



МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ “Св. Иван Рилски”

МИННОТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ

КАТЕДРА „ОБОГАТЯВАНЕ И РЕЦИКЛИРАНЕ НА СУРОВИНИ”

маг. инж. Мирослав Натов Маринов

**Комбинирани технологии за преработване на
индустриални минерали**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**на дисертационен труд за получаване на образователна и научна степен
„Доктор”**

Наименование на научната специалност:

„Обогатяване на полезните изкопаеми”

Научен ръководител:

Проф. д-р Иван Михайлов Нишков

София - 2014

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от катедрен съвет на катедра „Обогатяване и рециклиране на суровини“, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“ – София.

Пълният обем на дисертацията е 141 страници, 18 таблици и 32 фигури. Използваната литература обхваща 169 заглавия на кирилица и латиница. Дисертацията се състои от въведение, шест части, шест глави, заключение, научно-приложни приноси, списък с литературните източници и списък с публикациите по темата на дисертацията.

Изследванията по дисертационния труд са извършени в МГУ „Св. Иван Рилски“, „Каолин“ АД - част от немската компания Quarzwerke GmbH и в изследователската база на DERRICK Corporation, гр. Бъфало, САЩ.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на открито заседание пред научно жури, назначено от Ректора на МГУ „Св. Иван Рилски“ на 18.12.2014 г. от 15:00 часа в зала 138 „Каолин“, Миннотехнологичен факултет, МГУ „Св. Иван Рилски“, гр. София на заседание на научното жури в състав:

1. Проф. д-р Иван Михайлов Нишков – МГУ, катедра „ОРС“
2. Доц. д-р Димитър Янков Мочев - МГУ, катедра „ОРС“
3. Проф. д-тн Щелиана Димитрова Джендова – експерт, външен член
4. Проф. д-тн Методи Стоянов Методиев – експерт, външен член
5. Доц. д-р Георги Петров Меразчиев – експерт, външен член

Резервни членове:

1. Проф. д-тн Стойчо Митрев Стоев - експерт, външен член
2. Доц. д-р Валерия Ковачева-Нинова - МГУ, катедра „ОРС“

Автор: маг. инж. Мирослав Натов Маринов

Заглавие: Комбинирани технологии за преработване на индустриални минерали

Научен ръководител:

Проф. д-р Иван Михайлов Нишков

Материалите във връзка с предстоящата защита са на разположение на заинтересованите лица в сектор „Следдипломна квалификация“.

Печат: Издателска къща „Св. Иван Рилски“ – МГУ – НИС

Изказвам благодарността си към моя научен ръководител **проф. д-р Иван Нишков** за ценните съвети и напътствия, за придобитите знания, за помощта и моралната подкрепа, която ми оказва през целия период на докторантурата.

Благодаря на ръководството и колегите от фирма „**Каолин**“ АД, **Quarzwurke GmbH** за подкрепата и съдействието при провеждане на експериментите.

Благодаря и на всички членове от **катедра “Обогатяване и рециклиране на суровини”** към Минно-геоложки университет “Св. Иван Рилски” за полученото съдействие.

Съдържание на автореферата на дисертационния труд	Стр.
I. Въведение и обща характеристика на дисертационния труд	
II. Анализ на състоянието на проблема в световната практика. Изводи от литературния обзор	
III. Актуалност на тематиката	
IV. Цел и задачи на дисертационния труд	
V. Мониторинг на процесите и продуктите при преработването на кварц-каолиновите пясъци в Обогатителна фабрика „Ветово”	
V. 1. Анализ на получените резултати	
V. 2. Изводи от проведения мониторинг	
VI. Лабораторни изследвания за мокро фракциониране на кварц-каолинови пясъци	
VI. 1. Изводи от лабораторните изследвания	
VII. Полупромишлени изследвания за фракциониране на кварц-каолинови пясъци	
VII. 1. Анализ на получените резултати	
VII. 2. Изводи от полупромишлените изследвания	
VIII. Промислени внедрявания	
VIII. 1. Комбинирана технологична схема за фракциониране на кварц-каолинови пясъци	
VIII. 2. Усъвършенствана комбинирана технология за фракциониране на кварц-каолинови пясъци	
IX. Изводи от промишлени внедрявания	
X. Общи изводи	
XI. Научно – приложни приноси в дисертационния труд	
XII. Публикации по дисертационния труд	

I. Въведение и обща характеристика на дисертационния труд

Икономическият потенциал на една страна, развитието и благосъстоянието на настоящето общество и бъдещите поколения зависят от минерално – суровинната база, мащабите на добив и преработка на полезните изкопаеми.

Зараждането на човечеството бележи и начало на използването на индустриалните минерали, а в бъдеще тяхното приложение ще нараства в резултат на всеобхватното развитие на промишлените производства. Тъй като свойствата на минералите определят конкретното им практическо приложение, почти всеки индустриален минерал се прилага в няколко различни по спецификация производства във всички отрасли на стопанската дейност.

През последните години навлязоха технологии, благодарение на които значително се увеличават и усъвършенстват полезните свойства на минералите. Спецификациите на индустриалните минерали никога не са били толкова важни, колкото през последните десетилетия. Параметри като размер на частицата, ронливост и дори влажност могат да има голямо въздействие върху пазарната цена на продукта. Точното и сигурно контролиране и измерване на качеството и количеството на параметрите е изключително важно.

Горепосоченото налага необходимостта от разработването на нови технологични решения, включващи комбинирани методи на обогатяване за пълноценно оползотворяване на индустриалните минерали в България.

Кварц-каолиновите пясъци са от първостепенно значение за българската индустрия от групата „индустриални минерали”. Поради тази причина настоящата дисертация е акцентирана към разработване и внедряване на принципно нови технологични решения – комбинирани технологии за преработване на български кварц-каолинови суровини.

Съдържанието на настоящата дисертация е оформено в *шест части*.

В първа част е направен литературен обзор, включващ общи сведения за кварцови пясъци и каолинови суровини, техните находища, световни производители и пазари. Разгледани са кварц-каолиновите находища в Североизточна България, които пространствено са обособени в три големи минерагенни района: Ветово-Сеновски, Каолиновски и Дуловски. Посочена е информация за геоложките, минераложки, химични и зърнометрични характеристики на суровината, технологии за преработка, области на приложение и технически изисквания.

Втора част на дисертацията конкретизира актуалността на проблема, цели, които трябва да се постигнат и задачите, които трябва да бъдат решени.

Третата част на настоящия труд обхваща мониторинг на процесите и продуктите, който е проведен в Обогатителна фабрика „Ветово”, лабораторни и полупромишлени изследвания за мокро фракциониране на български кварц-каолинови пясъци, които са проведени в Изследователски комплекс на Derrick

Coorporation в град Бъфало, САЩ.

Четвърта част на дисертацията е разделена на *три глави*. В *първа глава* са посочени резултатите от продължителният мониторинг на процесите и продуктите при преработването на кварц-каолиновите пясъци в ОФ „Ветово”, анализирани са получените резултати от проведеното генерално опробване на Обогатителната фабрика, посочени са зърнометричен и химичен състав на продуктите от опробването, минераложкия състав на крайния технологичен отпадък, изведени са съответните изводи за процесите и получените продукти при преработването на кварц-каолиновите пясъци.

Глава втора на част четвърта включва лабораторните изследвания за мокро фракциониране на кварц-каолиновите пясъци, изводи и анализ на получените резултати от лабораторните експерименти.

Трета глава на част четвърта информира за получените резултати от проведените полупромишлени тестове за мокро фракциониране на кварц-каолинови пясъци, анализ и изводи от полупромишлени изследвания.

Пета част на настоящия дисертационен труд обхваща промишленото внедрявания на комбинираната технологична схема за фракциониране на кварц-каолинови пясъци в Обогатителна фабрика „Ветово” в два технологични варианта.

Общите изводи, заключението, научно-приложните приноси, литературните източници и публикациите по дисертационния труд са описани в *част шеста*.

Получените резултати са публикувани в четири статии, от които три в сборници на международни конференции и конгреси в чужбина и една в сборник на международна конференция в България.

II. Анализ на състоянието на проблема в световната практика. Изводи от литературния обзор

Анализирани са 169 броя литературни източници, от които са направени изводи за състоянието на проблемите при преработката на каолинови суровини и кварцови пясъци.

Стратегическото значение на устойчивото снабдяване на Европейския съюз със суровини — метални и неметални, както за неговата промишленост, така и за обществото като цяло е от изключителна важност. През XXI век постепенно се формира една нова парадигма, според която иновациите се смятат за движеща сила, която обаче досега е останала до голяма степен неексплоатирана в Европа в областта на суровините. Индустриалните минерали са от жизненоважно значение за практически всички отрасли на стопанската дейност. От основно значение е разработването на щадящи околната среда, иновативни комбинирани технологии за преработка на индустриалните минерали, предотвращаващо разхищаването на ключови суровини по време на целия им жизнен цикъл.

