

## СЪВРЕМЕННО ПРОИЗВОДСТВО НА ПРОГРАМИРАНИ ЗЪРНОМЕТРИИ

**Димитър Мочев<sup>1</sup>, Борислав Колев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София, E-mail: dmochev@start.bg

<sup>2</sup> „Каолин“ АД, гр. Сеново, обл. Русе

**РЕЗЮМЕ.** Насипните материали – и естествените, както и произведените от по-груби зърнометрични фракции – обикновено не съответстват с достатъчна точност на изискванията на следващия потребител. Това е факт, особено в случаите, когато те трябва да бъдат използвани в състава на разнообразни композити и смеси, включително и на такива като строителни разтвори и леярски смеси. За успешното решаване на проблема е необходимо да бъдат на лице две обстоятелства. Първото е да са използва точен модел /апроксимация/ на зърнометричното разпределение в материала, обикновено зададено в дискретна форма, което не е голям проблем със станалите вече конвенционални средства за идентификация и ползваната широко изчислителна техника. Второто условие е наличието на техническите средства за производството на материала с необходимото зърнометрично разпределение. Последното в повечето случаи е лесно осъществимо за зърнометриите, зададени единствено с опростен модел на разпределението, като например ограничение на размера отгоре и отдолу, или с характерната /разчетната/ класа. За производството на материали, чиято зърнометрична характеристика е зададена със средното си тегло в целия спектър на едрините и с допустимите отклонения в теглото на всяка зърнометрична класа съвременната техника създава все по-комплицирани и съвършени устройства, които да могат да произвеждат стандартната продукция при наличните вариации в свойствата на естествената суровина. Внедряването на програмируемо устройство за производство на сухи класирани кварцови пясъци е предметът на представената тук разработка.

### AN ACTUAL PRODUCTION OF MATERIALS WITH PROGRAMMED SIZE DISTRIBUTION

*Dimitar Mochev<sup>1</sup>, Borislav Kolev<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, E-mail: dmochev@start.bg

<sup>2</sup> "Kaolin" plc., Senovo, Rousse region

**ABSTRACT.** Particle compounds, as well of natural origin, as produced of coarser ones, commonly do not correspond with the needful accuracy to the pretentions of the users. It happens especially, in the case of their usage in several composites and mixtures, including building solutions and casting mixtures. A successfully solution of the problem needs the availability of two circumstances. First one is the involvement an usage of a precise model /approximation/ of the material size distribution, usually in a discrete mode, which is not a big problem by the still conventional instrumentation for identification and computing. The second needed condition should be the availability of apparatus elaborating the programmed particle size distribution. For the size compounds, circumscribed by means of limiting an upper and a minimal size, as well as by means of definite characteristic /computational/ size class, the production problem could be resolved usually using the conventional size reducing and classifying devices. The techniques now-a-days issues more and more complicated end perfect machines assuring production of exact characteristics. For the production of particle compounds, possessing size characteristics, defined by the mean value of its weight in the whole spectrum of the grain sizes and additionally the standard deviations in the weight of every size class one could find also a solution even by the condition of some variations of the properties of the original material being processed. A performance of a programmed device, producing dry classified silica sands has been the subject of the present work.

### Въведение

Производството на сухи класирани кварцови пясъци в «Каолин» АД винаги е било един от най-тежките технологични проблеми на изследователите, проектантите и производителите. През целия досегашен период на производство са използвани най-различни устройства, и при всичките тези устройства не е постигана необходимата производителност и качество за задоволяване на наличните пазарни нужди.

Пясък е общото обозначение за материали, състоящи се от разкрити/отделни/ зърна от минерали или скали. В техниката това са зърнометриите между  $\frac{1}{16}$  mm и 2 mm и те попадат в спектрите на размерите между шлам и чакъл. Съществуват множество варианти на природни пясъци според уникалния си състав и качество. По цвят те варират

между свършената белина на първичните варовикови пясъци на тропическите плажове и черните магнетитови пясъци от вулкански произход. Други пясъци с високо съдържание на желязо са с жълт до кафяв цвят ([www.wisegEEK.com/sandstone](http://www.wisegEEK.com/sandstone)).

