisture content $W = 3,2\%$, depending on the initial bulk mass of the sand δ_o and the rise time t of the load impulse $N = \frac{P}{t}$, where P is explosion pressure, MPa; t is the pressure rise time to a maximum, s. Molding sand is 200 mm off the pattern plate.

The looser molding sand ($\delta_o = 820 \text{ kg/m}^3$) gains the maximum velocity $v = 4.6 \text{ m/s}$ and the maximum impulse $P = 0.3 \text{ MPa}$ within rise time 0.025 s. The more consistent molding sand ($\delta_o = 890 \text{ kg/m}^3$) gains the velocity $v = 4.3 \text{ m/s}$ and maximum impulse $P = 0.3 \text{ MPa}$ within rise time 0.024 s. This implies that under more powerful load impulse N , inter-particle attraction in the loose molding sand is weaker than one in the consistent sand and therefore break more easily. Thus, the delay time between the beginning of deformation of molding sand and the load impulse decreases; whereas the strain and strain rate increase. It is common knowledge that the inter-particle attraction in the molding sand are provided by the films of clay binder, the predominant property of which is viscosity. It is logical to assume that viscosity markedly affects the impulse compaction process.

According to the P. N. Aksyonov's pressing equation [14]:

$$\delta_t = \delta_o + (\delta_1 - \delta_o) \sigma_{(t)}^K, \quad (1)$$

for the explosive compaction process, it can be written:

$$\delta_t = \delta_o + (\delta_1 - \delta_o) \sigma_{(t)}^K B_{(t)}, \quad (2)$$

where δ_t is the compacted density of molding sand; δ_0 is the initial density of molding sand; $(\delta_1 - \delta_0)$ is the density increment under the pressure of 0.1 MPa; $\sigma_{(t)}$ is the stress combination in the molding sand; K is an empirical coefficient; $B_{(t)}$ is a coefficient representing the strain rate of the molding sand and its physical and mechanical properties, particularly its viscosity.

The more viscosity and the strain rate of the molding sand are, the less coefficient $B_{(t)}$ is; and, as shown in Equation (2), the less is the sand final density. Therefore, under impulse compaction, compared to pressing, the molding sand gets undercompacted. In this context, the viscosity of the molding sand becomes a critical factor in choosing sand composition for this compaction method.

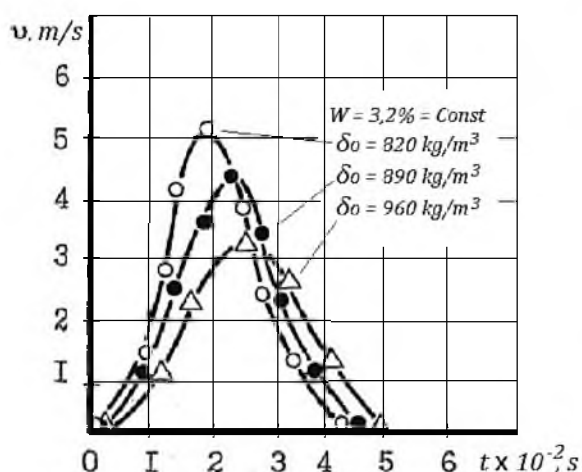


Figure 2 – The effect of the load impulse rise time t and initial bulk density δ_0 of the molding sand to the velocity v of the sand layers

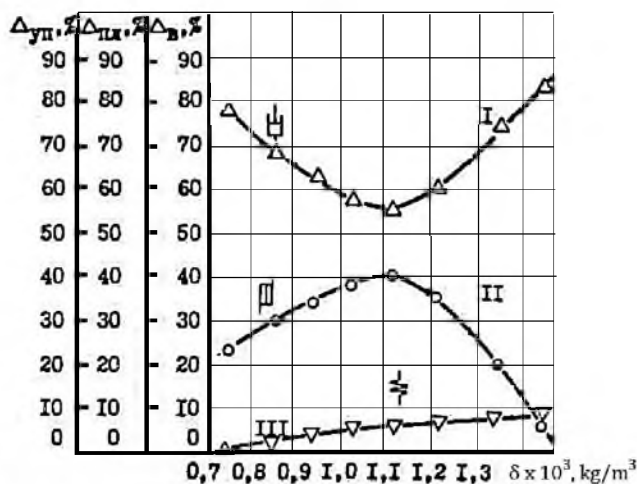


Figure 3 – The interchange of viscous (I), plastic (II) and elastic (III) properties of the molding sand during the compaction process