При все по-високите стандарти за безопасни и по-щадящи околната среда техники

за комбинирана преработка на неметалните суровини се пораждат нови предизвикателства, но и същевременно се разкриват нови възможности. В съвременния живот кварц-каолиновите суровини заемат изключително важно място. Те се използват в различни отрасли на промишлеността и трудно биха могли да се заменят с друг природен или изкуствен материал с подобни качества. От направения литературен обзор могат да се изложат следните по-важни изводи:

1. Продуктите от кварц-каолиновите суровини притежават разностранни качества, благодарение на които са намерили широко приложение във почти всяка една сфера в промишлеността. Поради тази причина кварц-каолиновото производство в световен мащаб бележи голям ръст на развитие.
2. Три каолинови производствени области доминират на световните пазари. Това са седиментационните каолини в Джорджия и Южна Каролина, САЩ, първичните каолини в Корнуол, Югозападна Англия и седиментационните каолини в долния басейн на река Амазонка в Бразилия. Други каолинови находища, които са от регионално значение са разположени в Австралия, Аржентина, Република Чехия, Китай, Франция, Германия, Индонезия, Иран, Мексико, Южна Корея, Испания, Турция и Украйна. Страните с най-голямо производство на каолин за 2013 година са Узбекистан, САЩ и Германия. Съгласно пазарните прогнози, до 2016 година се очаква, че търсенето на каолин ще нараства с над 3,5% годишно. България е сред традиционните износители на каолин, като заема полагащото и се място сред главните производители на тази суровина в две групи: в тази на керамичното производство и на химическата промишленост.
3. Българските находища на кварц-каолинови пясъци се намират в Лудогорието (Лудогорски минерагенен район) и Южна Добруджа по ивица, простираща се от Русенско през Разградско до Шуменско и отчасти Добричко. В обогатителните фабрики край гр. Ветово, гр. Сеново и в гр. Каолиново, чрез хидравлично класиране, от каолиновите пясъци се получават различни марки каолин и кварцови пясъци. Обогатеният каолин има мономинерален състав - предимно каолинит.
4. В състава на каолиновите суровини от отделните каолинови райони и находища в Североизточна България, рязка граница в типа и характера на основните минерални компоненти в тях не е установена. Основен минерален компонент в тях се явява кварцът, който се съдържа в суровините от 75 % до 90 %. Характерна особеност за българските кварцови пясъци в каолиновата суровина е тази, че има кварцови зърна с едрина под 100 μm . Този факт затруднява обогатяването на каолиновата суровина и влошава качеството на каолиновите продукти.

5. Използването на кварцовите пясъци е обвързано с минералния, химическия и гранулометричния им състав, физичните свойства, механичната здравина и абразивната способност на кварцовите зърна. Най-голямото световно потребление на кварцовия пясък е в производството на бетони. Следващо по абсолютен обем на консумация след строителството е количеството на индустриалните кварцовите пясъци, влагани в производството на стъкла и леярството.
6. Основните обогатителни методи за производство на стъкларски пясъци са следните: хидравлична класификация, обогатяване с концентрационни маси, магнитна и електрическа сепарация и обтриване на повърхността с едновременно флотирание или промиване. Освен механични обогатителни методи са възможни и химически методи за почистване на желязото.
7. Най-характерните физични свойства на каолина, които го отличават от други минерали са високата му дисперсност, т.е много малкия размер на частиците (от 1-10 μm) при смесване във вода, пластичност, висока адсорбционна способност, бял цвят. Тези негови ценни качества позволяват приложението му в много области на промишлеността.
8. При обогатяването на каолиновите суровини се използва разликата във формата на частиците. Малките и предимно с плоска форма се утаяват в течна или въздушна среда много по-бавно от придружаващите ги сравнително едри пясъчни зърна или други примеси. На тази основа са разработени прилаганите в съвременната практика два основни метода за обогатяване на каолина: класификация във водна среда и въздушна класификация. Обогатяване на каолина може да се постигне още чрез електрофореза или флотация.
9. В последните две десетилетия, са разработени допълнителни процеси за подобряване качеството на каолина. За подобряване на белотата са въведени високоградиентни магнитни сепаратори (магнитни сепаратори с висок интензитет на полето). Въведени са процеси на пенна флотация, селективна флокулация и селективна сепарация за отстраняване на абразивните материали (кварц и фелдшпат).
10. За постигането на необходимото развитие и осъществяването на качествени изменения в кварц-каолиновото производство е необходимо усъвършенстването на съществуващите технологии и внедряването на иновативни методи и

комбинирани технологични решения. Това ще даде възможност да бъдат повишени качествените показатели на усвоената вече продукция и да се усвоят нови производства от каолинови и кварцови продукти.

III. Актуалност на тематиката

Продуктите от кварц-каолиновите суровини притежават разностранни качества, благодарение на които намират широко приложение в почти всяка една сфера в промишлеността. Поради тази причина кварц-каолиновото производство в световен мащаб бележи голям ръст на развитие. Същото се отнася и за българските кварц-каолинови пясъци. За постигането на необходимото развитие и осъществяването на качествени изменения в кварц-каолиновото производство в България е необходимо усъвършенстването на съществуващите технологии и внедряването на иновативни методи, машини и комбинирани технологични решения. Това ще даде възможност да бъдат повишени качествените показатели на усвоената вече продукция и да се усвоят нови производства от каолинови и кварцови продукти.

IV. Цел и задачи на дисертационния труд

Във връзка с описаният по-горе проблем целта, която се поставя в настоящата дисертация е да се разработят и внедрят принципно нови технологични решения – комбинирани технологии за преработване на български кварц-каолинови суровини, които да дадат възможност максимално да се оползотворят потенциалните възможности на българските суровини.

За постигане на тази цел бе необходимо да се решат следните основни задачи:

1. Да се направи обзорец преглед на съществуващите методи и технологии за преработване на кварц, каолин и кварц-каолинови суровини.
2. Да се извърши мониторинг на процесите и продуктите при преработване на кварц-каолинови пясъци в ОФ „Ветово” с класическа гравитационна класификация.
3. Да се проведат лабораторни изследвания за мокро фракциониране на кварц-каолинови пясъци, като се тестват нови машини, не използвани за такъв тип суровини в световната практика.
4. Да се създаде пилотна инсталация за полупромишлени тестове.
5. Да се разработи нова комбинирана технология за мокро фракциониране на български кварц-каолинови пясъци.
6. Да се внедри в ОФ „Ветово” комбинираната технология за мокро фракциониране на български кварц-каолинови пясъци.

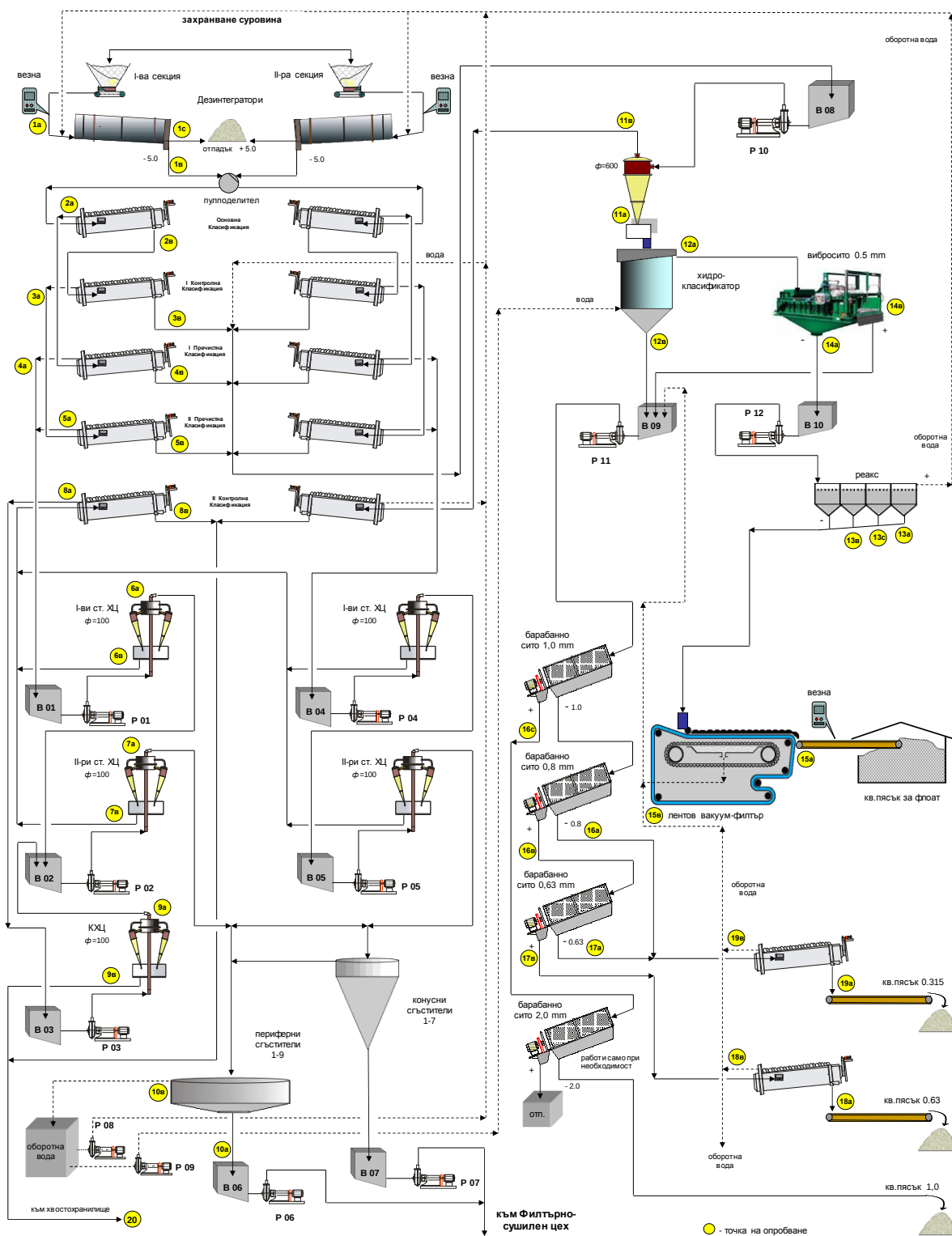
7. Да се проведе мониторинг и продължителни промишлени тестове на комбинираната технология за мокро фракционироване с цел нейното усъвършенстване и подобряване.

