



МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. ИВАН РИЛСКИ”

МИННОТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ

КАТЕДРА „ОБОГАТЯВАНЕ И РЕЦИКЛИРАНЕ НА СУРОВИНИ”

доц. д-р инж. Ирена Любенова Григорова

ТЕХНОЛОГИЧНИ ПОДХОДИ ПРИ УПРАВЛЕНИЕ НА ОТПАДЪЦИ ОТ МИНЕРАЛНО-СУРОВИННАТА ИНДУСТРИЯ

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд за придобиване на научна степен „Доктор на науките”,
Професионално направление 5.8. Проучване, добив и обработка на полезните
изкопаеми, научна специалност: „Обогатяване и рециклиране на суровини”

София, 2015

„Ако съм прозрял по-далеч, то е, защото бях стъпил върху раменете на гиганти” – цитат от писмо на сър Исаак Нютон (1643 — 1727) до проф. Робърт Хук от 5(15) февруари 1676 година.

Посвещавам този труд на проф. д-р инж. Иван Михайлов Нишков

Дисертационният труд „Технологични подходи при управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия” се състои от въведение, обзор и анализ на управлението на отпадъци от минерално-суровинната индустрия, шест части със съответните изводи и приложения, обобщени изводи, заключение и библиография.

Общият обем на дисертационния труд е 380 страници.

В основния авторски текст се съдържат 163 фигури и 83 таблици.

Дисертационният труд обхваща 9 приложения с общ обем 63 страници, 117 фигури и 45 таблици.

Библиографията съдържа 649 заглавия (191 на кирилица, 444 литературни източници на латиница и 14 електронни източници).

Списъкът на авторските публикации по дисертационния труд включва 16 заглавия.

Изследванията по дисертационния труд са извършени в МГУ „Св. Иван Рилски”, Лаборатория „Управление на отпадъци” към катедра «Обогатяване и рециклиране на суровини», лабораторен изпитвателен комплекс на Каолин АД и в изследователската база на Derrick Corporation, гр. Бъфало, САЩ.

Авторката на дисертационния труд д-р инж. Ирена Любенова Григорова е доцент в катедра „Обогатяване и рециклиране на суровини”, Миннотехнологичен факултет, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски”.

Фигурите и таблиците в текста на автореферата следват оригиналната номерация от текста на дисертацията.

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

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на открито заседание пред научно жури, назначено от Ректора на МГУ „Св. Иван Рилски” на 17.12.2015 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 инж. Владко Тодоров Панайотов – МГУ, катедра „ОРС”
2. Проф. д-р инж. Стоян Николов Грудев, МГУ, катедра „Инженерна геоекология”
3. Доц. д-р инж. Димитър Янков Мочев - МГУ, катедра „ОРС”
4. Проф. д-р инж. Митко Петров Георгиев, Ректор на ХТМУ, външен член
5. Проф. д-р инж. Стойчо Митрев Стоев – експерт, външен член
6. Проф. д-р инж. Методи Стоянов Методиев – експерт, външен член
7. Доц. д-р инж. Георги Петров Меразчиев - експерт, външен член

Резервни членове:

1. Доц. д-р инж. Ирена Илиева Спасова – МГУ, катедра „Инженерна геоекология”
2. Проф. д-р инж. Щилияна Димитрова Джендова – експерт, външен член

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

Автор: доц. д-р инж. Ирена Любенова Григорова

Заглавие: Технологични подходи при управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия

Съдържание на автореферата

	Стр.
Анотация	6
Кратка обща характеристика и актуалност на дисертационния труд	6
Структура и съдържание на дисертационния труд	8
Обект и предмет на дисертационния труд	13
Цел и задачи на дисертационния труд	13
ЧАСТ ПЪРВА. ПОЛУЧАВАНЕ НА НОВИ ВТОРИЧНИ ПРОДУКТИ ОТ ТЕХНОГЕННИ ОТПАДЪЦИ С НОВИ КАЧЕСТВЕНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ	15
I. 1. Комбинирана технология за получаване на нови вторични продукти от технологичен отпадък от преработване на кварцови пясъци	15
I. 2. Комбинирана технология за получаване на нови вторични продукти от технологичен отпадък от преработване на кварц-каолинови пясъци	18
ЧАСТ ВТОРА. ПОВИШАВАНЕ ИЗВЛИЧАНЕТО НА ПОЛЕЗЕН КОМПОНЕНТ ЧРЕЗ НАМАЛЯВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ ЗАГУБИ	20
II. 1. Технологични възможности за повишаване извличането на каолин чрез намаляване на технологичните загуби	21
II. 1.1. Изучаване веществения състав на технологичен отпадък, получен при преработване на кварц-каолинови пясъци в ОФ „Ветово”	21
II.1.2. Метод за гранулометрична сепарация в хидродинамичен слой на изплаващи въздушни мехурчета	21
II.1.3. Метод за класиране на финодисперсни материали в ламинарен поток	24
II.2. Технология за преработване на техногенен отпадък на ОФ „Ветово”	28
ЧАСТ ТРЕТА. ДОИЗВЛИЧАНЕ НА ПОЛЕЗНИ КОМПОНЕНТИ ОТ ТЕХНОГЕННИ НАХОДИЩА	30
III.1. Технологични възможности за получаване на баритен концентрат от техногенна суровина	32
III. 1.1. Изучаване веществения (химически и минерален) състав на технологичен „черен отпадък” от отпадъкохранилище „Челопечене”	32
III. 1.2. Изследване на флотиремостта на немагнитната фракция от „черен отпадък”. Стендови флотационни тестове в отворен и затворен цикъл	33
III. 2. Технология и реагентен режим за получаване на баритен концентрат от техногенна суровина „черен отпадък” от отпадъкохранилище „Челопечене”	35
ЧАСТ ЧЕТВЪРТА. БИФАЗНО РАЗДЕЛЯНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИ ОТПАДЪЦИ И СУХОТО ИМ ДЕПОНИРАНЕ	37
IV. 1. Изследване на възможностите за бифазно разделяне на краен технологичен отпадък от обогатителна флотационна фабрика в условията на Лъки Инвест АД	37
IV. 1.1. Бифазно разделяне на технологичен флотационен отпадък чрез гравитационен метод	38
IV. 1.2. Бифазно разделяне на технологичен флотационен отпадък чрез комбиниран метод	42
IV. 1.3. Комбинирана технология за бифазно разделяне на краен технологичен	43

отпадък от обогатителна фабрика на „Лъки Инвест“ АД и сухо депониране

ЧАСТ ПЕТА. СЪЗДАВАНЕ НА ПОДХОДЯЩА ХРАНИТЕЛНА СРЕДА ЗА ЛЕСОБИОЛОГИЧНА РЕКУЛТИВАЦИЯ НА НАРУШЕНИ ОТ МИННАТА ДЕЙНОСТ ТЕРЕНИ	47
V. 1. Изследване възможностите за лесобиологична рекултивация на нарушени земни площи от добивната дейност на Каолин АД	47
V. 1.1. Охарактеризиране на антропогенни почви от насипите образувани от разкривната дейност на Каолин АД	47
V. 1.2. Съдови изследвания за лесобиологична рекултивация на антропогенни почви от насипите образувани от разкривната дейност на Каолин АД	48
V. 1.3. Теренни изследвания за лесобиологична рекултивация на антропогенни почви от насипите образувани от разкривната дейност на Каолин АД	54
ЧАСТ ШЕСТА. УЕДРЯВАНЕ НА ОТПАДЪЦИ ОТ МИНЕРАЛНО- СУРОВИННАТА ИНДУСТРИЯ	57
VI. 1. Технологични решения за управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия чрез методите на уедряване	57
VI. 1.1. Уедряване на технологични отпадъци, получени при преработката на варовик	57
VI. 1.2. Уедряване на технологични отпадъци, получени при преработката на вермикулит	58
Обобщени изводи	60
Заклучение	63
Научни и научно-приложни приноси	63
Литература, посочена в автореферата на дисертационния труд	66
Приложимост на резултатите в учебния процес	67
Научни публикации по дисертационния труд	68
Научно-изследователски проекти по дисертационния труд	69

Анотация

Дисертационният труд е посветен на разработването на методи и технологии, базирани на систематизиран технологичен подход, с цел ефективно и комплексно управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия и тяхната практическа реализация. Посредством научни методи и средства в дисертацията са решени актуални проблеми от теорията и практиката при преработката на техногенни суровини.

В дисертацията е формулиран единен технологичен подход, съставен от систематично разработени методи и технологии за получаване на нови продукти от техногенни отпадъци с нови качествени характеристики, повишаване извличането на полезен компонент чрез намаляване на технологичните загуби, доизвличане на полезни компоненти от техногенни находища, бифазно разделяне на технологични отпадъци и сухото им депониране и създаване на подходяща хранителна среда за лесобиологична рекултивация на нарушени от минната дейност терени.

По този начин е открито ново научно направление, обхващащо оригинални технологични решения за инженерно управление на техногенни суровини. Получените в дисертационния труд резултати са методологична основа при разработването на конкретни технологични решения за управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия, систематизирана за първи път в научната литература.

Кратка обща характеристика и актуалност на дисертационния труд

Специфична особеност на технологичното развитие и научно-техническият прогрес е значителното нарастване обема на материалните производства. В резултат на това развитие необходимостта от полезни изкопаеми все повече се увеличава. Съвременната цивилизация е немислима без производството и употребата на огромен по обем и разнообразие набор от минерални суровини. Повишената консумация на полезни изкопаеми довежда до покачване темповете и мащабите на добив и преработка, което от своя страна води до натрупване на огромни количества технологични отпадъци. Непрестанно нарастващите обеми отпадъци представляват сериозен замърсител на околната среда, заемайки големи земеделски площи, формирайки техногенни натрупвания.

Осигуряването на възможности за преработка на технологичните отпадъци, чрез създаването на екологосъобразни инженерни решения, обезпечава съкращаването на разходи, свързани с търсене, проучване и експлоатация на природни находища на полезни изкопаеми, освобождава земи, ликвидира източници на замърсяване на околната среда. Същевременно, в резултат на обедняването на природните находища на полезни изкопаеми, в техногенните натрупвания в редица случаи се съдържат значително повече ценни минерали, в сравнение с тези от добитата руда.

От горе изложеното може да се направи изводът за **актуалността и важността на тематиката на настоящия дисертационен труд**. Пълноценното оползотворяване на подземните богатства може да се реализира единствено и само посредством внедряването на научни подходи и създаване на подходящи, целесъобразни, иновативни технологични решения за преработката на отпадъците от минерално-суровинната индустрия.