To determine the effect of the molding sand viscosity on its undercompaction degree under explosive molding, a method and a testing device were designed. The method of determining the sand viscosity involves comparing residual deformations (and, therefore, densities) of a standard specimen after pressing and explosive compaction under equal compressive stresses appearing in the sand. In order to calculate the effect of the molding sand viscosity on its undercompaction degree, the following formula is laid down:

$$\Delta \varepsilon_{\text{вяз}} = \frac{\varepsilon_{\text{стат}} - \varepsilon_{\text{дин}}}{\varepsilon_{\text{стат}} + \varepsilon_{\text{упр}}}, \quad (3)$$

where $(\varepsilon_{\text{стат}} + \varepsilon_{\text{упр}})$ is the total deformation of the molding sand; $\Delta \varepsilon_{\text{вяз}}$ is the effect of the molding sand viscosity on its total deformation; $\varepsilon_{\text{стат}}$ is the residual deformation of the molding sand after static pressing; $\varepsilon_{\text{дин}}$ is the residual deformation of the molding sand after explosive compaction; $\varepsilon_{\text{упр}}$ is the elastic deformation of the molding sand.

In terms of the molding sand density, Equation (3) is written as follows:

$$\Delta \delta_{\text{вяз}} = \frac{\delta_{\text{стат}} - \delta_{\text{дин}}}{\delta_{\text{стат}} - \delta_0 + \delta_{\text{упр}}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

where $\delta_{\text{стат}}$ is the residual density of the standard specimen after static pressing; $\delta_{\text{дин}}$ is the residual density of the molding sand after explosive compaction; $\delta_{\text{упр}} = \delta_{\text{полн}} - \delta_{\text{ост}}$ is the change in volume of the molding sand caused by elastic deformation.

The effect of plastic and elastic properties of the molding sand on its deformation is calculated the following way:

$$\Delta \varepsilon_{\text{пл}} = \frac{\varepsilon_{\text{дин}}}{\varepsilon_{\text{стат}} + \varepsilon_{\text{упр}}}, \quad (5)$$

$$\Delta \varepsilon_{\text{упр}} = \frac{\varepsilon_{\text{упр}}}{\varepsilon_{\text{стат}} + \varepsilon_{\text{упр}}}, \quad (6)$$

$$\Delta\delta_{\text{пл}} = \frac{\delta_{\text{дин}} - \delta_0}{\delta_{\text{стат}} - \delta_0 + \delta_{\text{упр}}} \cdot 100\%, \quad (7)$$

$$\Delta\delta_{\text{упр}} = \frac{\delta_{\text{упр}}}{\delta_{\text{стат}} - \delta_0 + \delta_{\text{упр}}} \cdot 100\%. \quad (8)$$

Since the total deformation of the molding sand is divided into viscous, elastic and plastic deformations, their effect on the explosive compaction can be estimated the following way:

$$\Delta\delta_{\text{вяз}} + \Delta\delta_{\text{пл}} + \Delta\delta_{\text{упр}} = 1. \quad (9)$$

During the compaction process, these parameters interchange, while their total sum is constant. Initially, the elastic properties of the molding sand are the most distinct; the effect of the plastic properties is observed to a lesser extent; the elastic properties are slightly observed. During the first phase, acceleration, the elastic properties of the molding sand remain minimal; the viscous properties recede gradually to 50...60 %; and plastic properties enhance to 40...50 %. When the maximum strain rate is gained, during the short period of the uniform motion, the viscous properties of the sand reach their minimum, while the plastic properties increase to the maximum. During the final phase of the compaction, deceleration, viscous properties start enhancing and increase up to 80...90 %, while plastic properties recede almost to zero (figure 3). Elastic properties slightly increase almost linearly during the whole process.

Results. The properties of the molding sand have been studied in [15-21]. Study [15] is chronologically one of the first that introduce the effect of dynamics of the compaction process on the sand properties. It has revealed that with an increase in strain rate of molding sand layers its viscosity decreases, while other properties have not been examined. Study [16], as well as [17], has examined the restricted model of a viscoelastoplastic body; both works have mentioned the change in properties during the compaction process. Models [18-21] have revealed the change in viscous, elastic and plastic properties and this data correlate with our data in general. Nevertheless, they also do not take the motion character of the sand under explosive loading, i.e. the three phases, into account. The increase in viscosity during the compaction process, which has been revealed in the present study, has not been determined so clearly in these models.