V. Мониторинг на процесите и продуктите при преработването на кварц-каолиновите пясъци в ОФ „Ветово”

В продължение на дълги години кварц-каолиновите пясъци от Североизточна България се преработваха във водна среда чрез гравитационна класификация. За разделянето на кварц-каолиновите пясъци и получаването на два крайни търговски продукта – каолин /различни марки за различни сфери на приложение/ и кварцов пясък /различни марки за различни сфери на приложение/ се използваха основно спирални класификатори, последващи пресявания за класиране на кварцовите пясъци с барабанни сита, използващи метални ситови повърхности, хидрокласификатори с контролно сеене за гарантиране на кварцовите продукти и хидроциклони. На Фигура 1 е представена верижна схема на машините и апаратите на промивен цех на ОФ „Ветово”, работеща от 1975 г. до 2008 г. с много малко промени във времето.

С цел намаляване загубите на кварцов пясък в крайния технологичен отпадък и увеличаване на производствения капацитет е проведено генерално опробване на ОФ „Ветово”. В продължение на два месеца е реализиран продължителен мониторинг на 42 точки от технологичната схема. Точките на опробване са представени на фигура 1.

Суровината и съответните продукти са опробвани на всеки 30 min. След съответната обработка на пробите са определени следните характеристики: зърнометричен състав, химичен състав и минераложки състав. Зърнометричният състав е определен по метода на мокро пресяване използвайки вибрационна ситова уредба Analysete 3, FRITSCH за фракциите $>45\ \mu\text{m}$ и SediGraph 5100 за фракциите $< 45\ \mu\text{m}$. Химическият и минераложки състав са определени при използване, съответно на AES-ICP и дифрактометър Siemens D500.



Фигура 1. Верижна схема на машините и апаратите на ОФ „Ветово” – 1975 - 2008 година и точки на опробване

V. 1. Анализ на получените резултати

Получените данни показват, че класическата гравитационна технология е ефективна за кварцовите частици с размер над 0.250 mm. Практически в крайния технологичен отпадък няма частици с размер над 0.250 mm. Тази технология дава възможност за добра сепарация в диапазона над 0.250 mm и получаване на марки едри кварцови пясъци.

Резултатите от зърнометричния анализ на кварц-каолиновата суровина ясно показват, че фракцията „-250 + 63 μm ” е приблизително половината от нея – 46.90 %. Това е пряко доказателство, че от тази суровина с подходяща технология би могло да се произвеждат кварцов пясък марки РК016 и РК010. Данните от зърнометричния анализ на крайния технологичен отпадък показват, че фракцията „-250 + 63 μm ” е над 50 %. Тази фракция практически преминава от суровината в отпадъка. Класическата гравитационна технология е крайно неефективна по отношение на фракцията „-250 + 63 μm ”.

Съдържанието на фракция „-250 + 100 μm ” намалява само 1.5 пъти – от 43.7 % в суровината до 28.12 % в отпадъка. Това показва, че само част от тази фракция е преминала в стоков продукт – кварцов пясък РК016, т.е. класическата технология е неефективна за тази фракция. С подходяща технология останалото количество от тази фракция би се превърнало в стоков продукт.

Съдържанието на фракция „-160 + 63 μm ” се увеличава повече от три пъти - от 13.80 % в суровината до 45.90 % в отпадъка. Практически тази фракция се губи в крайния отпадък. С класическата гравитационна технология е невъзможно да се произвежда фин кварцов пясък марка РК010.

При производителност по захранване $Q=90-100$ t/h /точка 1a/ класическата гравитационна технология генерира отпадък /точка 20/ в порядъка на 18% до 22% в зависимост от зърнометричната характеристика на суровината. Това означава, че средно в отпадъкохранилището постъпва 20 t/h краен технологичен отпадък за депониране. Само по себе си това количество представлява от една страна голяма загуба на стоков продукт във вид на стъкларски кварцови пясъци и от друга страна прекалено голямо количество за депониране със сериозни разходи за поддръжка и експлоатация на отпадъкохранилището водещи и до екологични проблеми.

Проведеният мониторинг на процесите и продуктите дава много точна и ясна представа за слабите места в технологичната схема и точките в които се генерират загуби.

Получените резултати показват, че разделянето на кварц-каолиновата суровина в различните стадии на спирална класификация е изключително неефективно. В слива, в който би трябвало да няма стъкларски фракции т.е. -0.250+0.100 mm, присъстват увличания на същата. Това означава, че спиралните класификатори са претоварени, няма необходимото време за класиране и в слива се увличат нежелани стъкларски фракции +0.100 mm. Още в началото в основна класификация /точка 2a/ увличанията в слива са около 20%, следва мултиплициране във всеки следващ стадий като

процентът на съдържание на стъкларска фракция $-0.250 + 0.100$ mm в слива е средно над 13%.

Това ниско-ефективно класиране при спиралните класификатори води след себе си до нарушаване и затрудняване в хидроциклонизирането на каолиновата суспензия. Хидроциклонизиране I-ви и II стадии се извършва с хидроциклони $\Phi 100$ чиято граница на срязване е 0.045 mm. Захранвайки хидроциклонните батерии с фракции по едри от 0.100 mm означава едно затруднено и неефективно класиране.

До каква степен са натоварени двата стадия на хидроциклонизиране $\Phi 100$ с фракция $-0.250 + 0.100$ mm би могло да се види от зърнометричния анализ в /точка 8в/ – II контролна класификация. Продуктът от тази точка има съдържание на стъкларската фракция 62.2%, а би трябвало максималният размер на кварцовите зърна да е 0.100 mm. Точка /8в/ в технологичната схема е отпадък и се подава за депониране в отпадъкохранилище. Това след себе си рефлектира и върху контролно хидроциклонизиране /точка 9в/, като и тук се наблюдава присъствие на 2% $-0.250 + 0.100$ mm подавани към отпадъкохранилището.

Резултатите от минераложкия анализ на отпадъка потвърждават данните от зърнометричния и химичен анализ. В отпадъка се реализират основно загуби от кварцов пясък – 88 % съдържание на минерала кварц. Това е още едно доказателство, че класическата гравитационна технология е неефективна спрямо сепарацията на кварцов пясък.

V. 2. Изводи от проведения мониторинг

Получените резултати от проведения мониторинг на процесите и продуктите при преработването на кварц-каолиновите пясъци в ОФ „Ветово” дават възможност да бъдат направени следните изводи:

1. Кварц-каолиновите пясъци преработвани в ОФ „Ветово” имат голям потенциал за получаване всички известни марки кварцов пясък.
2. Класическата гравитационна технология за преработване на кварц-каолиновите пясъци е ефективна за кварцовите частици с размер над 0.250 mm и дава възможност за получаване само на марки едри кварцови пясъци.
3. Класирането със спирални класификатори е ниско ефективно.
4. Увеличаването на стъкларски фракции силно затруднява класирането в двата стадия на хидроциклонизиране.
5. Това нарушено класиране генерира отпадък 18% - 22 %, като 28.12% от него представлява стъкларска фракция $-0.250 + 0.100$ mm, което в количествена стойност е около 6 t/h стоков стъкларски пясък увлечен и депониран в отпадъкохранилище.
6. Работещата технология е неефективна по отношение на фракцията „- $250 + 63$ μ m”. Тази фракция практически преминава от суровината в отпадъка. Тази фракция представлява над 50 % от крайния технологичен отпадък. В

количествена стойност това е над 10 t/h стоков стъкларски пясък увлечен и депониран в отпадъкохранилище.

7. Промяна в класирането на кварц-каолиновата суровина с друг тип сепарация различна от спиралната класификация, би довело да увеличаване в извличането както на кварцовите пясъци, така и на каолин.
8. Необходимо е разработване на нова комбинирана технология за използване на потенциала на суровината чрез увеличаване извличането на кварцовия пясък и получаване на нови марки.

VI. Лабораторни изследвания за мокро фракциониране на кварц-каолинови пясъци

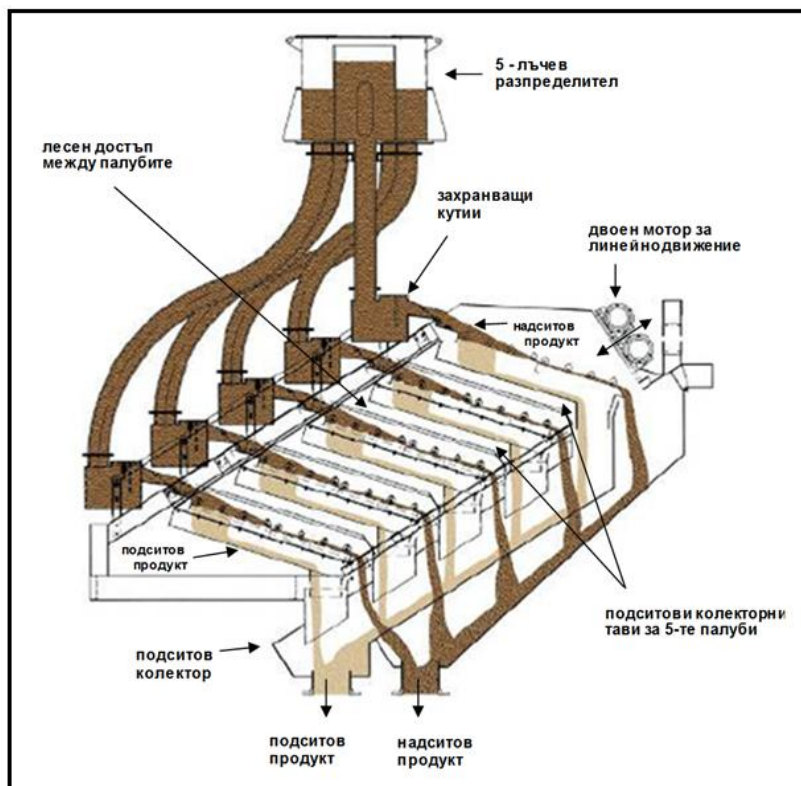
Лабораторните тестове са проведени в лабораторната база на DERRICK Corporation, гр. Бъфало, САЩ. Изследванията са реализирани на два стадия мокро фракциониране. Целта е да се изследват възможностите на пресевна машина Derrick Stack Sizer за мокро фракциониране на български кварц-каолинови пясъци.