Въпросите за комплексното използване на минералните суровини стават все по-актуални. Анализът на състоянието на проблемите в това направление показва, че съществуват множество нереализирани възможности за ефективно управление чрез оползотворяване на практически всякакъв вид технологични натрупвания (техногенни находища) и съдържащите се в тях технологични отпадъци (техногенни суровини). Ниската степен на използване на технологичните отпадъци се дължи на разнообразни причини и определя необходимостта от реализацията на комплексни технологични подходи за усвояването на тези ценни ресурси.

Началото на XXI век е белязано с бързи темпове на технологично обновление, от нараснала иновативна активност и от създаване и широко приложение на нови технологии. Знанието, интегрирано в нови продукти, процеси и технологии се превръща в стратегически ресурс и средство за успех, конкурентоспособност и икономически растеж. Развитието на всяко общество зависи от създаването на иновационни технологии, реализиращи нови продукти, широкото им разпространение и приложение в индустрията.

Разработването на конкретни инженерни решения за екологосъобразно управление на отпадъците от минерално-суровинната индустрия и тяхната практическа реализация е изключително важна стъпка по пътя към ресурсната ефективност, устойчивото развитие на човешкия род и съхранението на планетата, скромни приноси, към което дава и настоящия труд.

Идеята за дисертационния труд се породила през последните години, през които научно-изследователската работа на катедра „Обогатяване и рециклиране на суровини“, неотклонно следваше тенденцията за търсене и реализация на иновативни, технологични, научно-приложни решения за преработка на всякакъв вид отпадъци от минерално-суровинната индустрия. При търсенето на инженерни решения за оползотворяване на разнообразните технологични отпадъци се формираха и технологичните подходи, систематизирани в дисертационния труд. Несъмнено, бъдещето принадлежи на новите суровинни ресурси, а именно – техногенните суровини.

Настоящият труд е една стъпка в посока поставяне на научна основа, чрез систематизиран подход към същността и механизмите на въпросите, проблемите и решенията на ново научно-приложно направление - *технологично управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия*.

Съгласно Закона за подземните богатства, чл. 22а „Управлението на минните отпадъци от проучването, добива и първичната преработка на подземни богатства се осъществява с цел предотвратяване, намаляване или ограничаване на вредното им въздействие върху компонентите на околната среда, безопасността и здравето на населението. (2) Управлението на минните отпадъци се съобразява с най-добрите налични техники и включва приоритетни мерки по:

1. Намаляване количеството на минните отпадъци;
2. Предотвратяване или ограничаване на вредното им въздействие;
3. Използването им и/или доизвличането на съдържащите се в тях полезни компоненти;
4. Безопасното им съхраняване;
5. Осигуряване на стабилността и безопасността на съоръжението за минни отпадъци;
6. Провеждане на мониторинг на съоръжението за минни отпадъци, включително след неговото закриване.”

Законът, като нормативен акт на компетентен орган на държавната власт, съдържа общи правила за поведение, насочени към неопределен брой субекти и имащи задължителна сила за тези субекти.

Законът за подземните богатства изяснява целта на управлението, посочва приоритетни мерки, информира, че е задължително „оптимално извличане на полезните компоненти от добитите подземни богатства при първичната им преработка”, *форматира законовата рамка на управлението*.

Настоящият дисертационен труд, чрез научни методи и средства систематизирано надгражда законодателната база, конкретизирайки *как* да се извърши ефективно управление на технологични отпадъци от добива и преработката на полезни изкопаеми. По този начин, чрез придобиване на нови научни и научно-приложни знания и резултати и чрез разработване на иновационни методи и технологии се поставя основата на ново научно - приложно направление, базирано на Закона за подземните богатства, а именно *технологично управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия*.

Всеки един от технологичните подходи, формулирани в дисертацията, подкрепени с разработени и реализирани технологии за управление на отпадъците от минерално-суровинната индустрия довежда до намаляване количеството на минните отпадъци, предотвратяване или ограничаване на вредното им въздействие, използването им и/или доизвличането на съдържащите се в тях полезни компоненти, безопасното им съхраняване.

Технологичен подход „Бифазно разделяне на технологични отпадъци и сухото им депониране“ допълнително реализира и „Осигуряване на стабилност и безопасност на съоръжението за минни отпадъци“, с което технологично решение се дава възможност за елиминиране на класическото отпадъкохранилище, депониране на отпадъците в сух вид и по този начин стабилното и безопасното им съхраняване.

Към настоящия момент (май, 2015 година) са в ход изменения в Закона за подземните богатства, които ще доведат до пълната синхронизация на българското законодателство с изискванията на Директива 2006/21/ЕО на Европейския парламент относно управлението на отпадъците от миннодобивната индустрия.

В законопроекта за изменение и допълнение на Закона за подземните богатства, внесен от Министерски съвет на 19 май 2015 г., за представяне, обсъждане и приемане в Народното събрание на Р. България (№ 502-01-37) е създадена нова точка от допълнителните разпоредби (т. 24а), в която се казва, че *«“оползотворяване на минни отпадъци“* е всяка дейност, която има като основен резултат използването на отпадъка за полезна цел вместо други материали, които биха били използвани за изпълнението на дадена функция, когато това е благоприятно за околната среда в съответствие със Закона за опазване на околната среда и подзаконовите нормативни актове по прилагането му и с разпоредбите на този закон“».

В настоящия дисертационен труд посредством научни методи и средства е показано как отпадъците от минерално-суровинната индустрия могат да се използват за полезни цели, вместо други материали (респективно – природни минерални суровини).

Дисертационният труд въвежда технологични иновации, чрез създаване и реализация на технологии за инженерно управление на отпадъците от минерално-суровинната индустрия. Конкретните технологични решения създадени в хода на дисертационния труд, съответстват на съвременните постижения в областта на преработката на полезни изкопаеми и дават възможност за решение на големия научно-приложен проблем, свързан с огромните обеми от технологични отпадъци.

Настоящият дисертационен труд е едно обобщение на част от изследванията и научно-приложната дейност на авторката през последните осем години. Преобладаващата част от изследванията са публикувани в международни научни списания или са докладвани на световни конгреси и международни конференции.

Структура и съдържание на дисертационния труд

Научният труд е разработен в шест части, всяка от които решава определен кръг научно-изследователски задачи, представяйки изследвания технологичен подход и съответното конкретно разработено и реализирано инженерно решение, базирано на подхода. Формирани са следните технологични подходи при управлението на отпадъци от минерално-суровинната индустрия:

1. *Получаване на нови вторични продукти от техногенни отпадъци с нови качествени характеристики.*
2. *Повишаване извличането на полезен компонент чрез намаляване на технологичните загуби.*
3. *Доизвличане на полезни компоненти от техногенни находища.*
4. *Бифазно разделяне на технологични отпадъци и сухото им депониране.*

5. *Създаване на подходяща хранителна среда за лесобиологична рекултивация на нарушени от минната дейност терени.*

6. *Уедряване на отпадъци от минерално-суровинната индустрия.*

В дисертационния труд е извършен задълбочен обзор и анализ на управлението на отпадъци от минерално-суровинната индустрия. Разгледани са основните категории технологични отпадъци, оценени са различни техники и технологии при управлението им, изучени са условията за формиране и експлоатация на техногенните находища, охарактеризирани са техногенните суровини. Изучени и дефинирани са понятията «техногенни находища», «техногенни суровини» и «техногенни ресурси».

Първа част на дисертационния труд представя технологичен подход „Получаване на нови вторични продукти от техногенни отпадъци с нови качествени характеристики” и реализацията му чрез създаването на две технологични решения за управление на техногенните отпадъци от преработването на кварцови и кварц-каолинови пясъци. Извършен е задълбочен литературен обзор, включващ характеристика и анализ на технологиите за преработка на кварцови и кварц-каолинови пясъци и техните приложения. Разработен, приложен и интерпретиран е оригинален изследователски инструментариум за изследване поведението на крайни технологични отпадъци от преработването на кварцови пясъци от обогатителна фабрика „Србокварц”, Рготина, Сърбия и кварц-каолинови пясъци от обогатителна фабрика „Сеново”, Каолин АД. Изучени са зърнометричния, химичен и минерален състав на двата крайни отпадъка. Получени са нови данни и зависимости, въз основа на които е доказана възможността за трансформиране на отпадъците в нови вторични продукти с нови качествени характеристики и тяхното приложение в керамичната и стъklarската промишленост. Разработени и представени са две технологии за получаване на нови вторични търговски продукти от отпадъците на обогатителна фабрика „Србокварц”, Рготина, Сърбия и обогатителна фабрика „Сеново”, Каолин АД.

Втора част от дисертационния труд обхваща технологичен подход „Повишаване извличането на полезен компонент чрез намаляване на технологичните загуби” и приложението му за максимално минимизиране на технологичните загуби при преработване на българските кварц-каолинови пясъци. Внедряването на инженерни решения за оптимизиране на производствените процеси и технологии, предоставят разнообразни възможности за реализацията на по-голям обем крайна търговска продукция. Разработена е научно-изследователска програма за получаване на краен сток каолинов продукт от крайния технологичен отпадък. Изучен и охарактеризиран е веществения състав на технологичния отпадък, получен при преработване на кварц-каолинови пясъци в ОФ „Ветово”. Разработен е *Метод на гранулометрична сепарация в хидродинамичен слой на изплаващи въздушни мехурчета*. Теоретично е изучено и са изчислени ефективната дебелина на граничния слой, относителната скорост и времето на престой на частици с различен размер в хидродинамичен слой на изплаващи въздушни мехурчета. Представени са моделни изследвания със стъклени микросфери, за изучаване извличането на различни по размер монокомпонентни монодисперсни частици. Въз основа на получените научни резултати от моделните и лабораторни изследвания е конструиран и изработен промишлен прототип на *аеролифтен класификатор*, реализиращ създадения *Метод на гранулометрична сепарация в граничен хидродинамичен слой на изплаващи въздушни мехурчета*. С апарата са проведени промишлени тестове. Той е внедрен в технологичната схема на промивен цех на обогатителна фабрика „Ветово”. Разработен е *Метод за класиране на финодисперсни материали в ламинарен поток*. Извършен е теоретичен анализ на поведението на твърди частици при ламинарно движение на потока в наклонен утаителен канал, формиран между две успоредни пластини. За изучаване възможностите на метода за гранулометрична сепарация в ламинарен поток е изработена лабораторна инсталация с единичен наклонен утаителен канал. Конструиран, изработен и монтиран в промивен цех на ОФ „Ветово” е

промишлен прототип на *ламелен рефлукс класификатор*, реализиращ *Метода за класиране на финодисперсни материали в ламинарен поток*. Монтирана и работеща в промивен цех на ОФ „Ветово” е тристадиална гравитационна инсталация за преработване на каолиновия отпадък. В резултат на приложените иновативни, научно-изследователски подходи, с цел повишаване извличането на полезен компонент, чрез намаляване на технологичните загуби, при преработване на българските кварц-каолинови пясъци е разработена и внедрена технология за преработване на техногенен отпадък на ОФ „Ветово”.