Най-разпространения в земната кора минерал е кварцът и най-голямото количество кварцови пясъци е произлязло от разрушаването на кварцови кристали, предизвикано от природните ерозионни процеси – основно от въздействието на води и вятър. Кварцовите пясъци имат най-широко и разнообразно приложение: филтрация на води, производство на стъкла, металолеене, струйно почистване, добавка за текстури на пътища, производство на бетони и варови разтвори за строителството. Производството и доставката на кварцови пясъци се осъществяват в големи количества за нуждите на тежката индустрия, както и в минимални опаковки за домакински нужди. По някои световни търговски данни стойността на

кварцовите пясъци при производителя е по-малко от \$0.50 US за паунд, а котировката при клиентите възлиза от порядъка на \$1.50 USD за паунд. ([www.jyotiminerals.com/query](http://www.jyotiminerals.com/query)).

## Индустриални кварцови пясъци

Най-голямото световно потребление на кварцовия пясък е в производството на бетони. Следващо по абсолютен обем на консумация след строителството е количеството на индустриалните кварцови пясъци, влагани в производството на стъкла и леярството. За кварцовия пясък обикновено има изисквания да бъде добре класиран, т.е. да съдържа зърна с еднаква и равномерна в някаква степен едрина. Кварцовият пясък може да бъде произвеждан както от разсипни пясъци, така и от раздробен пясъчник. Освен за стъklarството той може да се използва и за форми за леярската индустрия. И множество по-дребни производства използват тези марки заради тяхната химическа чистота или заради физическите им качества (зърнометрично разпределение и форма на зърната). Тук се включват керамиките, филтрирането на води, пещите с кипящ слой и химическите производства. В практиката е обичайно използването на широка гама от специфични показатели за задоволяване на тези специални изисквания.

Заради високите изисквания към *кварцовите пясъци за производството на стъкло*, тези марки пясъци се разглеждат в отделна номенклатура. Изискванията за тези класове кварцови пясъци са постановени например в Британски стандартни методи за опробване и анализ на стъklarски пясък (BS 2975:1988). Тези зърна могат да бъдат с различен минерален състав, но доминиращият компонент в пясъка е минералът кварц. Като други компоненти могат да се срещнат фелдшпати и други съдържащи алуминий и желязо минерали. Пясъците, които са с особено високо съдържание на силициев диоксид и се използват за цели не свързани със строителството се означават като индустриални кварцови пясъци ([www.samsa.org.uk/use\\_foundries02.htm](http://www.samsa.org.uk/use_foundries02.htm)).

В „Каолин“ АД – фабрика Сеново е разработена и внедрена високотехнологична и високоефективна инсталация за производството на сухи класирани кварцови пясъци за формовъчни смеси, плакирани пясъци, и специални пясъци за отговорни строителни смеси и разтвори. Новата схема за производството на тези продукти е базирана на основно звено Tumbler Screening Machine KTS 2000/3, производство на фирмата GKM Siebtechnik GmbH, Germany ([www.gkm-net.de](http://www.gkm-net.de)).

### Леярски пясъци

Индустриалният леярски пясък се състои преди всичко от чисти, с еднакъв размер, висококачествен кварцов пясък или езерен пясък, който трябва да бъде свързан във форми за леене на черни (стомани) и цветни (мед, алуминий, месинг) метали. Тези пясъци са чисти преди да бъдат използвани, но след леенето могат да бъдат «замърсени» с метал. Черната металургия отчита отпадането на приблизително 95% от формовъчните пясъци използвани в металолеенето. Автомобилната