Proceeding from the above, there are following recommendations:

1. When using dynamic compaction methods, the low-viscosity molding sands should be used.
2. The molding sand for the specific parameters can be chosen according to its strain rate.

В. Ф. Березюк¹, С. Б. Күзембаев², М. Р. Сиқымбаев³, Б. Н. Абсадықов⁴

¹Сібір федерал университеті, Красноярск, Ресей;

²Ш. Уәлиханов атындағы Көкшетау мемлекеттік университеті, Көкшетау, Қазақстан;

³Қазтұтыну одағы Қарағанды экономикалық университеті, Қарағанды, Қазақстан;

⁴Ө. Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары институты, Алматы, Қазақстан

ТҮТҚЫР-СЕРПІМДІ-ПЛАСТИКАЛЫҚ ҚАЛЫПТАУ ҚОСПАСЫН ЖАРЫЛУ ТОЛҚЫНЫНЫҢ ИМПУЛЬСІМЕН ТЫҒЫЗДАУ

Аннотация. Мақалада құм-балшықты қалып қоспасын жанғыш ғаз жарылысы импульсінің әсерімен тығыздау процесі қарастырылады. Тәжірибелер қалыптау жартылай автоматты құрылғы негізінде жасалған эксперименттік қондырғы арқылы орындалды. Қалып қоспасы тығыздығының импульс қуаты мен қоспаның физика-механикалық қасиеттеріне байланысы анықталынған. Жарылу қысымының толқыны опокадағы қоспа бағанасын белсендендіреді. Қоспа қабаттары жоғарысынан бастап астына дейін біртіндеп бірізділік қозғалысқа келеді. Өрбір қабат басында үдейді, сосын бірқалыпты қозғалады, тежеледі және тоқтайды. Бұл сәтте қоспа кинетикалық энергиясы арқылы тығыздалады. Қалып қоспасының екпіндету жылдамдығы неғұрлым жоғарырақ болса, ие болған кинетикалық энергиясы және тығыздау кезінде пайда болған кернеулер соғұрлым көбірек болады.

Қоспаны қозғалысқа келтіру үшін оның тыныштық инерциясын жеңу қажет. Сөйтіп, жүктеменің қоспа қабатына әсер етуі өте қысқа болуымен, қоспа қабаты өз инерциясының арқасында қысым толқыны өткен соң ғана қозғала бастайды. Демек, тығыздау процесі жүктемеге еруге үлгермейді, яғни қалып қоспасының

деформациялануы жүктемеден кешігіп қалады. Қоспа неғұрлым борпылдақтау болса, ол соғұрлым қаттырақ жылдамдатылады. Тығыздығы аз қоспаның бөлшектері арасындағы түйіспе байланыстарының тығыздығы көбірек қоспа бөлшектерінікінен әлсіздеу және де оңайырақ үзіледі. Сол себепті қалып қоспасының деформациясы басталуының жүктеме импульсінен кешігу мерзімі қысқарады, ал деформация мөлшері мен деформация жылдамдығы артады. Сондай-ақ кешігу уақыты түйіспе байланыстарының беріктігіне және қалып қоспасының физика-механикалық қасиеттеріне тәуелді. Қалып қоспасы бөлшектерінің арасындағы байланыстар негізінен балшықты байланыстырғыштың қабыршағымен қамтамасыз етіледі. Оның басым қасиеті – тұтқырлық. Сондықтан тұтқырлық импульсті тығыздау процесіне едәуір әсер етеді деп болжауға болады.