Пресевните уредби за мокро пресяване *Derrick* са високочестотни вибрационни пресевни машини със стъпков, единичен или двоен двигател, използвани за разделяне на частици от водни суспензии (промиване/репулпиране и обезводняване).

На фигура 2 е представена конструктивната концепция на Stack Sizer, единично захранване към машината при пет отделни точки - лъча на захранване на отделните палуби. Фигура 3 показва общия вид на Derrick Stack Sizer Screening Machine.

На фигура 4 е дадена верижна схема на апаратите за провеждане на лабораторните изследвания.

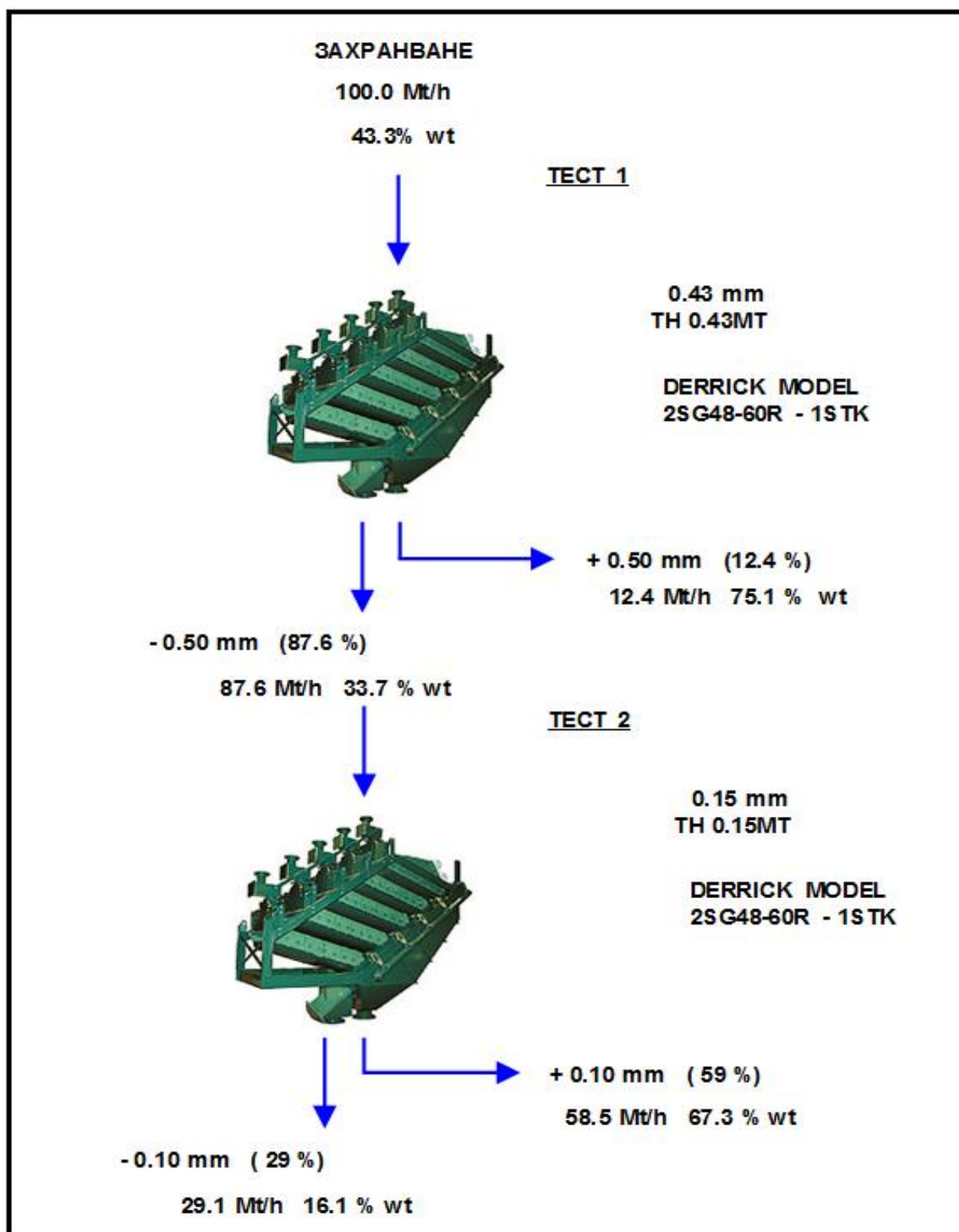
На Таблица 1 са представени обобщени резултатите от проведените лабораторни изследвания за мокро фракциониране на български кварц-каолинови пясъци с пресевна машина Derrick Stacksizer.



Фигура 2. Конструктивна концепция на Derrick Stack Sizer



Фигура 3. Общ вид на Derrick Stack Sizer Screening Machine



Фигура 4. Лабораторни изследвания – верижна схема на машините

Таблица 1. Обобщени резултатите от лабораторни тестове с пресевна машина Derrick Stacksize

Стадий	I	II
Пресевна машина	2SG48-60R-1STK	2SG48-60R-1STK
rev/min	1500	1500
Ъгъл на наклона, °	22.5	22.5
Ситов панел	TH0.43MT	TH0.15MT
Отвор на ситова повърхност, mm	0.43	0.15
Захранване, m ³ /h	170.3	109.0
Захранване, Mt/h	100.4	44.5
Флуидизираща вода, m ³ /h	45.4	0.0
Добив на надситов продукт, %	12.4	66.8
Добив на подситов продукт, %	87.6	33.2
Захранване, съдържание на твърда фаза, % wt	43.3	33.7
Подситов продукт, съдържание на твърда фаза, % wt	33.7	16.1
Надситов продукт, съдържание на твърда фаза, % wt	75.1	67.3
Съдържание на „+0.500 mm” в захранване, %	7.6	0.1
Съдържание на „+0.100 mm” в захранване, %	-	70.4
Съдържание на „+0.500 mm” в подситов продукт, %	0.11	-
Съдържание на „+0.100 mm” в подситов продукт, %	-	24.0
Съдържание на „+0.100 mm” в надситов продукт, %	-	6.3
Ефективност, надситов продукт, %	97.6	88.6
Ефективност, подситов продукт, %	94.4	85.6
Обща ефективност, %	94.6	87.8

Обобщените резултати от проведените лабораторни тестове доказват възможностите на пресевната машина Derrick Stacksize мокро фракциониране на български кварц-каолинови пясъци. При реализираните два стадия на фракциониране се достига до следната ефективност на разделяне:

➤ I стадий - 94.6 % по 500 µm с добив на надситовия продукт 12.4 % и съдържание на твърда фаза 75.1 % wt и добив на подситовия продукт 87.6 % и съдържание на твърда фаза 33.7 % wt;

➤ II стадий - 87.8 % по 100 µm с добив на надситовия продукт 59.0 % и съдържание на твърда фаза 67.3 % wt и добив на подситовия продукт 29.0 % и съдържание на твърда фаза 16.1 % wt;

фаза 16.1 % wt.

VI. 1. Изводи от лабораторните изследвания

Получените резултати от проведените лабораторни изследвания дават възможност да бъдат направени следните изводи:

1. Пресевните машини Derrick Stacksize са нов подход относно мокра сепарация на кварц-каолинови пясъци. До сега тези машини не са използвани за такъв тип суровини.
2. Пресевните машини Derrick Stacksize са подходящи за българските кварц-каолинови пясъци и биха могли да заместят спиралните класификатори.