индустрия и нейните доставчици са преимуществените генератори на формовъчни пясъци. Най-често използваният леярски процес, прилаган в леярската индустрия е системата с пясъчни форми. Практически всичките пясъчни леярски форми за леене на черни метали са от типа зелен пясък. Зеленият пясък е съставен от висококачествен кварцов пясък, около 10% бентонитова глина (като свързващо вещество), 2 до 5 % вода и около 5% морски въглища (богата на въглищно вещество леярска пръст, за подобряване на кастинг финиша). Според метала, който ще се отлива се определя вида на добавките и марката на пясъка които трябва да се бъдат използвани. Зеленият пясък, използван в процеса съставлява повече от 90 % от използвания формовъчен материал ([www.wisegeek.com/sandstone.htm](http://www.wisegeek.com/sandstone.htm) & url, US Pat. 2009/0012746 A1). За системи за отливки се използват и химически свързани пясъци. Тези системи включват използването на едно или няколко органични свързващи вещества (обикновено патентовани) в комбинация с катализатори и втвърдители. Формовъчният пясък обикновено представлява около 97% от тази смес. Химически свързаните системи се използват най-често за производство на „сърца“ (за производство на кухни, за които не е практично да се произвеждат чрез нормалните формовъчни процедури) и за форми за отливки от цветни метали. Годишната продукция на формовъчни отпадъци (включително прах и отработен формовъчен пясък) в САЩ се счита да е от порядъка на 9 до 13,6 милиона метрични тона (10 до 15 милиона тона). По правило около 1 тон формовъчен пясък се изисква за производството на всеки тон стоманена отливка. За производството на кварцов пясък за леярската промишленост SiO<sub>2</sub> е не по малко от 98,5% и съдържанието на глинесто вещество (зърнометрична класа -0,022 mm) е не повече от 0,2%, (БДС 4035-90).

### Производството на сухи кварцови пясъци в „Каолин“ АД

Производството на сухи кварцови пясъци в дългата история и опит на предприятието, днес собственост на „Каолин“ АД през годините – приблизително от началото на шестдесетте години на миналия век - се е осъществявало по разнообразни схеми: класиране в барабани и дъгови сита, хидравлични камерни класификатори с възходящ и хоризонтален воден поток, включително импортната конструкция „REAX“, класиране в хоризонтален въздушен поток в комбинация с електросепарация – местна разработка. Всички те не са давали напълно задоволителни резултати. Основната причина е била невъзможността от текущото производство на рудника – „случайна зърнометрия“ – да се произведе точно зададения - по заявка на клиента и съответно на стандарта за формовъчен пясък – продукт със зърнометрично разпределение, съответстващо на заявката и при това да се постигне необходимото извличане, респективно минимални загуби на суровина. Това се дължи в същност на сложността на задачата от „случайната“ зърнометрия да се получи този най-сложен в това отношение продукт – формовъчен пясък, както и строителни пясъци за отговорни строителни смеси, съответстващи на европейските норми, при които винаги са валидни не само ограниченията по отношение на

максимални и минимални едрини, но също така и една сравнително точна форма на зърнометричната крива.

Всичко това бе наложило – като най-просто и евтино технологично решение – производството на сухите кварцови пясъци през една семпла схема на класиране, състояща се от комбинации барабани сита. Тази проста технология, просъществувала да реализацията на настоящата разработка проявява следните най-съществени недостатъци: ниска ефективност на пресяване, необходимостта от ръчно почистване на ситовите повърхности, ръчно подмяна и преоборудване на ситовите повърхности, висок разход на ел. енергия – до 22 kW/h, висока степен на запрашеност и лоши условия на труд, ниска производителност и ниска ефективност на машините.

Като изходна суровина се използват мокро класирани кварцови пясъци с влажност от 6-8%.

Новата инсталацията (Технически проект 2010, Фиг. 1) е предназначена за производството на сухи, еднородни и високоеднородни класирани кварцови пясъци, използвани в леярската и строителната индустрии. Една обобщена характеристика на сухите класирани пясъци според действащите норми и стандарти е представена в следната таблица (БДС 4035-90):

Таблица 1.

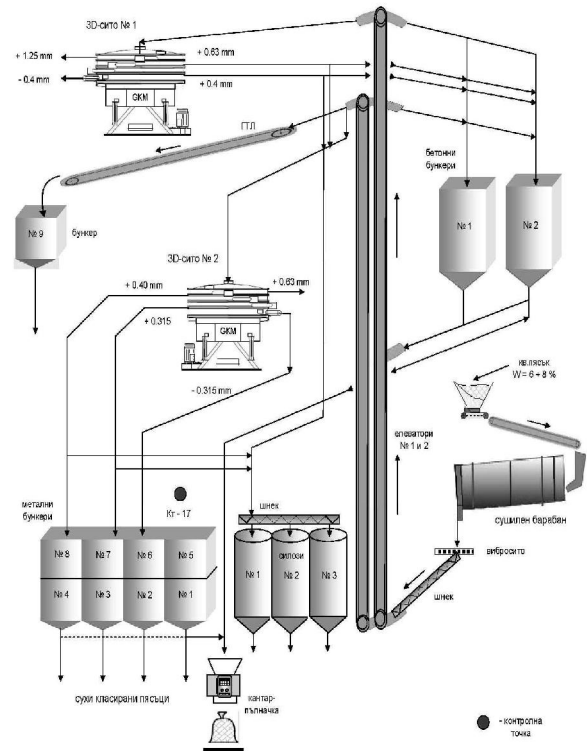
Параметри на зърнометричните разпределения