В трета част на дисертацията е представен технологичен подход *„Доизвличане на полезни компоненти от техногенни находища”*, онагледен с конкретно технологично решение за доизвличане на барит от техногенна суровина, получена при преработване на кремиковска руда, включващо магнетизиращо пържене. Извършен е подробен литературен обзор, въз основа на който са анализирани възможностите за доизвличане на ценни минерали от различни производствени отпадъци. Направено е обобщение на изследванията, свързани с управлението на отпадъци от минерално-суровинната индустрия, базирани на подхода доизвличане. Изучена е работата на РОФ „Кремиковци” от началните години на създаване до закриването ѝ. Разработена е комплексна научно-изследователска програма за установяване възможностите за доизвличане на барит от технологичния отпадък, получаващ преди 01.07.1990 година в РОФ „Кремиковци” и понастоящем депониран в отпадъкохранилище „Челопечене”. Разработени са методики, посредством които е изучен вещественият състав и физико-механичните свойства на технологичния „черен отпадък”. Изследвано е поведението на шест броя реагенти събиратели при различни разходни норми. Реализирани са флотационни експерименти в отворен цикъл, доказана е обогатимостта на технологичния отпадък. Извършени са стендови флотационни експерименти в затворен цикъл при оптимизирани технологични параметри на процеса, с различни комбинации от реагенти събиратели и смеси. Получен е баритен концентрат, качествените характеристики на който съответстват на клас „А” от международните стандарти. Доказано е, че отпадъкохранилище „Челопечене” е *техногенно находище*, а отпадъка, съдържащ се в него – *техногенна суровина*. Проведени са системни и конкретни научни изследвания и са създадени комбинирана технология и реагентен режим за получаване на баритен концентрат от технологичен „черен отпадък”. Разработено е конкретно технологично решение с непосредствена практическа приложимост за доизвличане на барит от техногенно находище „Челопечене”. Част трета на дисертационния труд е допълнена с три приложения, обезпечаващи подробна информация за получените резултати.

Четвърта част на дисертационния труд е посветена на технологичен подход *„Бифазно разделяне на технологични отпадъци и сухото им депониране”*. Извършен е обширен литературен обзор, обхващащ анализ на възможностите за управление на технологични отпадъци при тяхното депониране. Изучени са методът на „минно запълване”, управлението чрез съвместно депониране на технологичен флотационен отпадък и нерудната скална маса и възможностите за изграждане на инсталации за бифазно разделяне и сухо депониране на отпадъци. Разработена е комплексна научно-изследователска програма и са доказани възможностите за бифазно разделяне на краен технологичен отпадък от обогатителна флотационна фабрика в условията на «Лъки-Инвест» АД и депонирането му в сух вид. Извършен е продължителен мониторинг, въз основа на който са разработени методики за охарактеризиране на крайния технологичен отпадък, изучени са веществения му състав и технологични параметри. Проведени са лабораторни и полупромишлени изследвания за обезводняване на технологичния отпадък. Получени са недостатъчно разпространени знания за теорията и практиката при обезводняването на флотационни отпадъци при експериментална работа с нови модификации хидроциклони Linatex HK и Krebs gMAX20-SSC. Изучени и доказани са предимствата на комбинирания метод на обезводняване включващ гравитационно обезводняване и обезводняване на вибрационно сито. Разработена

е комбинирана технология за двустадиално бифазно разделяне на краен технологичен отпадък и депонирането му в сух вид. Разработено е инженерно решение, което дава възможност за елиминиране на класическото отпадъкохранилище, депониране на отпадъците в сух вид и получаване на избистрена оборотна вода. Полупромишлените експерименти, представени в част четвърта от дисертационния труд са извършени в изследователската база на Derrick Corporation, гр. Бъфало, САЩ. За допълнително онагледяване на експерименталните резултати към част четвърта е включено и приложение в табличен вид.

В пета част е разработен и представен технологичен подход *„Създаване на подходяща хранителна среда за лесобиологична рекултивация на нарушени от минната дейност терени“*. Изучени и анализирани са възможностите за рекултивация с минерални и органо-минерални мелиоранти на антропогенните почви, формиращи насипите от добивната дейност на „Каолин“ АД. Извършен е изчерпателен литературен обзор, включващ анализ на възможностите на рекултивацията, като комплексна дейност за възстановяването на нарушените от минната промишленост земни площи, с цел бъдещото им рационално и екологосъобразно ползване. Изучени са физичните, химични, минераложки, агрохимични и физикохимични показатели на два участъка от антропогенни почви на район Ветово. Формулирани са методики за охарактеризиране на антропогенни почви от насипите и са получени нови данни за състава и структурата им. Доказано е, че антропогенните почви от вътрешен отвал на участък № 5 и външен отвал на кариера „Есенниците“, участък № 8 са подходящи за безхумусна лесобиологична рекултивация. Осъществени са съдови експерименти за изучаване на антропогенните почви и са избрани мелиоранти, на които са изучени агрохимичните параметри. Разработени са схема за провеждане на съдови опити и метод на смесване на антропогенните почви с мелиорант. Реализирани са биометрични изследвания на едногодишните растения от съдови експерименти. Проведени са химико-биологични изследвания на третираните субстрати на растенията. Допълнително са извършени химико-биологични изследвания на зелената листна маса на растенията от първата година на съдови експерименти. Предложен е метод за внасяне на минерални мелиоранти в непродуктивния слой на определения за залесяване терен и са реализирани едногодишни теренни изследвания. Постигнато е получаване на земеделска реколта от плодове „Годжи бери“. По този начин е създаден нов продукт, чрез оползотворяване на технологични отпадъци. Доказано е, че третирането на техногенните насипищни отпадъци, с минерални и органо-минерални мелиоранти довежда до образуване на хумусна субстанция. Реализирана е технология за безхумусна рекултивация. Доказано е, че с приложението на технологичния подход за управление на отпадъци, освен постигането на екологичен ефект върху насипите от добивната дейност на „Каолин“ АД е възможно производство на земеделска продукция. Част пета е допълнена с две приложения илюстриращи подробно получените резултати.

Шеста част представя технологичен подход *„Уедряване на отпадъци от минерално-суровинната индустрия“*. Анализирани и обобщени са технологичните възможности на съвременните методи за уедряване и е доказана рационалността и необходимостта от приложението им. Показано е влиянието на различни видове адхезиви за уедряване на технологични отпадъци от индустриални минерали, анализиран е механизма на действието им при процеса брикетиране. Представени са конкретни решения, водещи до пълноценно усвояване на дребните, неоползотворими фракции от технологични отпадъци варовик и вермикулит. Доказана е възможността за получаването на нови продукти от техногенни отпадъци, с контролирани качествени показатели, с приложение в различни отрасли на промишлеността. Част шеста е допълнена с три приложения, представящи получените продукти от техногенни отпадъци – брикети.

Базирайки се на получените научни и научно-приложни резултати, изложени в отделните части на дисертационния труд са изведени и **обобщени изводи и заключение**.

Елементите на цялостния подход при разработването на настоящия дисертационен труд са представени на таблица 1.

Таблица 1. Елементи на цялостния подход, същност и особености на дисертационния труд

Технологичен подход	Технологично/инженерно решение	Потребител на технологично/инженерно решение	Резултат/Продукт
Получаване на нови вторични продукти от техногенни отпадъци с нови качествени характеристики	1. Комбинирана технология за получаване на нови вторични продукти от технологичен отпадък от преработване на кварцови пясъци	Обогатителна фабрика „Србокварц“, Каолин АД	Нови вторични продукти с приложение в керамичната промишленост.
	2. Комбинирана технология за получаване на нови вторични продукти от технологичен отпадък от преработване на кварц-каолинови пясъци	Обогатителна фабрика „Сеново“, Каолин АД	Нови вторични продукти с приложение в стъкларската, фаянсовата и санитарната промишлености.
Повишаване извличането на полезен компонент чрез намаляване на технологичните загуби	Технология за преработване на отпадъци от кварц-каолиновото производство	Обогатителна фабрика „Ветово“, Каолин АД	1000 тона допълнително каолин, на база годишно производство в ОФ „Ветово“.
Доизвличане на полезни компоненти от техногенни находища	Комбинирана технология и реагентен режим за получаване на баритен концентрат от техногенна суровина „черен отпадък“ от отпадъкохранилище „Челопечене“	Техногенно находище „Челопечене“	Доказана възможност за получаване на баритен концентрат.
Бифазно разделяне на технологични отпадъци и сухото им депониране	Комбинирана технология за бифазно разделяне на краен технологичен отпадък от обогатителна фабрика на „Лъки Инвест“ АД и сухо депониране	Лъкинска обогатителна фабрика, Лъки Инвест АД, „Прохорово Майнинг“ АД	Сух флотационен отпадък, избистрена оборотна вода.
Създаване на подходяща хранителна среда за лесобиологична рекултивация на нарушени от минната дейност терени	Лесобиологична рекултивация на антропогенни почви от насипите образувани от разкривната дейност на Каолин АД	Каолин АД	Опитно поле от 1 000 m ² на антропогенни почви от насипи с 3 годишни дървесни видове: Пауловния, Годжи бери, Бяла акция, Синя слива. Реколта от плодове Годжи бери.
Уедряване на отпадъци от минерално-сировинната индустрия	Технологични решения за уедряване на техногенни суровини, получени при преработката на индустриални минерали	„Хеликс“ ЕООД, Каолин АД	Вермикулитови брикети, варовикови брикети.

Теоретическото значение на дисертационния труд се състои в научната обосновка на съвременните подходи към решаването на актуалния проблем, свързан с управлението на отпадъци от минерално-сировинната индустрия. Комплексното изучаване на въпроса, теоретичните обобщения, анализа на теориите и практиките допълват и задълбочават научното познание в направлението. Разработените в дисертацията методи и технологии

обогатяват и развиват теорията и практиката на процесите, свързани с преработката на техногенни суровини.

Практическата значимост на дисертационния труд се определя от възможностите за приложение на разработените конкретни технологични решения.

Представеният в настоящия дисертационен труд набор от научни подходи позволи да се стигне до разработването на конкретни технологични решения за ефективно инженерно управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия и тяхната практическа реализация.