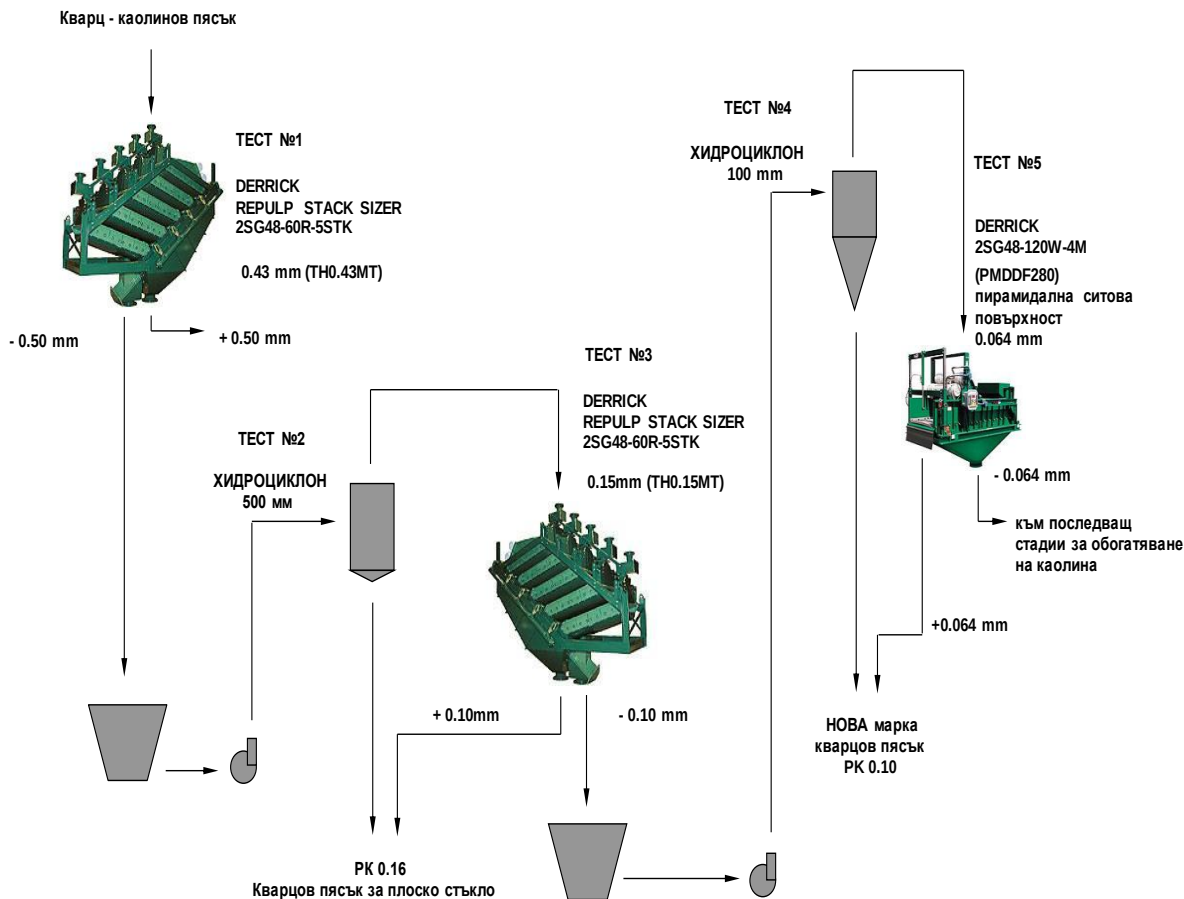
Използването на Derrick Stacksize в подходяща комбинирана технологична схема би довело до намаляване на загубите на кварцов пясък в отпадъка и увеличаване на извличането на кварц.

VII. Полупромишлени изследвания за фракциониране на кварц-каолинови пясъци

Въз основа на данните от генералното опробване на ОФ „Ветово” и установените съществени загуби на кварцов пясък, както и на получените резултати от лабораторните изследвания за мокро фракциониране на кварц-каолинова суровина, използвайки пресевна машина Derrick Stack Sizer е разработена нова комбинирана технология за фракциониране на български кварц-каолинови пясъци.

В изследователската база на DERRICK Corporation, гр. Бъфало, САЩ е изградена пилотна инсталация за тестване на новата комбинирана технология за фракциониране на кварц-каолинови пясъци. Полупромишлените изследвания са проведени с представителна проба суровина от „участък IV”, кариера Ветово.

На фигура 5 е дадена верижна схема на апаратите за провеждане на полупромишлените изследвания. Получават се десет продукта - надситов продукт /+0.500 mm/, подситов продукт /-0.500 mm/, слив от циклон Ф500 с плоско дъно, долен продукт от циклон Ф500 с плоско дъно, надситов продукт /+0.100 mm/, подситов продукт /-0.100 mm/, слив от хидроциклон Ф100, долен продукт от хидроциклон Ф100, надситов продукт /+0.064 mm/ и подситов продукт /-0.064 mm/. По време на тестовете непрекъснато се опробват изходния материал и десетте продукта, които се получават от новата комбинирана технология за фракциониране на кварц-каолинова суровина.



Фигура 5. Полупромишлени изследвания – верижна схема на машините и апаратите

VII. 1. Анализ на получените резултати

Полупромишлените изследвания са проведени на пилотна инсталация, реализираща нова комбинирана технология за мокро фракционизиране на кварц-каолинови пясъци. Цел на проведените полупромишлени изследвания е да се оценят възможностите на новата комбинирана технология за получаване на кварцов пясък РК016 и кварцов пясък РК010.

Пилотната инсталация включва пет основни машини:

- Петпалубен Derrick Repulp Stacksizer с 0.43 mm отвори на ситовата повърхност;
- Хидроциклон $\Phi 500$ mm с плоско дъно;
- Петпалубен Derrick Repulp Stacksizer с 0.15 mm отвори на ситовата повърхност;
- Хидроциклон $\Phi 100$ mm;

- Еднопалубна пресевна машина Derrick Model 2SG48-120W-4M, оборудвана с пирамидални панели на Derrick с 0.064 mm отвори на ситовата повърхност.

Пилотната инсталация дава възможност за непрекъснато опробване на продуктите получавани на всички машини.

Данните от пилотните тестове с разработената нова комбинирана технология за фракциониране на кварц-каолинови пясъци показват, че тази технология за мокро фракциониране е подходяща за българската кварц-каолинова суровина.

При сепарация на 0.500 mm, използвайки Derrick Repulp Stacksizee бе постигнат един подситов продукт с 0.21 % съдържание на фракцията “+0.500 mm”. Ефективността на мокро пресяване при разделяне на 0.500 mm е 94.6%.

Хидроциклонът с плоско дъно Ф500 mm дава висока точност на срязване. Преливът на хидроциклона съдържа само 1.01 % фракция “+0.300 mm”. При втория стадий на Derrick Repulp Stacksizee бе постигнат надситов продукт с 4.98% съдържание на фракция “-0.100 mm” при ефективност на мокро пресяване при разделяне на 0.100 mm – 88.2%.

Зърнометричният състав на долния продукт на хидроциклона с плоско дъно и надситовия продукт при втория стадий на ситовата машина Derrick Stacksizee показва, че комбинацията от хидроциклон с плоско дъно и Derrick Repulp Stacksizee с отворина ситовата повърхност 0.150 mm осигурява възможност за получаване на кварцов пясък за производство на флоат стъкло – РК 016.

Получените резултати показват, че комбинацията от хидроциклон Ф100 mm и контролно мокро пресяване на 0.064 mm в пресевна машината с линейно придвижване и двойка мотори Derrick работи и осигурява производството на ново качество кварцов пясък РК 010. Зърнометричният състав на подситовия продукт показва, че контролно мокро пресяване на 0.064 mm в пресевна машината Derrick - Модел 2SG48-120W-4M осигурява качествена каолинова суспензия, която отива на хидроциклонно обогатяване за получаване на различни марки каолин. Подситовият продукт от контролното пресяване е със съдържание на фракция „-0.025 mm” 97.59%

Новата комбинирана технология за мокро фракциониране на български кварц-каолинови пясъци води до намаление на загубите от кварцов пясък в крайния отпадък. Този нов подход осигурява възможност за увеличаване на производството на кварцов пясък качество РК 016 и започването на производството на ново качество РК 010.

VII. 2. Изводи от полупромишлените изследвания

Получените резултати от проведените полупромишлени тестове дават възможност да бъдат направени следните изводи:

1. Пресевните машини Derrick Repulp Stacksizee са нов подход относно мокро фракциониране на кварц-каолинови пясъци. До сега тези машини не са използвани за такъв тип суровини в световната практика. Тези машини са подходящи за българските кварц-каолинови пясъци и биха могли да заместят спиралните класификатори.

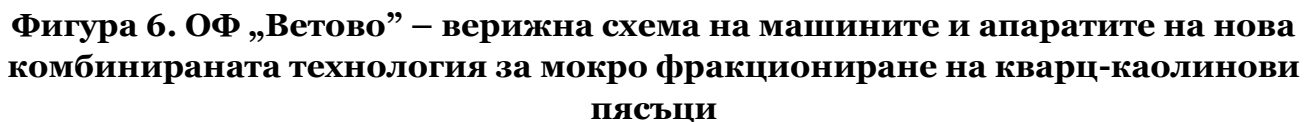
2. Използването на Derrick Stacksize в подходяща комбинирана технологична схема би довело до намаляване на загубите на кварцов пясък в отпадъка и увеличаване на извличането на кварц.
3. Разработената нова комбинирана технология за фракциониране на кварц-каолинови пясъци е подходяща за българската кварц-каолинова суровина.
4. Комбинираната технология за мокро фракциониране би осигурила възможност за увеличаване на производството на кварцов пясък качество РК 016 и започването на производството на ново качество РК 010.

VIII. Промислени внедрявания

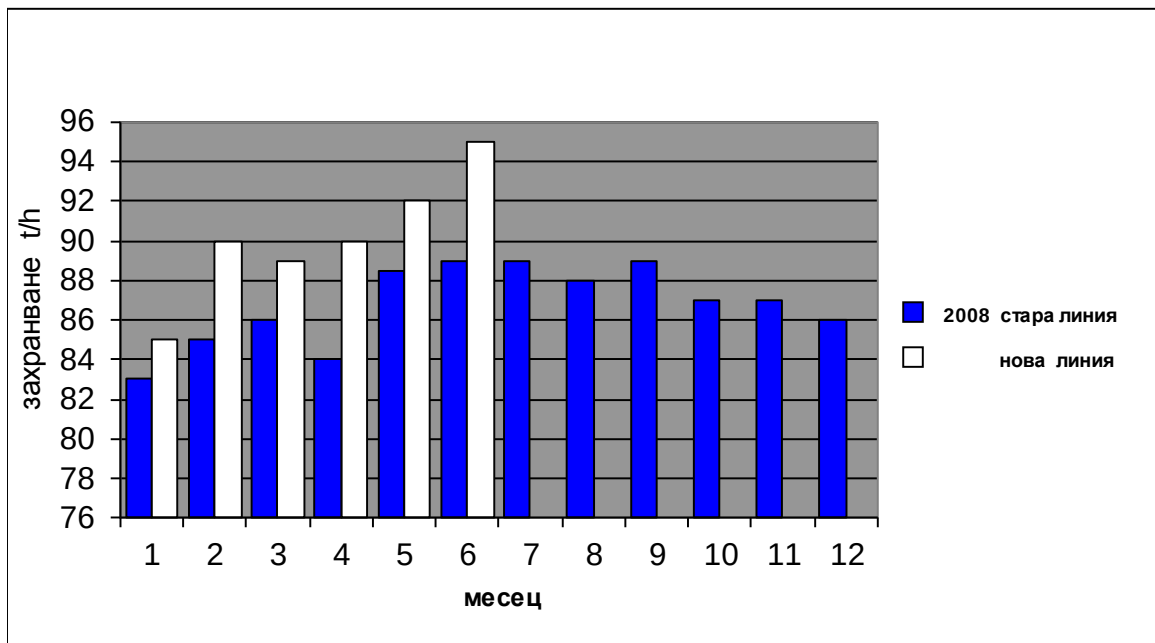
VIII. 1. Комбинирана технологична схема за фракциониране на кварц-каолинови пясъци