ПАРАМЕТРИ НА ЗЪРНОМЕТРИЧНОТО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ ПК016					
d <sub>50</sub>	Еднородност (80-90) > 90%		Други ограничения		
	$\Sigma: (+0,1) \& (+0,16) \& (0,25-0,315)$	2/3d <sub>50</sub> - 4/3d <sub>50</sub>	Съдържание на класа -0,022	Съдържание на класа -0,063	Съдържание на класа -1,0
0,1 < 0,16mm	0,1 < 0,315mm	0,66 < 0,21mm	< 1,0%	< 1,0%	< 1,0%
ПАРАМЕТРИ НА ЗЪРНОМЕТРИЧНОТО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ ПК025					
d <sub>50</sub>	Еднородност (80-90) > 90%		Други ограничения		
	$\Sigma: (+0,16) \& (-0,25) \& (0,315-0,4)$	2/3d <sub>50</sub> - 4/3d <sub>50</sub>	Съдържание на класа -0,022	Съдържание на класа -0,063	Съдържание на класа -1,6
0,16 < 0,25	0,16 < 0,4	0,1 < 0,33	< 1%	< 1,00,3%	< 1,0,5%
ПАРАМЕТРИ НА ЗЪРНОМЕТРИЧНОТО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ ПК0315					
d <sub>50</sub>	Еднородност (80-90) > 90%		Други ограничения		
	$\Sigma: (+0,25) \& (-0,315) \& (0,4-0,63)$	2/3d <sub>50</sub> - 4/3d <sub>50</sub>	Съдържание на класа -0,022	Съдържание на класа -0,063	Съдържание на класа -1,6
0,2 < 0,315	0,25 < 0,63	0,21 < 0,42	< 1%	< 1,0,5%	< 2,1%
ПАРАМЕТРИ НА ЗЪРНОМЕТРИЧНОТО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ ПК04					
d <sub>50</sub>	Еднородност (80-90) > 90%		Други ограничения		
	$\Sigma: (+0,315) \& (-0,4) \& (0,63-0,8)$	2/3d <sub>50</sub> - 4/3d <sub>50</sub>	Съдържание на класа -0,022	Съдържание на класа -0,1	Съдържание на класа -2,5
0,315 < 0,4	0,315 < 0,8	0,27 < 0,53	< 1%	< 3,2%	< 1,0,5%
ПАРАМЕТРИ НА ЗЪРНОМЕТРИЧНОТО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ ПК063					
d <sub>50</sub>	Еднородност (80-90) > 90%		Други ограничения		
	$\Sigma: (+0,4) \& (-0,63) \& (0,8-0,1)$	2/3d <sub>50</sub> - 4/3d <sub>50</sub>	Съдържание на класа -0,022	Съдържание на класа -0,1	Съдържание на класа -2,5
0,4 < 0,63	0,4 < 0,1	0,27 < 0,8	< 1%	< 3,2%	< 1,1%

Вибрационната пресевна машина KTS

Класирането на сухите кварцови пясъци се осъществява по схемата представена на фигура 4.

В зависимост от марката сух кварцов пясък, се използват различни съчетания и последователности на машините и апаратите, като за целта са осигурени достатъчни, различни по вид и технически характеристики връзки за транспорт на кварцовия пясък помежду им.



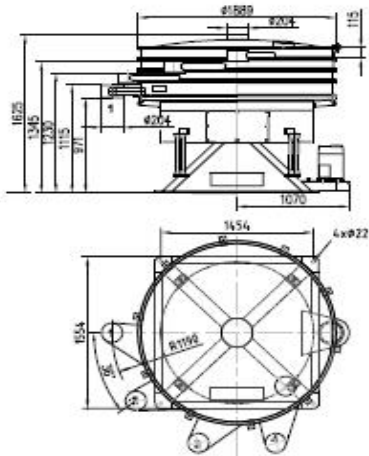
Фиг. 1. Верижна схема на апаратите в "Цех за сухи пясъци"

Гъвкавото комбиниране на наличните съоръжения, позволява да се произведат посочените сухи класирани кварцови пясъци. Основното звено в схемата на класиране е инсталацията Tumbler Screening Machine KTS 2000/3 производство на фирмата GKM Siebtechnik GmbH Germany ([www.gkm-net.de](http://www.gkm-net.de)).