Обект и предмет на дисертационния труд

Обект на изследване в настоящия дисертационен труд са техногенните отпадъци от минерално-суровинната индустрия и по-конкретно отпадъците, получени в резултат от преработката на полезните изкопаеми и техногенни насипи от добивна дейност.

Предметът на изследване в разработката е създаването на конкретни технологични решения за ефективно инженерно управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия и тяхната практическа реализация.

Цел и задачи на дисертационния труд

Основната цел на дисертационния труд е насочена към разработването на конкретни методи и технологии, базирани на формулирани технологични подходи, за ефективно инженерно управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия и тяхната практическа реализация. Реализирането на основната цел предпостави насочването на научния интерес към решаването на следните изследователски задачи:

1. Изучаване, задълбочен обзорен преглед и анализ на съществуващите методи и технологии за управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия.
2. Изучаване на веществения състав на техногенни суровини, получени в резултат от преработката на кварцови и кварц-каолинови пясъци, технологичен „черен отпадък” от техногенно находище „Челопечене”, технологичен флотационен отпадък, техногенни насипи от добивна дейност и отпадъци от индустриални минерали.
3. Разработване на *технологичен подход* „Получаване на нови вторични продукти от техногенни отпадъци с нови качествени характеристики”:
 - ❖ Характеристика и анализ на технологиите за преработка на кварцови и кварц-каолинови пясъци и очертаване на технологичните възможности за получаване на нови стокови продукти от техногенни отпадъци.
 - ❖ Разработване на технология за получаване на нови вторични продукти от техногенен отпадък, получен при преработване на кварцови пясъци.
 - ❖ Разработване на технология за получаване на нови вторични продукти от технологичен отпадък от преработване на кварц-каолинови пясъци.
4. Разработване на *технологичен подход* „Повишаване извличането на полезен компонент чрез намаляване на технологичните загуби”:
 - ❖ Разработване на Метод за гранулометрична сепарация в хидродинамичен слой на изплаващи въздушни мехурчета. Теоретично изчисляване на ефективната дебелина на граничния слой, относителната скорост и времето на престой на частици с различен размер в хидродинамичен слой на изплаващи въздушни мехурчета.
 - ❖ Конструирание и изработване на промишлен прототип на аеролифтен класификатор за практическа реализация на метода в промишлени условия.

- ❖ Разработване на Метод за класиране на финодисперсни материали в ламинарен поток. Извършване на теоретичен анализ на поведението на твърди частици при ламинарно движение на потока в наклонен утаителен канал, формиран между две успоредни пластини. Конструирание на лабораторна инсталация с единичен наклонен утаителен канал. Конструирание, изработване и внедряване в производствени условия на промишлен прототип ламелен рефлукс класификатор, реализиращ метода за класиране на финодисперсни материали в ламинарен поток.
- ❖ Разработване и внедряване на технология за преработване на техногенен отпадък от кварц-каолиновото производство.

5. Разработване на *технологичен подход „Доизвличане на полезни компоненти от техногенни находища“*:

- ❖ Разкриване на същността, изучаване и анализ на възможностите за реализиране доизвличане на полезни компоненти от техногенни находища.
- ❖ Разработване на технология за доизвличане на баритен концентрат от техногенна суровина, получена при преработване на кремиковска руда, включващо магнетизиращо пържене.

6. Разработване на *технологичен подход „Бифазно разделяне на технологични отпадъци и сухото им депониране“*:

- ❖ Анализ на възможностите за управление на технологични отпадъци и тяхното депониране.
- ❖ Разработване на технология за бифазно разделяне на краен технологичен флотационен отпадък и депонирането му в сух вид.

7. Разработване на *технологичен подход „Създаване на подходяща хранителна среда за лесобиологична рекултивация на нарушени от минната дейност терени“*:

- ❖ Изучаване и анализ на възможностите за лесобиологична рекултивация на антропогенните почви с минерални и органо-минерални мелиоранти.
- ❖ Създаване на подходяща хранителна среда за лесобиологична рекултивация на нарушени от минната дейност терени.
- ❖ Разработване на технология за лесобиологична рекултивация на нарушени от минната дейност терени.

8. Разработване на *технологичен подход „Уедряване на отпадъци от минерално-суровинната индустрия“*:

- ❖ Разкриване на технологичните аспекти на процесите за уедряване. Изучаване, анализиране и създаване на възможности за уедряване на техногенни суровини от преработката на индустриалните минерали варовик и вермикулит.

9. Въз основа на научните и научно-приложни резултати, извеждане на общозначими изводи и заключения.

ЧАСТ ПЪРВА. ПОЛУЧАВАНЕ НА НОВИ ВТОРИЧНИ ПРОДУКТИ ОТ ТЕХНОГЕННИ ОТПАДЪЦИ С НОВИ КАЧЕСТВЕНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Въвеждането на техногенните суровини в стопанската дейност, чрез преработката им за получаване на нови вторични продукти с нови качествени характеристики обезпечава значителни икономии за суровини, материали, енергия и като цяло се характеризира с високи показатели на икономическа ефективност. Важни аспекти при използването на техногенните суровини за получаване на нови вторични продукти са свързани и с ограничените запаси на подземни богатства и опазването на околната среда. Бързото нарастване на цените на суровини, материали и енергия поставя с особена острота въпросът за ефективна употреба на техногенните суровини. Усвояването на все по-бедни находища на полезни изкопаеми е световна тенденция, във връзка с което количеството на технологичните отпадъци и в бъдеще ще нараства. Разработването на технологични решения за устойчивото им и ефективно управление придобива все по-голямо значение.

Прилагането на технологичния подход *„Получаване на нови вторични продукти от техногенни отпадъци с нови качествени характеристики“* дава възможност за трансформиране на отпадъците в нови търговски продукти с вторичен произход, което е важен дял от цялостното управление на околната среда и е в основата на екологосъобразното, хармонично и устойчиво социално-икономическо развитие на обществото.

В част първа от дисертационния труд е реализирано получаване на нови вторични търговски продукти с нови качествени характеристики от техногенни отпадъци, получени в резултат от преработката на индустриални минерали. При индустриалните минерали, посочения технологичен подход за управление на отпадъците от тяхната преработка е възможен, тъй като чрез създаването на подходящи инженерни решения могат да се получават вторични продукти с различни качествени характеристики за приложение в различни индустрии.

Реализацията на технологичния подход *„Получаване на нови вторични продукти от техногенни отпадъци с нови качествени характеристики“* чрез създаване на подходящи инженерни решения, при техногенните отпадъци от преработването на кварцови и кварц-каолинови пясъци се порождат от технологичната и пазарна необходимост от такъв вид вторични продукти.

В Част Първа от дисертационния труд, технологичният подход при управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия *„Получаване на нови вторични продукти от техногенни отпадъци с нови качествени характеристики“* е реализиран посредством разработването на две технологични решения, а именно:

- ❖ Получаване на нови вторични търговски продукти от отпадъка, получен при преработката на кварцови пясъци в „Србокварц“, Рготина, Сърбия и
- ❖ Получаване на нови вторични търговски продукти от отпадъка, получен при преработката на кварц-каолинови пясъци в ОФ Сеново, Каолин АД.

I. 1. Комбинирана технология за получаване на нови вторични продукти от технологичен отпадък от преработване на кварцови пясъци

Разработена е комплексна научно-изследователска програма за трансформиране на техногенния отпадък, получен при преработване на суровината от находище „Облаците“ на „Србокварц“ в нови вторични продукти с нови качествени характеристики.

Обогатителна фабрика „Србокварц“, Рготина, Сърбия произвежда различни марки кварцови пясъци. Суровината представлява кварц - фелдшпатов пясък с минерален състав от кварц, фелдшпат, каолинит и слюди/хидрослюди. Около 20 % от преработена суровина се превръща в техногенен отпадък и се депонира в отпадъкохранилище.

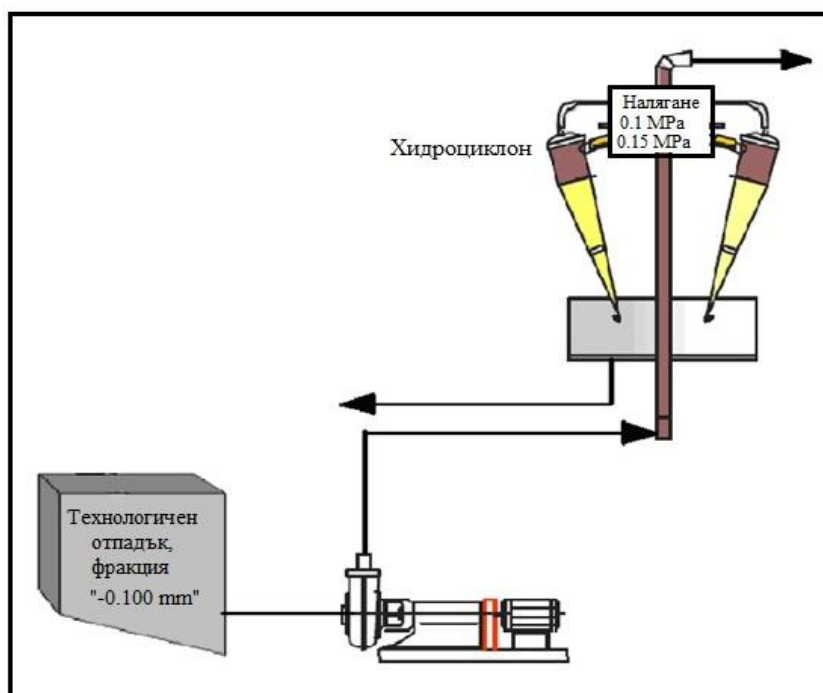
Въз основа на продължителен мониторинг е охарактеризиран крайния технологичен отпадък. Определени са зърнометричния, химичен и минерален състав на отпадъка, които са база за планиране и провеждане на полупромишлени тестове за получаване на нови вторични продукти. Получените резултати показват, че крайният технологичен отпадък е фин продукт със съдържание на фракцията под 0.100 mm - 83.40 %. Съдържанието на фракцията под 0.056 mm е 67.43 %. Фракцията „0.100 - 0.600 mm” е повече от 15 % което показва, че се реализират определено загуби от тази фракция кварцов пясък.

Определеният веществен състав на технологичния отпадък, получен при преработване на кварцови пясъци в „Србокварц”, Рготина показва, че този техногенен отпадък има потенциал да бъде трансформиран в нови вторични продукти с конкретни приложения. Това естествено би могло да се реализира с разработване на подходящо технологично решение.