Въз основа на резултатите от генералното опробване на ОФ „Ветово” и установените съществени загуби на кварцов пясък, както и на получените резултати от лабораторните и пилотни изследвания за мокро фракциониране на кварц-каолинова суровина, използвайки пресевна машина Derrick Stack Sizer е разработена нова комбинирана технология за мокро фракциониране на български кварц-каолинови пясъци. Тази технология е внедрена в обогатителна фабрика Ветово. На фигура 6 е представена верижна схема на машините и апаратите на комбинираната технология за мокро фракциониране внедрена в ОФ „Ветово”.

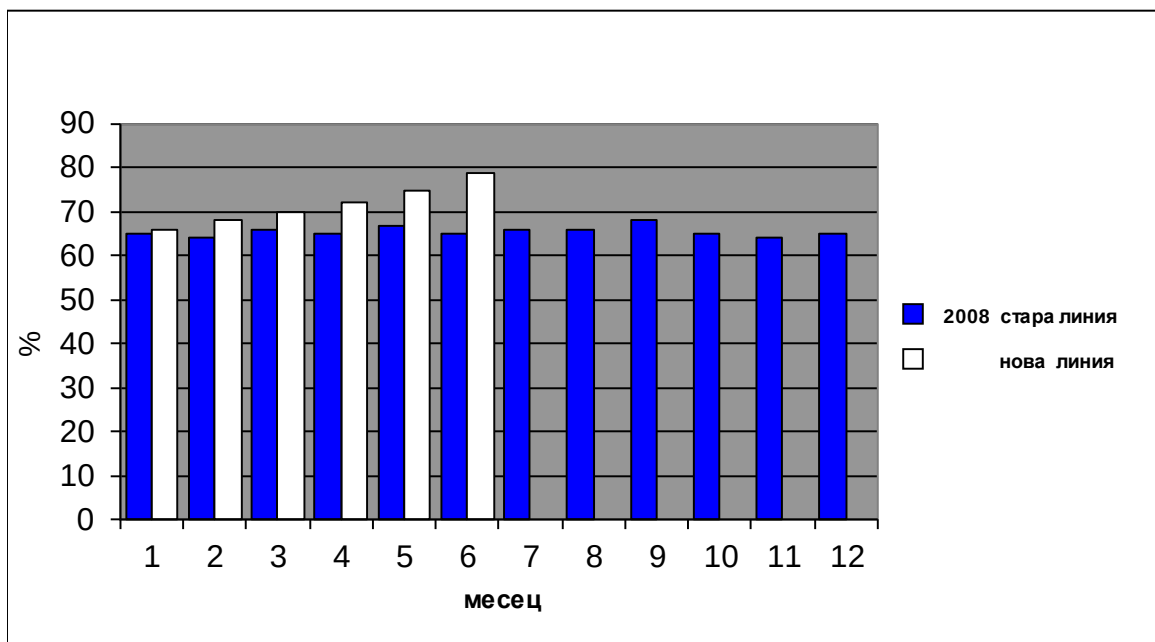
Производствената линия на новата комбинирана технология за мокро фракциониране на български кварц-каолинови суровини е въведена в редовна експлоатация след продължителни опробвания и наладки. Тя дава възможност за производство на пет различни марки кварцов пясък / РК 0.10, РК 0.16, РК 0.25, РК 0.63 и РК 0.90/ и различни качества каолин.



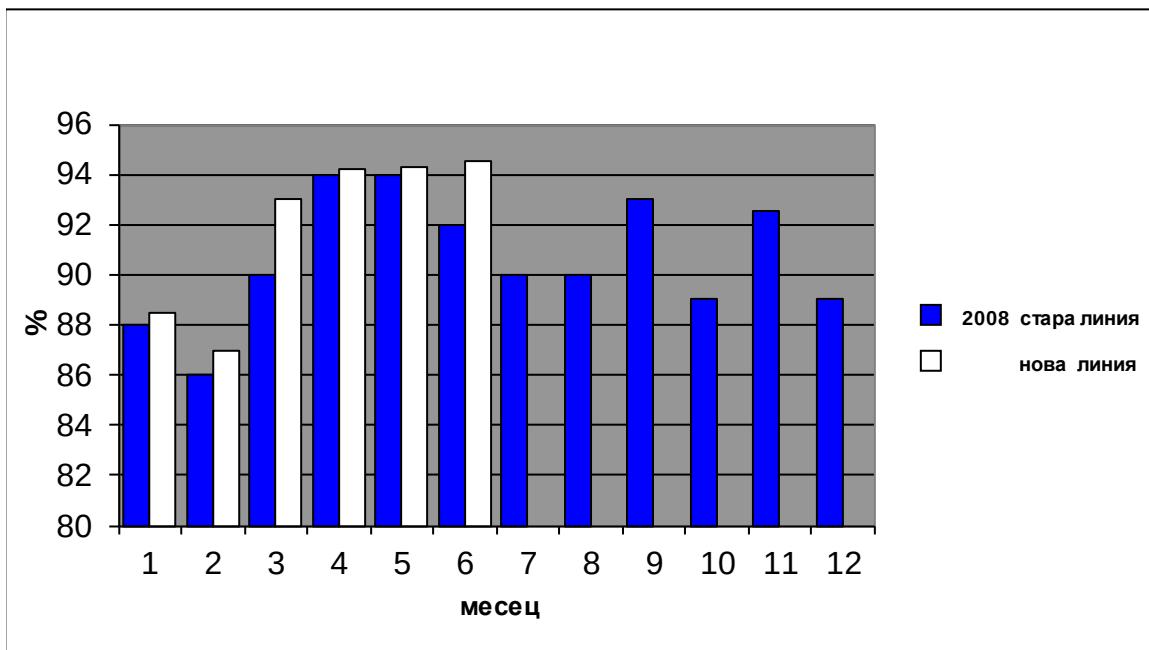
Представените данни красноречиво показват предимствата на новата комбинирана технология за мокро фракциониране на кварц-каолинови пясъци. Производителността на обогатителната фабриката по хранване се увеличава, нарастват и извличането на кварцов пясък и каолин.



Фигура 7. Количество кварц-каолинова суровина за преработка при работа със старата гравитационна технология през 2008 г. и първите 6 месеца с новата комбинирана технология



Фигура 8. Извличане на кварцов пясък при работа със старата гравитационна технология през 2008 г. и първите 6 месеца с новата комбинирана технология



Фигура 9. Извличане на каолин при работа със старата гравитационна технология през 2008 година и първите 6 месеца с новата комбинирана технология

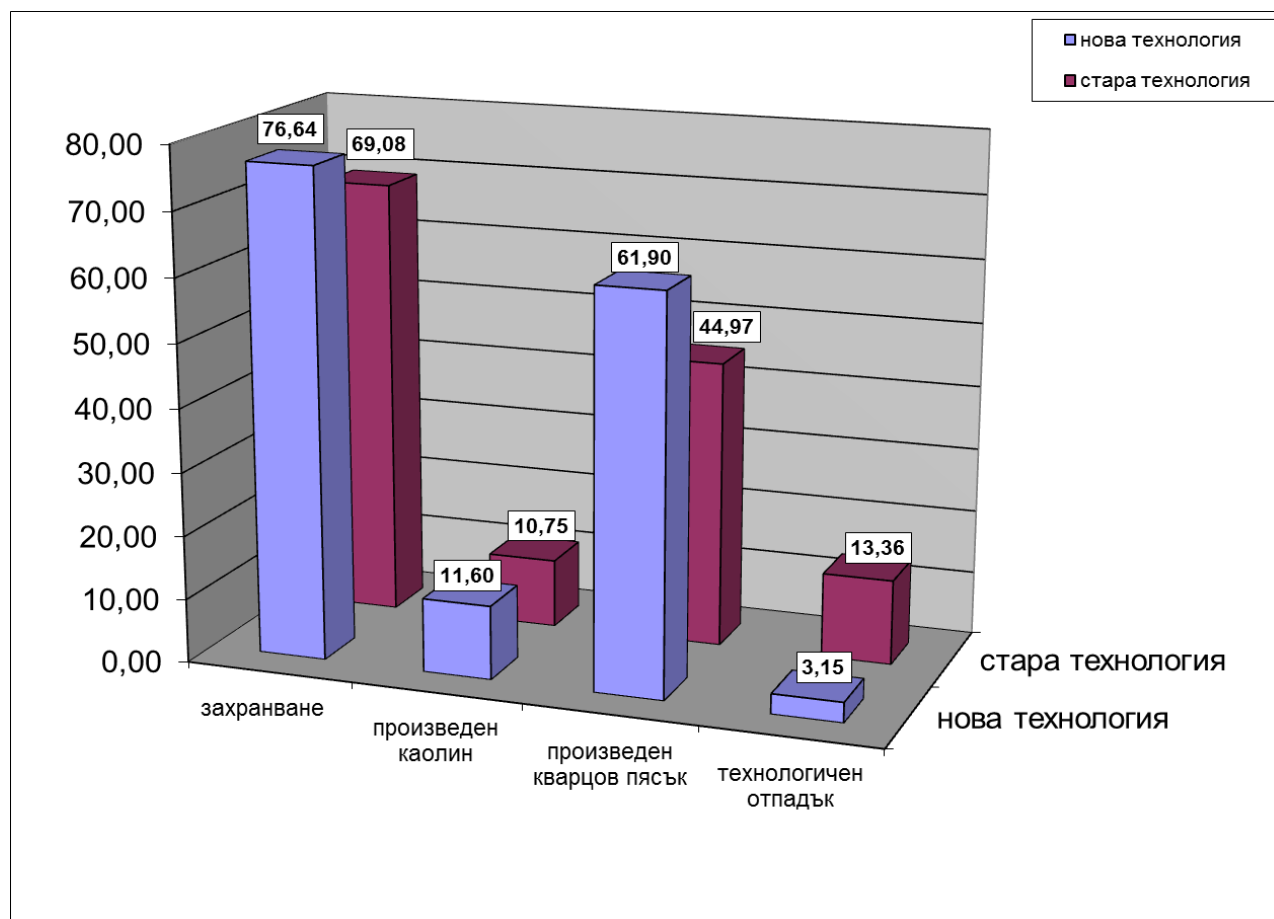
На Таблица 2 е представен зърнометричния състав на различните марки кварцови пясъци произведени с новата комбинирана технология и крайния технологичен отпадък.