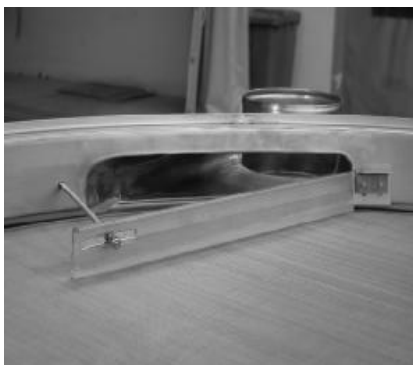
Вибрационната пресевна машина KTS се използва само за пресяването на насипени сухи материали.



Фиг. 2. Трипалулна вибрационна пресевна машина KTS 2000/3.



Фиг. 3. Габарити на трипалубната вибрационна пресевна машина KTS 2000/3.



Фиг. 4. Дефлектор

**Описание на операцията пресяване.** Основното движение на вибрационната пресевна машина може да се сравни с «естественото» ръчно пресяване. Захранването е непрекъснато в центъра на ситото, от където той се придвижва равномерно навън над цялата пресевна повърхност. Траекторията на материала върху ситото е равнинна спирала с нарастващо ускорение на вибрациите от центъра към периферията. По-фините частици преминават през ситото близо до центъра, а по-едриите – по-близо до периферията. Надситовият продукт се отправя от дефлектор (отбивно рамо) към разтоварващия отвор за надситов продукт.

Регулирания отвор на дефлектора увеличава или намалява времето на пребиваване на продукта върху ситото. Върху всяка платформа процесът на пресяване се повтаря по същия начин. Най-съществения възел на вибрационната пресевна машина е патентованата система за регулиране на индивидуалното време на пребиваване на всеки продукт който се пресява. Между главния вал и главната ос първо се регулира изместването на ексцентрика в интервала между 20-40 мм. Създава се въртливо движение в основна равнина на ситовото тяло. Ситовото тяло се накланя радиално както и тангенциално към оста на задвижване, като по този начин създава три-измерно движение.

**Регулиране на настройките.** Ексцентричният радиус е регулируем в диапазон от 20 до 40 мм. Със същата скорост на въртене и по-голям ексцентрик ускоряването се увеличава. Всички промени на ексцентрика водят до промяна на динамичния масов баланс. Радиалният наклон изхвърля материала напред от центъра към периферията. При твърде голямо радиално наклон се получава празен център и натрупване в периферията. При твърде малък радиален наклон се получава голям продуктово слой върху ситото. Тангенциалният наклон изхвърля продукта в кръг от вътрешността навън. Твърде голям тангенциален наклон причинява запълване на центъра. Прекалено малкият тангенциален наклон създава голям продуктово слой във външната страна.

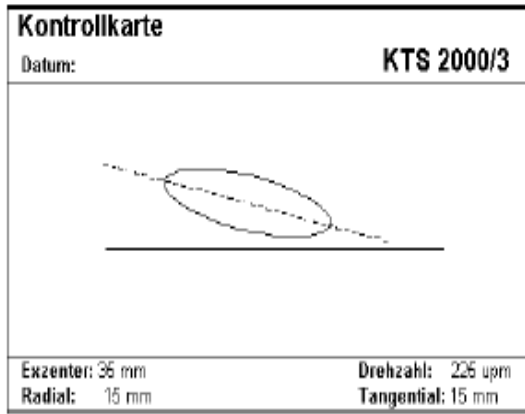
Дефлекторите срещу изходите дават една допълнителна възможност за увеличаване или намаляване на времето на пребиваване на материала върху ситото. По-широко отвореният дефлектор извежда материала по-бързо от ситото и обратно. Здравото и хоризонтално разполагане на дефлектора върху ситата трябва да се проверява след всяка промяна на ситото.