Изследвана е представителна проба от краен технологичен отпадък, получен при преработване на кварцови пясъци в ОФ „Србокварц”. Полупромишлените тестове включват следните операции:

- ❖ Пресяване на вибрационно сито с размер на отворите на пресевната повърхност 0.100 mm с цел отделяне на фракцията „0.100 - 0.600 mm”, която е стоков продукт на „Србокварц”, Рготина.
- ❖ Хидроциклонна класификация на фракцията „- 0.100 mm” с цел получаване на нови вторични стокови продукти.

Полупромишлените тестове са проведени на вибрационно сито и полупромишлена хидроциклонна уредба, представена на фигура I. 2.



Фиг. I.2. Полупромишлена хидроциклонна инсталация, [Marinov et al., 2009]

Резултатите от полупромишлените тестове ясно показват, че има възможност за получаване на два нови вторични продукти след вибрационно пресяване и хидроциклонна класификация на технологичния отпадък, получен при преработването на кварцови пясъци.

Горният продукт от хидроциклонната класификация е много фин (над 99 % под 0.045 mm) каолинит-кварц-фелдшпатов продукт със значително присъствие на слюди/хидрослюди. Физико-механичните показатели на горния продукт от хидроциклонната класификация

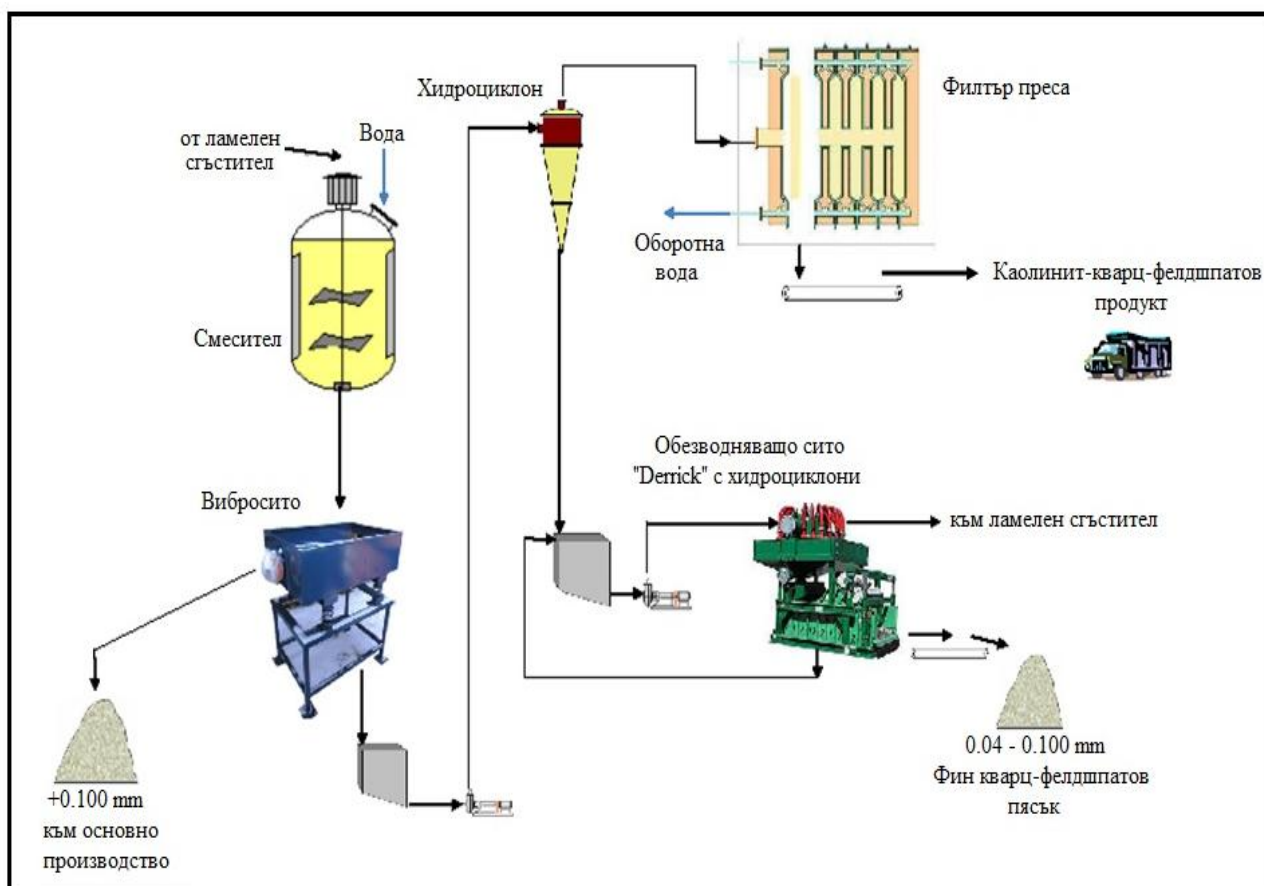
показват, че този вторичен продукт може да се използва като компонент в керамични маси за производство на подови плочки и строителна керамика.

Долният продукт от хидроциклонирането е фин (над 97 % под 0.100 mm) кварц-фелдшпатов пясък със съдържание на кварц 60 % и примеси от каолинит и слюди/хидрослюди. Резултатите от химичния, зърнометричен и минералогички анализи показват, че финия кварц-фелдшпатов пясък, получен като долен продукт от хидроциклонната класификация може да намери приложение като компонент в керамични маси за производство на плочки [Dobрева et al., 2010].

Експериментални резултати от полупромишлените тестове доказват, че има технологични възможности за трансформиране на техногенния отпадък, получен при преработване на суровината от находище „Облаците” на „Србокварц” в нови вторични продукти с нови качествени характеристики и тяхното приложение в керамичната промишленост.

Въз основа на получените експериментални резултати е разработена комбинирана технология за получаване на нови вторични продукти от технологичен отпадък от преработване на кварцови пясъци в обогатителна фабрика „Србокварц”, Рготина, Сърбия. Тази технология дава възможност за получаване на два нови вторични продукти и тяхното приложение като компоненти в керамични маси при производство на керамични изделия.

На фигура I. 3 е представена принципна схема на машините и апаратите за преработване на технологичния отпадък от „Србокварц”, Рготина. Комбинираната технология включва вибрационно пресяване, хидроциклонна класификация, обезводняване на крайните продукти.



Фиг. I. 3. Верижна схема на машините и апаратите за преработване на технологичния отпадък от ОФ „Србокварц”, Рготина

Разработената комбинирана технология за получаване на нови вторични продукти е конкретно технологично решение при различните алтернативни подходи за управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия. Това технологично решение дава възможност за пълноценно оползотворяване на суровината чрез получаване на два нови вторични продукти и тяхното приложение.

В конкретния случай за условията на „Србокварц“, Рготина, Сърбия разработената комбинирана технология дава възможност допълнително да се реализира и технологичния подход при управление на отпадъци *„Повишаване извличането на полезен компонент чрез намаляване на технологичните загуби“*. С преработването на отпадъка допълнително се повишава извличането на полезен компонент – фракция „0.100 – 0.600 mm“, което води до нарастване количеството на един от крайните стокови продукти от основното производство.

I. 2. Комбинирана технология за получаване на нови вторични продукти от технологичен отпадък от преработване на кварц-каолинови пясъци

В продължение на дълги години кварц-каолиновите пясъци от Североизточна България се преработваха във водна среда чрез гравитационна класификация. Класическата гравитационна технология генерираше технологичен отпадък от порядъка на 18 - 22 % от преработваната суровина в зависимост от зърнометричната ѝ характеристика, който се депонира в отпадъкохранилището.

При управление на техногенните отпадъци от преработването на кварц-каолинови пясъци е възможно прилагането на два алтернативни технологични подхода:

- ❖ Получаване на нови вторични продукти с нови качествени характеристики.
- ❖ Повишаване извличането на полезен компонент чрез намаляване на технологичните загуби.

Първият подход е приложим при конкретна пазарна необходимост от такъв вид вторични продукти. При него се търси конкретно инженерно решение за преработване на отпадъка. Този подход се разглежда в Част Първа на дисертационния труд за технологичния отпадък от ОФ „Сеново“, Каолин АД.

Вторият подход се реализира със замяна на класическата гравитационна технология с комбинирана технология за преработване на кварц-каолинови пясъци и включването в нея на нов тип машини и апарати. Този подход се разглежда в Част Втора на дисертацията за технологичния отпадък от ОФ „Ветово“, Каолин АД.

Разработена е научно-изследователска програма за трансформиране на техногенния отпадък, получен при преработване на кварц-каолинова суровината в ОФ „Сеново“ в нови вторични продукти с нови качествени характеристики.

Охарактеризиран е крайният технологичен отпадък от преработването на кварц-каолинови пясъци в обогатителна фабрика „Сеново“. Определени са зърнометричният, химичен и минерален състав на отпадъка, които са база за планиране и провеждане на лабораторни и полупромишлени тестове за получаване на нови вторични продукти.

Определеният веществен състав на технологичния отпадък, показва, че този техногенен отпадък има потенциал да бъде трансформиран в нови вторични продукти с конкретни приложения в промишлеността. *Това би могло да се реализира с разработване на подходящо технологично решение и пазарна необходимост от такъв вид вторични продукти.*

Получените експериментални резултати от лабораторните и полупромишлените тестове доказват, че има технологични възможности за трансформиране на техногенния отпадък, получен при преработването на кварц-каолинова суровината в нови вторични продукти: *глиневата фракция и фракция над 0.100 mm* и тяхното приложение в стъкларската, фаянсовата и санитарната промишлености.