Құм-балшықты қоспаның жылжымалылығы да оның физика-механикалық қасиеттеріне, бірінші кезекте, тұтқырлығына байланысты. Жарылыспен қалыптау кезінде қалып қоспасы тұтқырлығының тығыздалмай қалу дәрежесіне әсерін зерттеу мақсатымен тұтқырлықты технологиялық анықтау әдісі ойлап табылды. Оның мәні қоспадағы пайда болған сығу кернеулерін бірдей етіп, қалып қоспасы сынамасын жарылыспен және жаншумен тығыздаған соң, қалдық деформацияларын (демек, тығыздықтар) салыстыруға байланысты. Қалып қоспасы тұтқырлығының қоспаның тығыздалмай қалу дәрежесіне әсерін есепке алу үшін келесі қатынас ұсынады:

$$\Delta \varepsilon_{\text{вяз}} = \frac{\varepsilon_{\text{стат}} - \varepsilon_{\text{дин}}}{\varepsilon_{\text{стат}} + \varepsilon_{\text{упр}}}$$

мұндағы $(\varepsilon_{\text{стат}} + \varepsilon_{\text{упр}})$ – қалып қоспасының толық деформациясы; $\Delta \varepsilon_{\text{вяз}}$ – тұтқырлықтың қалып қоспасының жалпы деформациясына әсер етуін сипаттайтын шама; $\varepsilon_{\text{стат}}$ – қалып қоспасының статикалық жаншудан кейінгі қалдық деформациясы; $\varepsilon_{\text{дин}}$ – қалып қоспасының жарылыспен тығыздаудан кейінгі қалдық деформациясы; $\varepsilon_{\text{упр}}$ – қалып қоспасының серпімді деформациясы.

Тәсілді іске асыру үшін конструкциясы бірегей аспап жасалды. Оның жәрдемімен тығыздау процесі барысында қоспаның тұтқыр, серпімді және пластикалық қасиеттері өзгеруінің сипаты анықталды. Тығыздау процесінде олардың мәні қайта бөлінеді, бірақ жалпы сомасы өзгермейді. Үдету кезеңінде қоспа ең азсерпімді қасиетін көрсетеді, тұтқырлық қасиеті төмендейді, ал пластикалық қасиеті жоғарылайды. Бірқалыпты қозғалған кезінде, тұтқыр қасиеті минималды және пластикалық қасиеті максималды болады. Одан әрі процес аяқталғанға дейін тұтқыр қасиеті 80...90 %-ға дейін көбейеді, ал пластикалық қасиеті іс жүзінде нөлге дейін кемиді. Серпімді қасиеті процесс бойы дерлік түзу сызықты болады, бірақ аздап өсе береді.

Түйін сөздер: қалып қоспасы, тығыздау процесі, импульс, тұтқырлық, серпімділік.

В. Г. Березюк¹, С. Б. Кузембаев², М. Р. Сихимбаев³, Б. Н. Абсадыков⁴

¹Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия;

²Кокшетауский государственный университет им. Ш. Уалиханова;

³Қарағандинский экономический университет Казпотребсоюза, Караганда, Казахстан;

⁴Институт химических наук им. А. Б. Бектурова, Алматы, Казахстан

УПЛОТНЕНИЕ ВЯЗКО-УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОЙ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ ИМПУЛЬСОМ ВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ

Аннотация. В статье рассматривается процесс уплотнения песчано-глинистой формовочной смеси воздействием импульса взрыва горючего газа. Опыты проводились на экспериментальной установке, созданной на базе формовочного полуавтомата. Установлена зависимость плотности литейной формы от мощности импульса и физико-механических свойств смеси. Волна взрывного давления приводит в движение столб смеси в опоке. Перемещение смеси происходит последовательными слоями. Каждый слой вначале разгоняется, затем движется равномерно, тормозится и потом останавливается. При этом происходит уплотнение слоя за счет кинетической энергии движения. Чем больше скорость разгона формовочной смеси, тем больше приобретаемая ею кинетическая энергия и, соответственно, напряжение сжатия, возникающее при уплотнении.

Чтобы привести смесь в движение, надо преодолеть ее инерцию покоя. Поэтому при кратковременном действии нагружения слой смеси, благодаря своей инерции, начинает движение, когда волна давления уже прошла через нее. Таким образом, процесс уплотнения не успевает следовать за нагрузкой, т.е. происходит запаздывание деформации формовочной смеси от нагружения. Более рыхлая смесь разгоняется сильнее, чем более плотная. Контактные связи между частицами малоплотной смеси слабее, чем связи между частицами более плотной смеси и разрушаются легче. Поэтому время запаздывания между началом деформации формовочной смеси и импульсом нагружения уменьшается, а деформация и скорость деформации увеличиваются. Причем время запаздывания зависит от прочности контактных связей и физико-механических свойств

формовочной смеси. Межчастичные связи формовочной смеси обеспечиваются в основном пленкой глинистого связующего. А преобладающим ее свойством является вязкость. Логично предположить, что вязкость оказывает существенное влияние на процесс импульсного уплотнения.