Амплитудата на вибрациите може лесно и точно да бъде записана на една диаграма и тя има елиптична форма. С просто записващо устройство с писалка елипсата може да начертае на лист хартия и след това да бъде измерена. Оптималните параметри могат да се «съхраняват» по този начин и възпроизвеждат по-късно по всяко време.

Малкият радиус на елипсата е радиалният наклон. Наклонът на голямата ос на елипсата към хоризонталната линия е тангенциалният наклон. Дължината на елипсата е 2 x ексцентрика или радиуса.

Класиране напясъците се извършва при следната компановка:

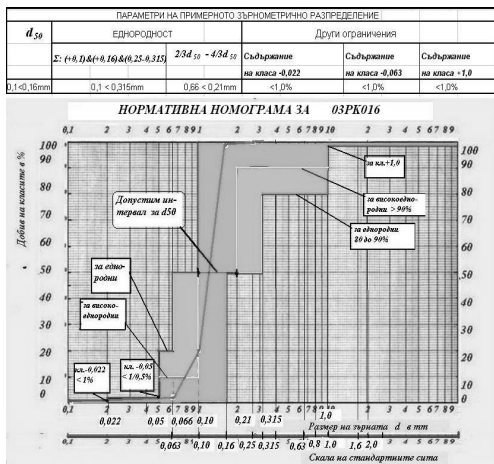
- За ПК 0,315 вибрационната пресевна машина се оборудва със ситови повърхности по реда - първо сито 0,8 mm, второ сито 63 mm, трето сито 0,315 mm; Кварцовият пясък, минус на сито 0,63 mm. и плюс на сито 0,315 mm. е готов продукт ПК 0,315.
- За ПК 0,40 оборудването е със ситови повърхности- 1,25 mm, 0,710 mm и 0,40 mm. Минус на сито 0,710 mm. и плюс на сито 0,40 mm. е готов продукт ПК 0,40.
- За ПК 0,63 оборудването е със ситова повърхност със светъл отвор 1,25 mm. Пясъкът минус на сито 1,25 mm. е готов продукт ПК 0,63. Пясъкът получен като плюс на сито 1,25 mm. е технологичен отпадък;
- За ПК 0,8 - ситова повърхност със светъл отвор 1,5 mm; минусът на сито 1,5 mm. е готов продукт ПК 0,8., Кварцовият пясък получен като плюс на сито 1,5 mm. е технологичен отпадък. Като изходна суровина се използва кварцов пясък 0,8 mm. с влага 6-8 %.
- За ПК 1,0 - ситовата повърхност е 2,0 mm. Минусът на сито 2,0 mm е готов продукт ПК 1,0. Кварцовият пясък, получен като плюс на сито 2,0 mm е технологичен отпадък. Начална суровина е кварцов пясък 0,8 mm. с влага 6-8 %.



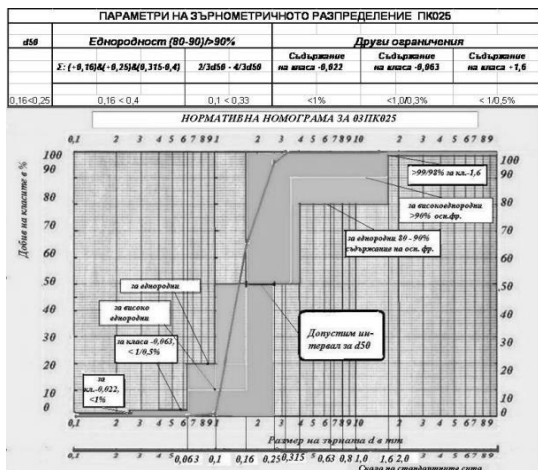
Фиг. 5. Проверка на регулировките на машината

## Типични резултати

Графичните резултати са представени на номограми, разработени за нагледно изобразяване на зърнометричните характеристики на продуктите по модела на производството на EUROQUARZ GmbH и по европейските стандартни за кварцови насипни материали на фигурите 6,7,8, и 9, където сумарната характеристика по „минус“ е ограничена в допустимата зона за сумарното разпределение на конкретната продукция.