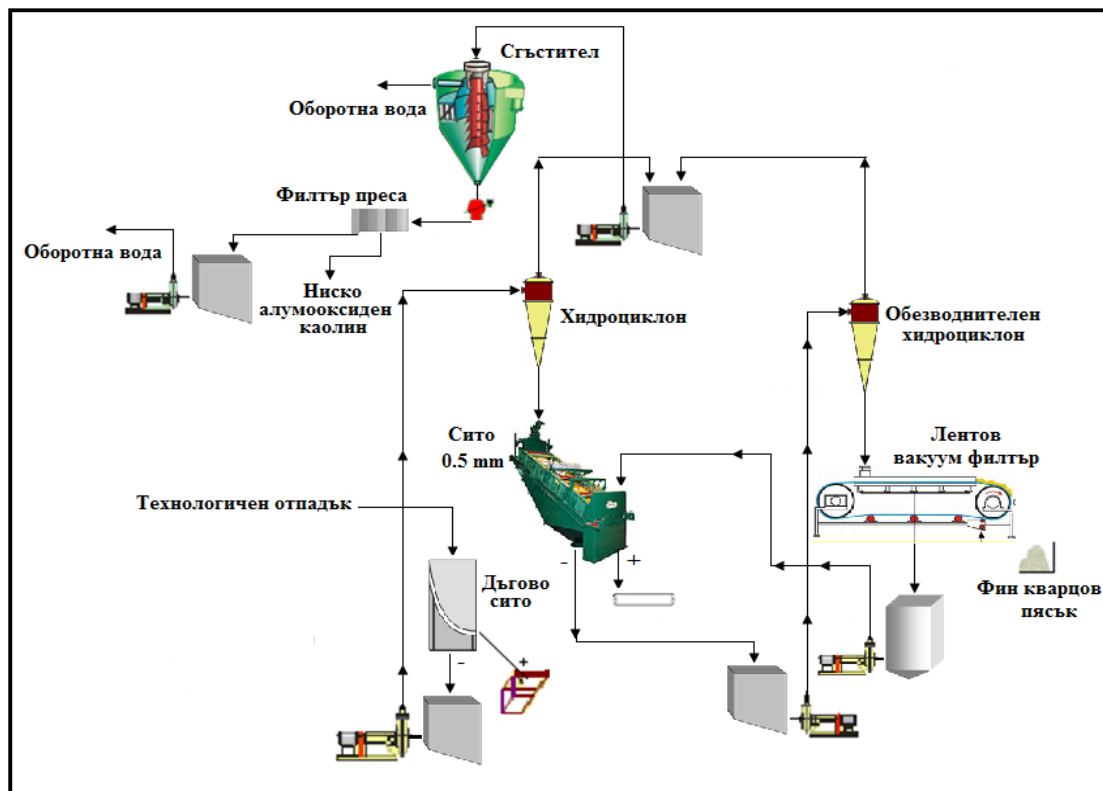
Полупромишлените тестове включват следните операции:

- ❖ Пресяване на вибрационно сито с размер на отворите на пресевната повърхност 0.100 mm с цел отделяне на фракцията „0.100 - 0.400 mm“;
- ❖ Хидроциклонна класификация на фракцията „- 0.100 mm“ с цел получаване на нови вторични стокови продукти – каолин със съдържание на Al_2O_3 около 30 % и долен продукт с минимално съдържание на Al_2O_3 (под 1.5 %).

Полупромишлените експерименти показват как с промяната размера на преливна и пясъчна дюза на хидроциклона има възможност да се управлява зърнометричната характеристика на получените продукти (горен продукт - прелив и долен продукт – пясък) и съответно съдържанието на Al_2O_3 в тях. Това дава възможност за получаване на вторични продукти от отпадъка при конкретна пазарна необходимост за тяхната търговска реализация.

С прилагането на комбинирана схема на преработване на отпадъка, включваща вибрационно пресяване и хидроциклонна класификация може да се получат два нови вторични продукти: нискоалумооксиден каолин със съдържание на Al_2O_3 над 23 %, който отговаря на изискванията на санитарно-фаянсовата промишленост и кварцов пясък с малко по-ниско съдържание на SiO_2 – 98.95 % в сравнение с традиционните стъкларски марки кварцов пясък (99.30%). Двата нови вторични продукта могат да намерят приложение като суровини за производството на фаянс и санитарна керамика и производството на опаковъчни и домакински стъкла.

Въз основа на получените експериментални резултати е разработена комбинирана технология за получаване на нови вторични продукти от технологичен отпадък от преработване на кварц-каолинови пясъци в ОФ „Сеново“. На фигура I.7 е представена принципна схема на машините и апаратите за преработване на технологичния отпадък от ОФ „Сеново“. Комбинираната технология включва пресяване на дъгово сито, хидроциклонна класификация, вибрационно пресяване и обезводняване на крайните продукти.



Фиг. I.7. Верижна схема на машините и апаратите за преработване на технологичния отпадък от ОФ „Сеново“

Разработената комбинирана технология за получаване на нови вторични продукти е конкретно инженерно решение при алтернативните подходи за управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия. Това технологично решение дава възможност за пълноценно оползотворяване на суровината чрез получаване на два нови вторични продукти, които при пазарна необходимост могат да намерят приложение като суровини за производството на фаянс и санитарна керамика и производството на опаковъчни и домакински стъкла.

ЧАСТ ВТОРА. ПОВИШАВАНЕ ИЗВЛИЧАНЕТО НА ПОЛЕЗЕН КОМПОНЕНТ ЧРЕЗ НАМАЛЯВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ ЗАГУБИ

Ефективното управление на природните минерални богатства е невъзможно без пълно извличане и комплексно оползотворяване на полезните компоненти от подлаганите на преработка руди.

Науката обогатяване на полезни изкопаеми е един от най-важните етапи в рамките на оползотворяването на твърдите минерали суровини и значението ѝ непрекъснато нараства. При съпоставяне средните съдържания на ценен компонент за отделните добивани полезни изкопаеми, в световен мащаб от десетилетия се наблюдава една западаща тенденция. Поради това за науката обогатяване нараства задачата да преодолее тази тенденция и да достави и по-нататък продукти със запазено качество, по възможност дори и по-добри продукти. Абсолютното съдържание на ценен компонент в едно находище и неговите общи запаси сами по себе си не дават достатъчна информация за неговото значение. Само производителността и разходите по добива, обогатяването и следваща преработка могат да бъдат база за вземане на решения [Мочев, Григорова, 2013].

Нарастващите потребности от различни видове минерални суровини могат да бъдат удовлетворени не толкова чрез въвеждане в експлоатация на нови находища на полезни изкопаеми, колкото чрез рационално и комплексно използване на подземните богатства, реализирано посредством усъвършенстване на технологичните схеми и процеси на обогатяване.

В повечето случаи схемите на обогатяване имат не малко неизползвани резерви, реализацията на които би способствала не само за пълноценното оползотворяване на суровините, но и за повишаване количеството на крайния концентрат, а оттук – и икономическа целесъобразност от повишените приходи за минното предприятие. Реализацията на по-голям обем крайна търговска продукция, при един и същи количествен вход на изходна суровина би могло да се осъществи, чрез повишаване ефективността на производствените преработвателни процеси, посредством намаляване загубите на полезен компонент в крайния отпадък от обогатяването.

Преработката на все по-трудно обогатими минерални суровини със сложен веществен състав и ниско съдържание на полезни компоненти, повишените изисквания към качеството на концентратите поставят пред изследователите важната задача за усъвършенстване процесите на обогатяване. Въз основа на това, като основна задача следва да се търсят и реализират технологични решения базирани на подхода *„Повишаване извличането на полезен компонент чрез намаляване на технологичните загуби“*, което би довело до нарастване обема на извлечените ценни минерали и намаляване количествата на технологичните отпадъци. По този начин би могло да се подобри цялостното управление на подземните богатства.

Тенденцията за непрекъснато пазарно нарастване на каолина и неговото многостранно използване в различни сфери на производството изисква максимално минимизиране на технологичните загуби от този индустриален минерал при преработване на българските

кварц-каолинови пясъци. Това би могло да се реализира чрез ефективно управление, прилагайки технологичния подход *„Повишаване извличането на полезен компонент чрез намаляване на технологичните загуби“*. В дисертационния труд, този подход е реализиран посредством разработване на *„Метод на гранулометрична сепарация в хидродинамичен слой на изплаващи въздушни мехурчета“* и *„Метод за класиране на финодисперсни материали в ламинарен поток“* и тяхното съчетание в конкретно инженерно решение – технология за преработване на краен технологичен отпадък на ОФ „Ветово“.

II. 1. Технологични възможности за повишаване извличането на каолин чрез намаляване на технологичните загуби

С цел минимизиране на технологичните загуби при преработване на кварц-каолинова суровината в ОФ „Ветово“ е разработена научно-изследователска програма за получаване на краен стоков каолинов продукт от крайния технологичен отпадък. Тази програма включва:

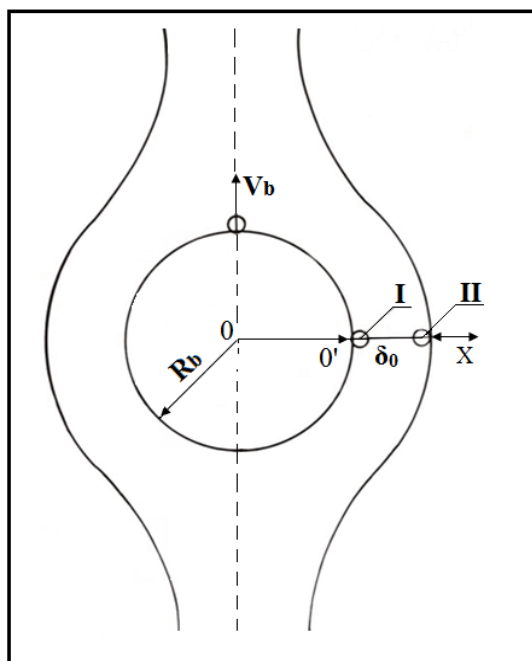
- ❖ Изучаване веществения състав на технологичен отпадък, получен при преработване на кварц-каолинови пясъци в ОФ „Ветово“.
- ❖ Разработване на нови методи и апарати за гранулометрична сепарация на фини частици в ламинарен поток и включването им в комбинираната технология за преработване на кварц-каолинови пясъци.
- ❖ Разработване и внедряване на технология за извличане на каолин от краен технологичен отпадък.

II. 1.1. Изучаване веществения състав на технологичен отпадък, получен при преработване на кварц-каолинови пясъци в ОФ „Ветово“

Получените резултати от зърнометричния и химичен анализ показват, че след внедряването на комбинирана схема за мокро фракциониране на кварц-каолинови пясъци в ОФ „Ветово“ технологичният отпадък основно е с размер под 0.045 mm, със съдържание на Al_2O_3 в границите на 6 – 9 %. Този отпадък е много трудно обогатим за получаване на краен каолин продукт. Класическите гравитационни методи, използващи центробежно поле са неприложими за този отпадък. Поради тази причина усилията ни бяха съсредоточени към разработване на нови методи и апарати за гранулометрична сепарация на фини частици в ламинарен поток и включването им в комбинираната технология за преработване на кварц-каолинови пясъци в ОФ „Ветово“.

II.1.2. Метод за гранулометрична сепарация в хидродинамичен слой на изплаващи въздушни мехурчета

Във връзка с реализирането на технологичния подход при управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия *„Повишаване извличането на полезен компонент чрез намаляване на технологичните загуби“* е разработен *Метод на гранулометрична сепарация в хидродинамичен слой на изплаващи въздушни мехурчета*. Методът е предназначен за извличане на фините класи от еднороден по вид материал или за извличане на даден минерал, като предварително е известно, че частиците му са с преобладаващо по-малки размери в сравнение с частиците на останалите минерали от суспензията. Осъществява се селективност по едрина, а не по вид на твърдите частици.