Подвижность песчано-глинистой смеси также зависит от ее физико-механических свойств, в первую очередь вязкости. Для изучения влияния вязкости формовочной смеси на степень недоуплотнения при взрывной формовке был разработан способ технологического определения вязкости. Он заключается в сравнении остаточных деформаций (и, как следствие, плотностей) образца формовочной смеси после уплотнения взрывом и прессованием при одинаковых напряжениях сжатия, возникающих в смеси. Для подсчета влияния вязкости формовочной смеси на степень ее недоуплотнения предлагается соотношение:

$$\Delta\varepsilon_{\text{вяз}} = \frac{\varepsilon_{\text{стат}} - \varepsilon_{\text{дин}}}{\varepsilon_{\text{стат}} + \varepsilon_{\text{упр}}},$$

где $(\varepsilon_{\text{стат}} + \varepsilon_{\text{упр}})$ – полная деформация формовочной смеси; $\Delta\varepsilon_{\text{вяз}}$ – величина, характеризующая влияние вязкости на общую деформацию формовочной смеси; $\varepsilon_{\text{стат}}$ – остаточная деформация формовочной смеси после статического прессования; $\varepsilon_{\text{дин}}$ – остаточная деформация формовочной смеси после уплотнения взрывом; $\varepsilon_{\text{упр}}$ – упругая деформация формовочной смеси.

Для реализации способа был разработан прибор оригинальной конструкции. С его помощью установлен характер изменения вязких, упругих и пластических свойств смеси в течение процесса. В процессе уплотнения происходит перераспределение их значений, но их общая сумма остается неизменной. На стадии разгона смесь обладает минимальными упругими свойствами, проявление вязких свойств снижается, а пластических возрастает. При равномерном движении вязкие свойства минимальны, а пластические – максимальны. Далее до окончания процесса вязкие свойства возрастают до 80...90 %, а пластические уменьшаются практически до нуля. Упругие свойства возрастают почти линейно в течение всего процесса, но незначительно.

Ключевые слова: формовочная смесь, процесс уплотнения, импульс, вязкость, упругость.

Information about authors:

Berezyuk Vladimir Grigorievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Russian Federation, Krasnoyarsk, Siberian Federal University, Polytechnic Institute, associate professor at the department of 'Materials Science and Technology'; vberezuk@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0923-0289>

Kuzembayev Serik Babaevich, Doctor of technical sciences, docent, the active member of the International Informatization Academy (The diploma No.1833 PK from 06.11.2015), Kazakhstan, Kokshetau, Kokshetau State University named after S. Ualikhanov, professor at the Department of Engineering Technology and Transport; ksb_mlp@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2515-6696>

Sikhimbayev Muratbay Ryzdikbayevich, Doctor of Economic Sciences, Professor, the Corresponding member of the Russian Academy of Natural sciences (The diploma No. 4771 from 08.11.2011), Kazakhstan, Karaganda, Karaganda economic university of Kazpotreboysuz, professor at the Department of "Ecology and assessment"; smurat@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8763-6145>

Absadykov Bakhyt Narikbayevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, the Corresponding member of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Kazakhstan, Almaty, A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences; b_absadykov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7829-0958>

REFERENCES

- [1] Kuzembaev S.B., Berezyuk V.G., Sinichkin A.M. Gas-dynamic aspects of pressing molds and rods with compressed air // LP, 2010. N 11. P. 10-13 (in Russ.).
- [2] Verbitsky V.I. Intensity and efficiency of air-pulse molding // LP, 2019. N 4. P. 10-14. (in Russ.).
- [3] Verbitsky V.I. Mechanism of compaction of the molding mixture by air pulse // LP, 2019. N 3. P. 26-30 (in Russ.).
- [4] Boldin A.N. On deformation of the molding mixture during pulse compaction // LP, 2006. N 6. 15 p. (in Russ.).
- [5] Verbitsky V.I. Compaction of the molding mixture with air in the seiatsu process: air flow or pressure pulse // LP, 2017. N 3. P. 6-11 (in Russ.).
- [6] Maskin A.A. Development of ideas about the mechanism of compaction of forms and development of methods of modeling and calculations of working processes of forming machines and technology for obtaining forms using a compressed air pulse // abstract of the thesis of KTN on metallurgy, 05.16.04. M.: MGTU "MAMI". 2000 (in Russ.).
- [7] Akhmetov Zh.E. Experimental studies to determine the effect of parameters of the gas-pulse press on the quality of products] // Technical Sciences: problems and prospects: materials of the II international journal . science. Conf. (St. Petersburg,