Таблица 2. Зърнометричен състав на произвежданите с комбинирана технология за мокро фракциониране марки кварцови пясъци и технологичен отпадък

Размер на отвора на сито, mm	Частен добив на задържане, %				
	РК 0.10	РК 0.16	РК 0.25	РК 0.63	Отпадък
1.000	0.00	0.00	0.00	2.20	0.00
0.850	0.00	0.00	0.00	6.20	0.00
0.710	0.00	0.00	0.30	28.60	0.00
0.600	0.00	0.00	0.80	41.80	0.00
0.500	0.00	0.20	9.00	13.80	0.00
0.425	0.90	2.80	13.90	4.60	0.00
0.300	3.90	20.00	16.10	2.40	0.10
0.212	8.20	34.20	24.80	0.20	1.80
0.150	24.10	35.40	21.50	0.10	2.00
0.106	30.10	5.90	12.40	0.05	35.40
0.075	12.90	1.10	1.00	0.03	55.80
0.045	10.50	0.30	0.10	0.01	3.80
<0.045	9.40	0.10	0.10	0.01	1.10

Данните от зърнометричния анализ показват, че новата производствена линия произвежда марки кварцов пясък с високо качество.

На фигура 10 са съпоставени производствени данни при работа със старата гравитационна технология и тези при работа с новата комбинирана технология за мокро фракциониране на български кварц-каолинови пясъци. Производствените данни са представени в относителни мерни единици. За превръщане на SI мерните единици на производствените данни в относителни е използван фактор на превръщане.



Фигура 10. Производствени данни при работа със старата гравитационна технология и с новата комбинирана технология за мокро фракциониране на български кварц-каолинови пясъци

Производствените данни ясно показват сериозните предимства на новата комбинирана технология за мокро фракциониране на български кварц-каолинови пясъци.

- Производителността по захранване на ОФ „Ветово” се увеличава с 11 %.
- Количеството на произведените различни марки каолин се увеличава с 8 %.

- Фабриката има възможност да произвежда пет различни марки високачествен кварцов пясък, като общото количество произведен кварцов пясък нараства с 37.64 %.
- Подобряването на технологичните показатели /извличане на кварцов пясък и каолин/ води до рязко намаляване количеството на краен технологичен отпадък – повече от 4 пъти.

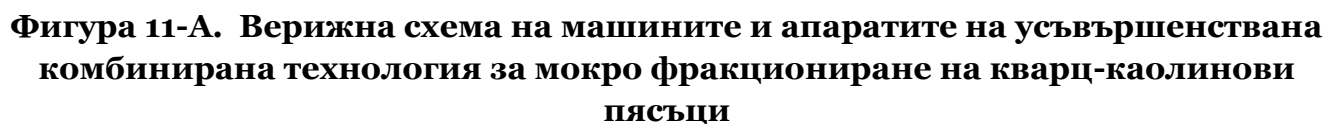
VIII. 2. Усъвършенствана комбинирана технология за фракциониране на кварц-каолинови пясъци

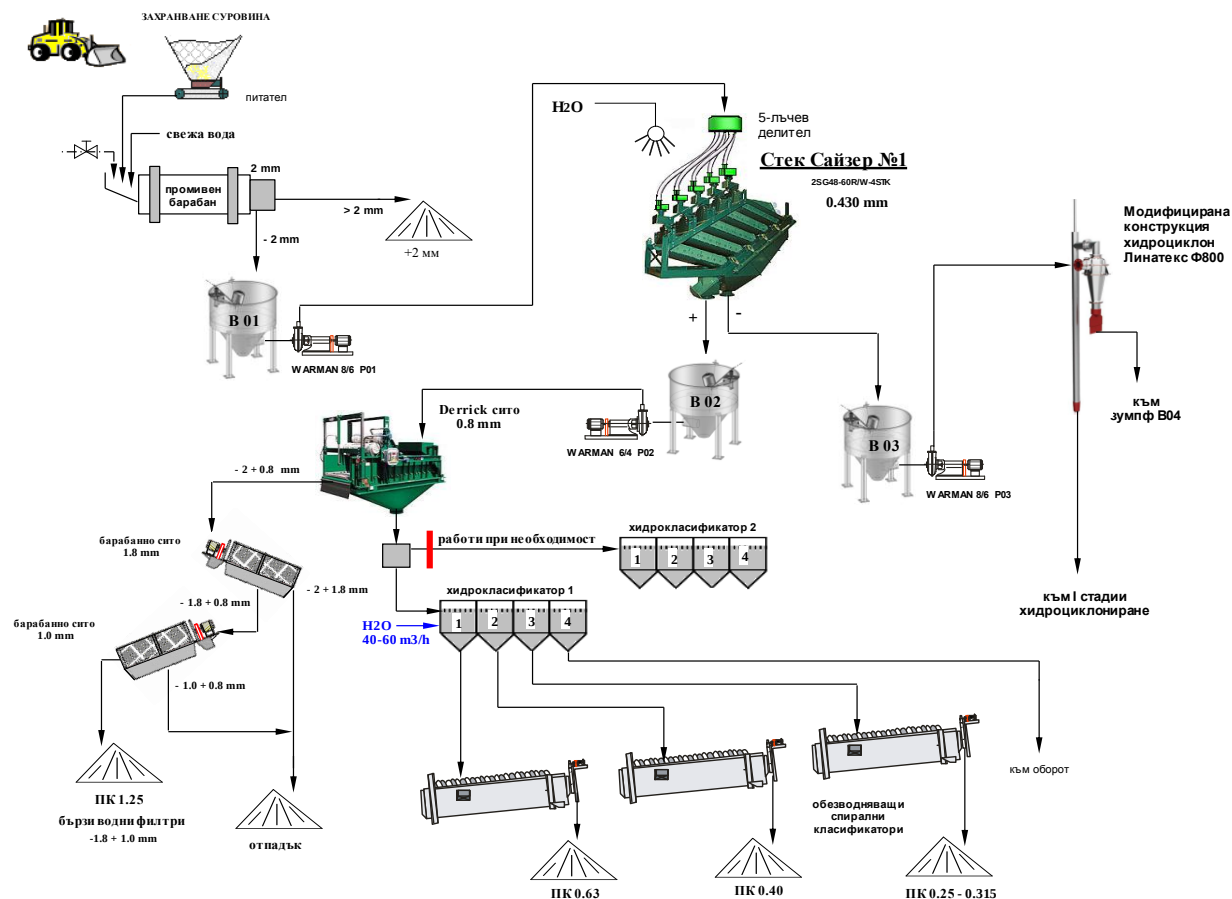
Въз основа на натрупания богат експериментален и производствен опит от генералното опробване на класическата гравитационна технология в ОФ „Ветово”, лабораторните и пилотни изследвания за мокро фракциониране на кварц-каолинова суровина, използвайки пресевна машина Derrick Stack Sizer и внедрената нова комбинирана технология за мокро фракциониране на български кварц-каолинови пясъци беше разработена експериментална програма за усъвършенстване на работещата няколко години в ОФ „Ветово” комбинирана технологична схема. Цел на тази програма бе да се подобри качеството на междинните и крайните стокони продукти и съкращаване на производствени разходи които пряко имат участие в себестойността на продуктите, а именно: разход на ел. енергия и вода; машини; консумативи.

Проведени са серия от промишлени изследвания и опробвания за замяна на хидроциклон Ф 500 с плоско дъно с модифицирана конструкция на хидроциклон Linatex Ф800. Променени конструктивно са следните детайли: диаметър на захранване; форма на долен конус; диаметър на разтоварваща дюза; дължина на хидроциклона

Получените резултати от промишлените тектове показват определено предимствата на модифицирана конструкция хидроциклон Linatex Ф800 спрямо хидроциклон Ф 500 с плоско дъно.

На фигури 11-А и 11-Б е представена верижната схема на машините и апаратите на усъвършенствана комбинирана технология за мокро фракциониране внедрена и работеща в ОФ „Ветово”.