Фиг. II. 5. Микросфери в граничен слой на изплаващо въздушно мехурче

Режимът на движение на въздушни мехурчета в разредени суспензии отговаря обикновено на $Re \sim 1 - 150$, т.е. $Re \gg 1$. Съгласно *Levich* хидродинамичното поле около изплаващо въздушно мехурче се разделя на две характерни области [*Levich*, 1962]: граничен слой с ефективна дебелина δ_0 , разположен непосредствено около фазовата повърхност на мехура и потенциално течение, простиращо се от края на граничния слой навътре в течността. На фигура II.5 е представен граничен слой на изплаващо въздушно мехурче и микросфери в него.

При движението на въздушните мехурчета към повърхността граничният хидродинамичен слой около тях непрекъснато се обменя. Частиците, които не са подложени на отвяващото действие на потока се придвижват с различна скорост от челната точка (полюса) до екватора на мехура, след което изпадат в пулпа или се изнасят на повърхността (Фиг. II. 5). Фините частици, разположени в граничния хидродинамичен слой се изнасят на повърхността на суспензията със скорост, равна на скоростта на изплаване на въздушните мехури (2 - 27 cm/s), в зависимост от размера на мехурите. Скоростта на седиментация при гравитационната класификация на частици с диаметър 0.010 mm и плътност 2.6 g/cm³ е $8.8 \cdot 10^{-3}$ cm/s. Следователно, времето за разделяне на фини материали чрез сепарация по едрина в хидродинамичен слой е многократно по-малко в сравнение с времето, необходимо за седиментация при гравитационната класификация. Разделянето се провежда при много по-спокойни условия в сравнение с методите използващи центробежно поле.

За изясняване модела на сепарационния механизъм в граничния хидродинамичен слой на изплаващи мехурчета са използвани резултатите на *Saffman* [*Saffman*, 1965] от неговото теоретично изследване поведението на сфера в ламинарен поток.

Теоретично са изчислени ефективната дебелина на граничния слой, относителната скорост и времето на престой на частици с различен размер в хидродинамичен слой на изплаващи въздушни мехурчета.

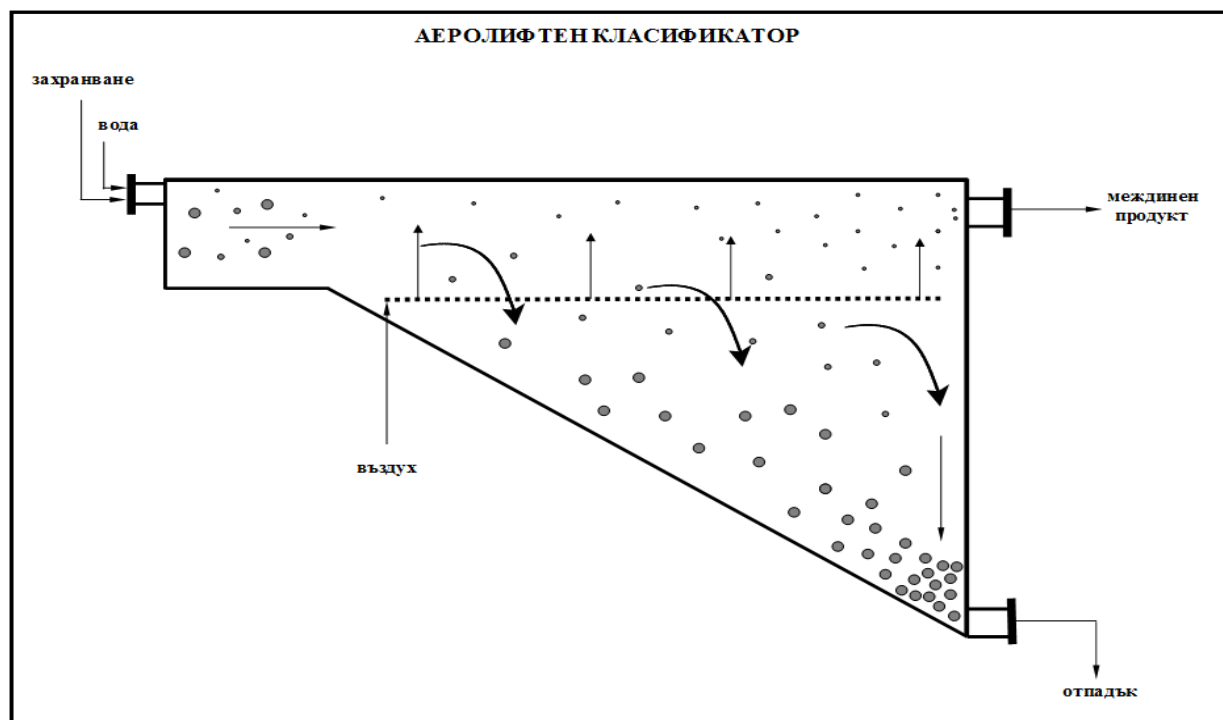
Резултатите от проведените моделни експериментални изследвания със стъклени микросфери показват, че при метода за гранулометрична сепарация в хидродинамичен слой на изплаващи въздушни мехурчета основно се извличат частици с едрина под 0.005 – 0.010 mm. Тези резултати са в добро съгласие с получените по теоретичен път стойности и доказват възможностите на метода.

Основна задача на проведените лабораторни изследвания е да се проверят изведените теоретични стойности и получените експериментални резултати от моделните изследвания с монодисперсни стъклени микросфери с реален обект. Методът на гранулометрична сепарация в хидродинамичен слой на изплаващи въздушни мехурчета е експериментиран за извличане на каолин от технологичен отпадък на ОФ „Ветово”. Предварително отпадъкът е дешламира по 0.063 mm, след което фракцията „- 0.063 mm” се подлага на гранулометрична сепарация.

Лабораторните експериментални резултати потвърждават тези от моделните тестове и получените по теоретичен път стойности. При *Метода за гранулометрична сепарация в хидродинамичен слой на изплаващи въздушни мехурчета* основно се извличат частици с едрина под 0.005 – 0.010 mm. Получените лабораторни резултати доказват възможностите на метода и неговата приложимост за извличане на фини каолинови частици от технологичен отпадък.

Въз основа на получените резултати е конструиран и е изработен промишлен прототип на *аеролифтен класификатор*, реализиращ метода на гранулометрична сепарация в граничен хидродинамичен слой на изплаващи въздушни мехурчета. На фигура II.8 е представена схема на работа на *аеролифтният класификатор*.

Промисленият прототип на *аеролифтен класификатор* е монтиран в промивен цех на обогатителна фабрика „Ветово” (фиг. II.9) и с него са проведени промишлени тестове. Аеролифтният класификатор се захранва по самотек с крайния технологичен каолинов отпадък на ОФ „Ветово”. В обема на ваната е монтиран аератор за диспергиране на въздуха на фини газови мехурчета. Благодарение на финодиспергираната газова фаза захранващата суспензия се разделя на два продукта - долен продукт и горен продукт (слив). Изплаващите въздушни мехурчета увличат в създаващия се около тях тънък, хидродинамичен слой фините каолинови частици, които се изнасят в горната част на ваната близо до повърхността и се отделят като горен продукт [Grigorova, Nishkov, 2015c]. С тази машина се постига увеличаване на съдържанието на Al_2O_3 в горния продукт с 50 % до 70 %.



Фиг. II.8. Схема на работа на *аеролифтен класификатор*

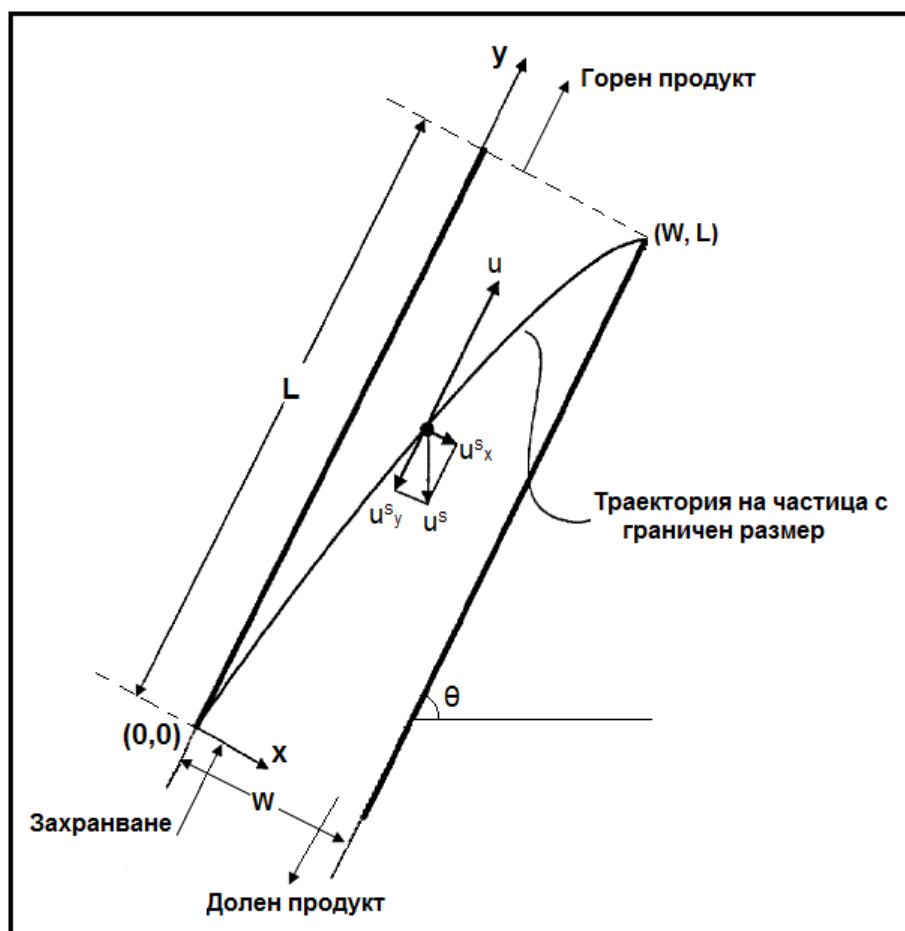


Фиг. II.9. Промислен прототип *аеролифтен класификатор*

II.1.3. Метод за класиране на финодисперсни материали в ламинарен поток

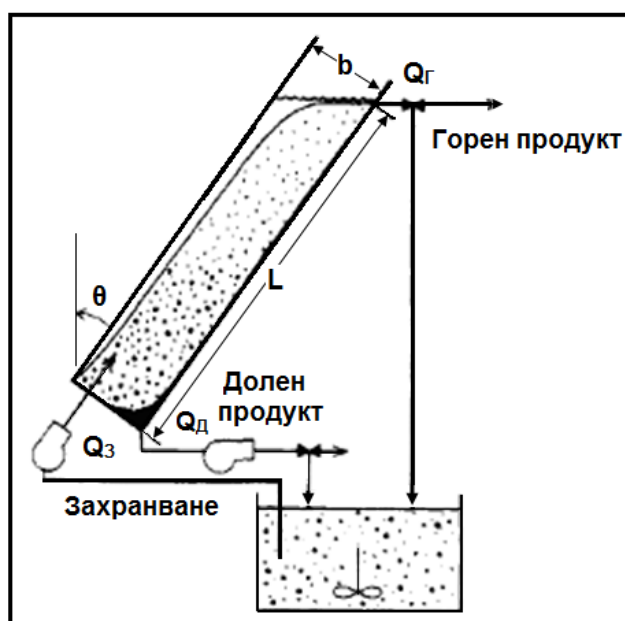
Разработен е метод за класиране на финодисперсни материали в ламинарен поток. Направен е теоретичен анализ на поведението на твърди частици при ламинарно движение на потока в наклонен канал, формиран между две успоредни пластини.