April 2014). SPb.: Zanevskaya square, 2014. P. 65-72. URL <https://moluch.ru/conf/tech/archive/89/4783/> (accessed 08.02.2020) (in Russ.).

[8] Orlov G.M., Blagonravov B.P. mechanism of pulse compaction // Foundry, 1992. N 10. P. 4-5 (in Russ.).

[9] Vasilkovsky L.F. Mechanism and conditions of deformation of the mixture in the pulsed method of forming // Foundry. 1987. N 3. P. 12-14 (in Russ.).

[10] Golub D.M. Pulsed compaction of sand and clay forms // Casting and metallurgy. 2000. N 1. P. 19-20 (in Russ.).

[11] Barats N. I. Soil Mechanics: Textbook. Omsk: SibADI Publishing house. 2008. 106 p. (in Russ.).

[12] Berezyuk V.G., **Kuzembayev S.B.**, Sherov K.T., Sikhimbayev M.R. et al. Increase of precision of casting blocks by applying acoustical oscillations in gas-impulsive moulding // Journal of Vibroengineering, Vol. 17, Issue 5, Aug 2015. P. 2178-2186. ISSN 1392-8716 (Online) (in Eng.).

[13] Mishnev S.V., Berezyuk V.G., Kuzembayev S.B. et al. The scientific researches directed on receiving preparations from the textured metal sheet with the set properties// News Of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2019. Vol. 4, N 436. P. 137-144. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.107>, ISSN 2518-170X. (Online), ISSN 2224-5278 (Print) (in Eng.).

[14] Aksenov P.N. The equipment of foundry shops. M.: Mashinostroenie, 1997. 510 p. (in Russ.).

[15] Kiyani E.F., Tumanova L.P. Fluidity of the molding mixture (review) / Komarov P.E. M.: NIIMASH, 1966 (in Russ.).

[16] Korotchenko A. Yu., Konyshev A.B., Verbitsky V.I. Rheological model of dynamic compaction of the molding mixture // Foundry production, 1989. N 8. P. 25-27 (in Russ.).

[17] Walter A.I., Kulakov D.I. Mathematical model of the compaction process when casting in sand-clay forms // Izvestiya Tulgu. Technical science. 2013. Vol. 10. P. 55-59 (in Russ.).

[18] Kamensky V.V. Theoretical bases of development of technology for obtaining high-quality castings with a complex ribbed surface // abstract of the thesis of the DTN on metallurgy, 05.16.04. M.: MGIU. 2005. 40 p. (in Russ.).

[19] Komarov L.E., Sheklein N.S. Structural rheological model of the molding mixture // Journal of mechanical engineering, 1984. N 8. P. 59-62 (in Russ.).

[20] Sherov K.T., Sikhimbayev M.R., Absadykov B.N., Sikhimbayeva D.R., Buzauova T.M., Karsakova N.G., Gabdysalyk R. Control's accuracy improvement and reduction of labor content in adapting of ways of metalcutting tools // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2018. Vol.6, N 432. P. 170-179. <https://doi.org/10.32014/2018.2518-170x.47>, ISSN 2518-170X. (Online), ISSN 2224-5278 (Print) (in Eng.).

[21] Kurmangaliyev T.B., Sherov K.T., Sikhimbayev M.R., Sikhimbayeva D.R., Musayev M.M., Mazdubai A.V. et al. (2018) Experimental study of optimal parameters of pneumatic motor of vibration table for inertial vibroabrasive machining the parts on the basis of beryllium oxide // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2018. Vol. 5, N 431. P. 184-191. <https://doi.org/10.32014/2018.2518-170X.24>, ISSN 2518-170X. (Online), ISSN 2224-5278 (Print). (in Eng.).