Фигура 11-Б. Верижна схема на машините и апаратите на усъвършенствана комбинирана технология за мокро фракциониране на кварц-каолинови пясъци

VIII. 1. Изводи от промишлени внедрявания

Промишленото внедряването в ОФ „Ветово” на комбинирана технология за мокро фракционирание на български кварц-каолинови пясъци премина през два етапа:

- *Разработване и внедряване на нова комбинирана технология за мокро фракциониране на български кварц-каолинови пясъци.*
- *Разработване и внедряване на усъвършенствана комбинирана технология за мокро фракциониране на български кварц-каолинови пясъци.*

Получените резултати от проведените многобройни промишлени тестове и производствените данни от работата на двете внедрени технологии дават възможност да бъдат направени следните изводи:

1. Разработената комбинирана технология за мокро фракциониране на кварц-каолинови пясъци е подходяща за българската кварц-каолинова суровина.
2. Пресевните машини Derrick Repulp Stacksizer са нов подход относно мокро фракциониране на кварц-каолинови пясъци.
3. Модифицираната конструкция хидроциклон Линатекс Ф 800 е нов подход за хидрокласификация.
4. Технологичните показатели и производствените данни ясно и категорично показват предимствата на комбинираната технология за мокро фракциониране в сравнение със старата гравитационна технология.
5. Производителността по захранване на ОФ „Ветово” се увеличава с 11 %.
6. Количеството на произведените различни марки каолин се увеличава с 8 %.
7. ОФ „Ветово” има възможност да произвежда всички търсени на пазара марки високачествен кварцов пясък, като общото количество произведен кварцов пясък нараства с 40 %.
8. Подобряването на технологичните показатели /извличане на кварцов пясък и каолин/ води до рязко намаляване количеството на краен технологичен отпадък – повече от 4 пъти.
9. Подобряване качеството на крайните стокови продукти:
 - ❖ Висока еднородност на кварцови пясъци марка РК 0.25 и РК 0.315 – над 80%.
 - ❖ По-ниско съдържание на глинеста фракция в кварцов пясък за флоатно стъкло марка РК 0.16 – 0.01 - 0.03 %.
10. Намаляване производствените разходи:
 - ❖ Намалена консумация на вода. Разходът на производствена вода се намалява над 20 % от 650 m³/h на 500 m³/h.
 - ❖ По-ниска консумация на ел.енергия – с над 30 % се намалява консумираната ел.енергия.
 - ❖ С 50% се удължава се експлоатационния живот на консумативите на вакуум филтрите.
11. Намаляване технологичното време необходимо за производство на крайни стокови продукти за единица време.

IX. Общи изводи

1. Класическата гравитационна технология за преработване на кварц-каолиновите пясъци в ОФ „Ветово” е ефективна за кварцови частици с размер над 0.250 mm и дава възможност за получаване само на марки едри кварцови пясъци.
2. Класическата гравитационна технология е неефективна по отношение на фракцията „ - 250 + 63 μ m”. Тази фракция практически преминава от суровината в отпадъка. Тази фракция представлява над 50 % от крайния технологичен отпадък. В количествена стойност това е над 10 t/h стоков стъklarски пясък увлечен и депониран в отпадъкохранилище.
3. Класирането със спирални класификатори е ниско ефективно.
4. Увеличаването на стъklarски фракции силно затруднява класирането в двата стадия на хидроциклонизиране. Това нарушено класиране генерира отпадък 18% - 22 %, като 28% от него представлява стъklarска фракция „-0.250 +0.100 mm”, което в количествена стойност е около 6 t/h стоков стъklarски пясък, увлечен и депониран в отпадъкохранилище.
5. Кварц-каолиновите пясъци преработвани в ОФ „Ветово” имат голям потенциал за получаване всички известни марки кварцов пясък.
6. Получените експериментални резултати от лабораторните изследвания определено показват, че пресевните машини Derrick StackSizer са подходящи за българските кварц-каолинови пясъци и биха могли да заместят спиралните класификатори.
7. Получените експериментални резултати от полупромишлените изследвания показват, че използването на Derrick StackSizer в подходяща комбинирана технологична схема би довело до намаляване на загубите на кварцов пясък в отпадъка и увеличаване на извличането на кварц.
8. Получените резултати от проведените многобройни промишлени тестове и производствените данни от работата на двете внедрени комбинирани технологии показват, че разработената комбинирана технология за фракциониране на кварц-каолинови пясъци е подходяща за българската кварц-каолинова суровина
9. Получените резултати от проведените многобройни промишлени тестове и производствените данни показват, че модифицираната конструкция хидроциклон Линатекс Ф 800 е подходяща за българските кварц-каолинови пясъци.
10. Технологичните показатели и производствените данни ясно и категорично показват предимствата на комбинираната технология за мокро фракциониране в сравнение със старата гравитационна технология:
 - ❖ Производителността по захранване на ОФ „Ветово” се увеличава;
 - ❖ Количеството на произведените различни марки каолин също се

увеличава;

- ❖ Общото количество произведен кварцов пясък нараства;
- ❖ Количеството на краен технологичен отпадък намалява;
- ❖ Подобрява се качеството на стоковите продукти;
- ❖ Намаляват се производствените разходи.

Х. Научно – приложни приноси в дисертационния труд

Резултатите от проведените лабораторни и полупромишлени изследвания, промишлени тестове, производствени данни и технологични показатели на внедрена в ОФ „Ветово“ комбинирана технология за мокро фракциониране в съответствие с целта и задачите на дисертационния труд се свеждат до следните научно-приложни приноси:

1. Разработена е оригинална методика за мониторинг на процесите и продуктите при преработването на кварц-каолинови суровини в ОФ „Ветово”.
2. Изучен и доказан е големия потенциал на кварц-каолиновите пясъци преработвани в ОФ „Ветово” за получаване на всички известни марки кварцов пясък.
3. Разкрити са закономерностите на функциониране на класическата гравитационна технология, в резултат на което е установено, че тя не е ефективна по отношение на фракцията „- 250 + 63 μm ”.
4. Приложен е нов способ за мокро фракциониране на кварц-каолинови пясъци. Експериментално е доказано, че пресевните машини Derrick Stacksize са нов подход относно мокра сепарация на кварц-каолинови пясъци. До сега тези машини не са използвани в световната практика за такъв тип суровини.
5. Реализирана е нова конструкция на полупромишлена инсталация за мокро фракциониране на кварц-каолинови пясъци.
6. Експериментално е доказано, че използването на Derrick Stacksize в подходяща комбинирана технологична схема би довело до намаляване на загубите на кварцов пясък в отпадъка и увеличаване на извличането на кварц.
7. Вследствие на проведени системни и конкретни научни изследвания е разработена и внедрена нова комбинирана технология за мокро фракциониране на български кварц-каолинови пясъци.
8. Създадена е иновативна конструкция на обезводнителен хидроциклон Линатекс Ф 800 чрез модификация на елементите, с цел използването му като класиращ апарат. Това е оригинален нов подход за хидроклассификация и не е използван в световната практика.
9. Разработена е и е внедрена усъвършенствана комбинирана технология от нов тип за мокро фракциониране на български кварц-каолинови пясъци.

- 10.** Реализирана е повишена производителност по хранване на ОФ „Ветово” с 11 %, рязко е намалено количеството на крайния технологичен отпадък – повече от 4 пъти.
- 11.** Изпълнена е научно-приложна реализация в резултат на която ОФ „Ветово” има възможност да произвежда всички търсени на пазара марки високачествен кварцов пясък, като общото количество произведен кварцов пясък нараства с 40 %. Количеството на произведените различни марки каолин се увеличава с 8 %.
- 12.** Практическата значимост на дисертационния труд, отразяваща реализацията на приносите и новостите се изразява и в подобряване качеството на някои от крайните стокови продукти, а именно:
 - ❖ Висока еднородност на кварцови пясъци марка РК 0.25 и РК 0.315 – над 80%.
 - ❖ По-ниско съдържание на глинеста фракция в кварцов пясък за флоатно стъкло марка РК 0.16 – 0.01 - 0.03 %.
- 13.** Създадената, експериментирана и внедрена комбинирана технология за мокро фракциониране на кварц-каолинови пясъци намалява производствените разходи и увеличава енергийната ефективност изразяващи се в:
 - ❖ Намалена консумация на вода. Разходът на производствена вода се намалява над 20 %.
 - ❖ По-ниска консумация на ел.енергия – с над 30 % се намалява консумираната ел.енергия.
 - ❖ С 50% се удължава експлоатационния живот на консумативите на вакуум филтрите.

XI. Публикации по дисертационния труд

1. *Marinov, M., A. Valchev, I. Nishkov, I. Grigorova. New Approach on the Wet Separation of Quartz-Kaolin Raw Material.* In: Proc. of 3rd Balkan Mining Congress, October, Izmir, Turkey, 2009, pp. 225-230.
2. *Marinov, M., A. Valchev, I. Nishkov, I. Grigorova. Silica-Kaolin Sand Wet Sizing.* In: Proc. of XXV International Mineral Processing Congress (IMPC 2010), Brisbane, Australia, September 2010, pp. 1023-1028.
3. *Маринов М., А. Вълчев. Нова технология за разделяне на кварц-каолинова суровина, увеличаваща извлекаемостта на продуктите.* Годишник на МГУ, том 51, свитък II, Добив и преработка на минерални суровини, София, 2008, стр. 61 -65.
4. *Marinov, M., A. Valchev, I. Grigorova and I. Nishkov. Development of Quartz-Kaolin Separation Technology,* In: Proc. of XXVI International Mineral Processing Congress (IMPC 2012), New Delhi, India, September 2012, pp. 03274-03279.