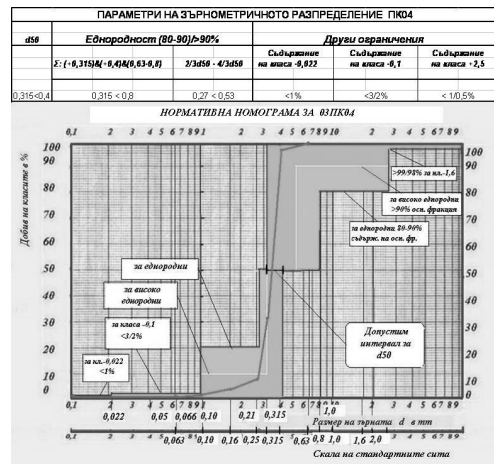


Фиг. 6. Сумарна зърнометрична характеристика на PK016

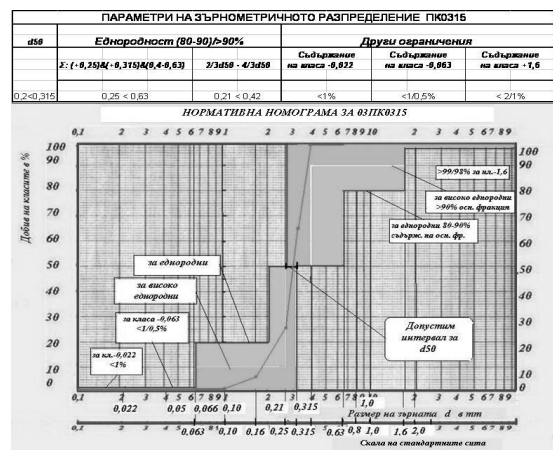


Фиг. 7. Сумарна зърнометрична характеристика на PK025

Обозначени са допустимата област за разпределението на стандартните продукти от клас високо-еднородни, както и са зададени «по-меките» условия на еднородни класирани пясъци. Следва да добавим, че по-строг погледнато ако си представим разгънатата траектория на движението на материала върху ситовата повърхност – разгънем равнинната спирала – и установим кривата на кинетиката на пресяване за отделното сито, би могло да се разработи номограма за зависимост между ъгъла на настройване на дефлектора и времето на пребиваване на материала върху ситото – т.е. може по-точно да се оптимизира оптималното извличане на подситова класа, отговаряща на изискването за еднородност на продукта по основна фракция. Все пак по експертна преценка от практиката се счита, че една такава операция на практика би била прекалено капризна, недостатъчно надеждна и няма да отговаря на обема на вложените усилия, а и едва ли би заместила сегашното просто обслужване на апаратите, което дава напълно удовлетворителни практически резултати.



Фиг. 8. Сумарна зърнометрична характеристика на PK04



Фиг. 9. Сумарна зърнометрична характеристика на PK0315

## Заключение

Съпоставка между старата и нова инсталация за класиране на сухи кварцови пясъци, в Цех „Суши пясъци“, фабрика Сеново, се заключава в следните предимства на нова инсталация:

- Висока ефективност на пресяване;
- Самочистяване на ситовите повърхности с помощта на каучукови топки;
- Бърза и лесна подмяна на ситовите повърхности с помощта на специален повдигач;
- Нисък разход на ел. енергия - 5,5 кВт/тон сух кв.пясък;
- Затворен тип сито-няма запрашаване, добри условия на труд;
- Висока производителност, съчетана с гарантирано качество на готовият продукт, около 24 тона за 24 часа.

Вибрационната пресевна уредба "GKM", внедрена във фабрика Сеново в Цех "Сухи пясъци" е съоръжение, което подобрява ергономичните, екологичните и икономически показатели на цеха.

*Препоръчана за публикуване от катедра „Обогатяване и рециклиране на суровини“, МТФ*

## Литература

- „Каолин“ АД. *Технически проект Фабрика “ Сеново ”*, 2010г.  
 БДС 4035-90/1990г. Комитет по качеството, София, 1990.  
<http://www.euroquartz.de/>.html  
[www.gkm-net.de](http://www.gkm-net.de)  
<http://www.jyotiminerals.com/query.html&rurl>  
[http://www.samsa.org.uk/use\\_foundries02.htm](http://www.samsa.org.uk/use_foundries02.htm)  
<sup>9)</sup> **United States**  
<sup>2)</sup> **Patent Application Publication** <sup>(10) Pub. No.: US 2009/0012746 A1</sup>  
 Kairo et al. <sup>(43) Pub. Date: Jan. 8, 2009</sup>  
<http://www.wisegeek.com/sandstone.htm&rurl>