На фигура II.10. е представена траекторията на движение на твърда частица с граничен размер в наклонен канал формиран между две успоредни пластини. Критичната траектория, която определя граничния размер (граница на срязване) на частиците започва от точка (0,0) и свършва в точка (W, L) в координатната система, представена на фигура II. 10. В тази крайна точка частицата има равен шанс да се придвижи нагоре заедно с потока или да се плъзне с утаения слой надолу.

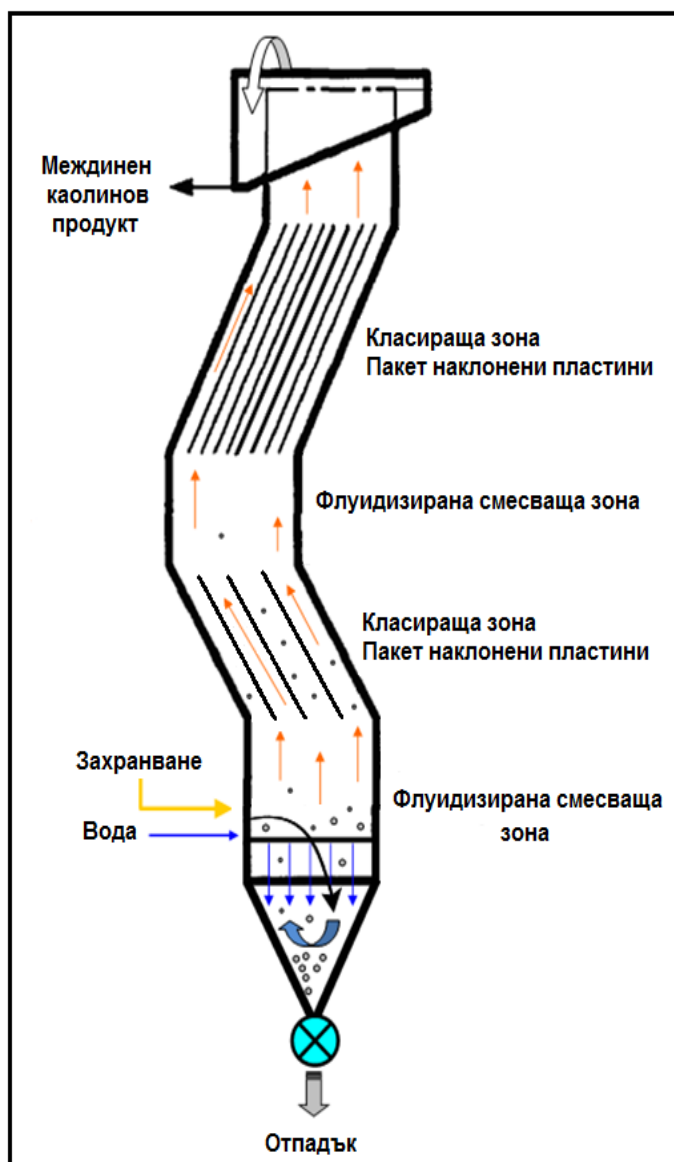


Фиг. II.10. Движение на твърда частица в наклонен канал между две успоредни пластини

Конструирана е лабораторна инсталация с единичен наклонен утаителен канал. На фигура II.11 е представена лабораторна инсталация с непрекъснато действие с единичен наклонен канал.



Фиг. II.11. Лабораторна инсталация с единичен наклонен утаителен канал



Фиг. II. 13. Схема на работата на ламелен рефлукс класификатор

Разположените на близко разстояние наклонени плоскости образуват тесни канали, благодарение на които потокът се разделя на струи с ламинарно движение. Всеки пакет от пластини се простира напречно на съда и покрива целия периметър на секциите с флуидизиран слой. Частиците се разделят в системата чрез издигане на поток от флуид. Пакетите от наклонени паралелни пластини са зоните на класификация на рефлукс класификатора. В наклонените канали между пластините, частици с по-голяма едрина или плътност и с по-голяма скорост на утаяване се отделят на малки разстояния в каналите върху горната повърхност на пластините, образувайки утаечни слоеве и бързо се плъзгат надолу. По-фините или по-леки частици се отнасят от разреждащата вода през каналите в горната зона над наклонените пластини и се отделят като горен продукт. Флуидизацията, която протича под всеки пакет пластини осигурява еднороден поток. Частиците отделени от потока суспензия, попадайки върху наклонените пластини се връщат отново във флуидизираната зона. Този саморециклиращ ефект следва да елиминира погрешно попадналия материал и по този начин да повиши ефективността на разделяне.

Лабораторните експериментални резултати доказват възможностите на метода за гранулометрична сепарация в ламинарен поток, формиран между наклонени пластини.

Въз основа на получените лабораторни резултати е конструиран и изработен промишлен прототип на ламелен рефлукс класификатор, реализиращ метода за класиране на финодисперсни материали в ламинарен поток. На фигура II.13 е показана схематично работата на ламелен рефлукс класификатор.

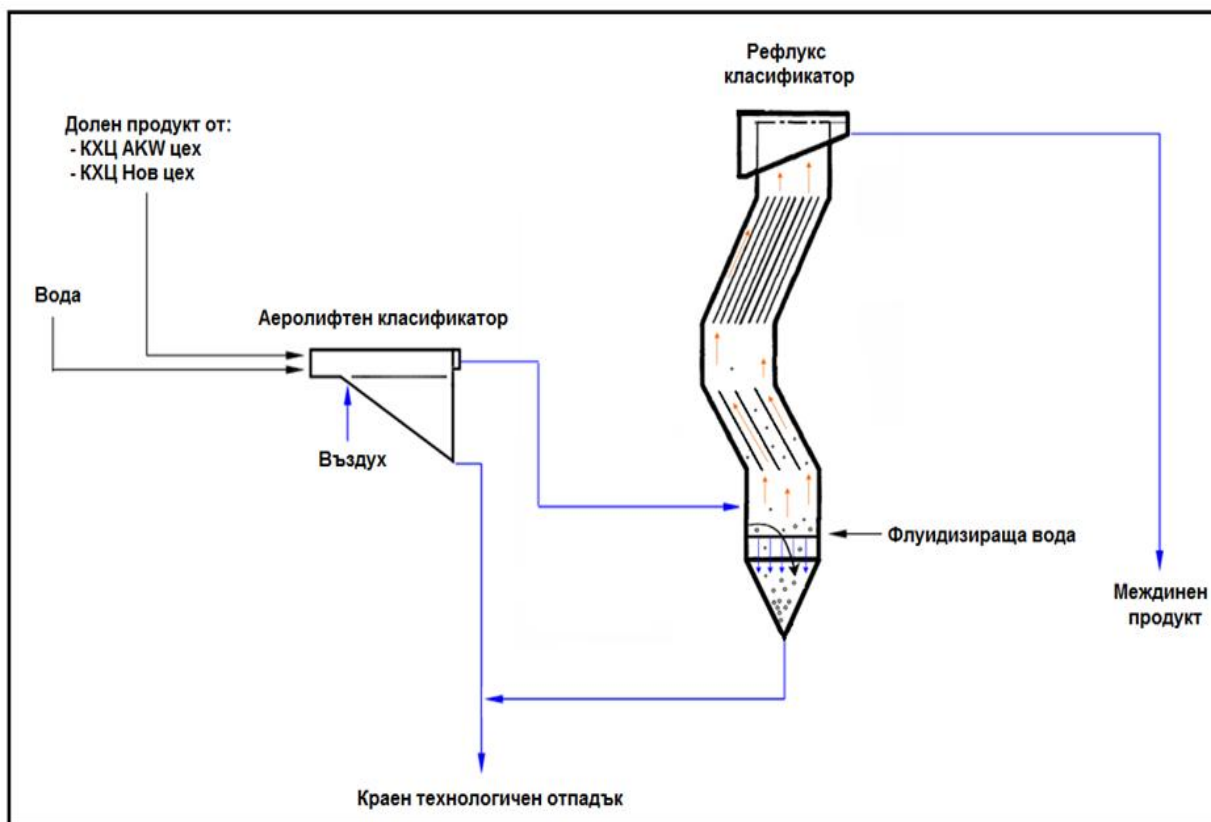
Промишленият прототип на ламелен рефлукс класификатор е монтиран в промивен цех на обогатителна фабрика „Ветово“ (фигура II. 14) и с него са проведени промишлени тестове.

Оптимизирани са конструктивните и технологични параметри на машината. Ламелният рефлукс класификатор е съоръжение предлагащо редица преимущества в класификацията по едрина при еднородна плътност на частиците. В него се реализира процеса класиране в спокоен ламинарен поток. Съоръжението се състои от секции от флуидизиран слой и пакет от паралелни наклонени пластини на различни височини.

В ОФ „Ветово” е реализирана двустадиална гравитационна класификация (Фиг. П. 15) с *аеролифтен класификатор* – I стадий и *ламелен рефлукс класификатор* – II стадий. При преработването на крайния технологичен каолинов отпадък с двустадиална гравитационна класификация, включваща *аеролифтен и ламелен рефлукс класификатори* се постига увеличаване съдържанието на Al_2O_3 в междинния каолинов продукт с повече от 2.3 пъти.



Фиг. П. 14. Промислен прототип ламелен рефлукс класификатор



Фиг. II. 15. Технологична схема на двустадиялна гравитационна класификация

II.2. Технология за преработване на техногенен отпадък на ОФ „Ветово”

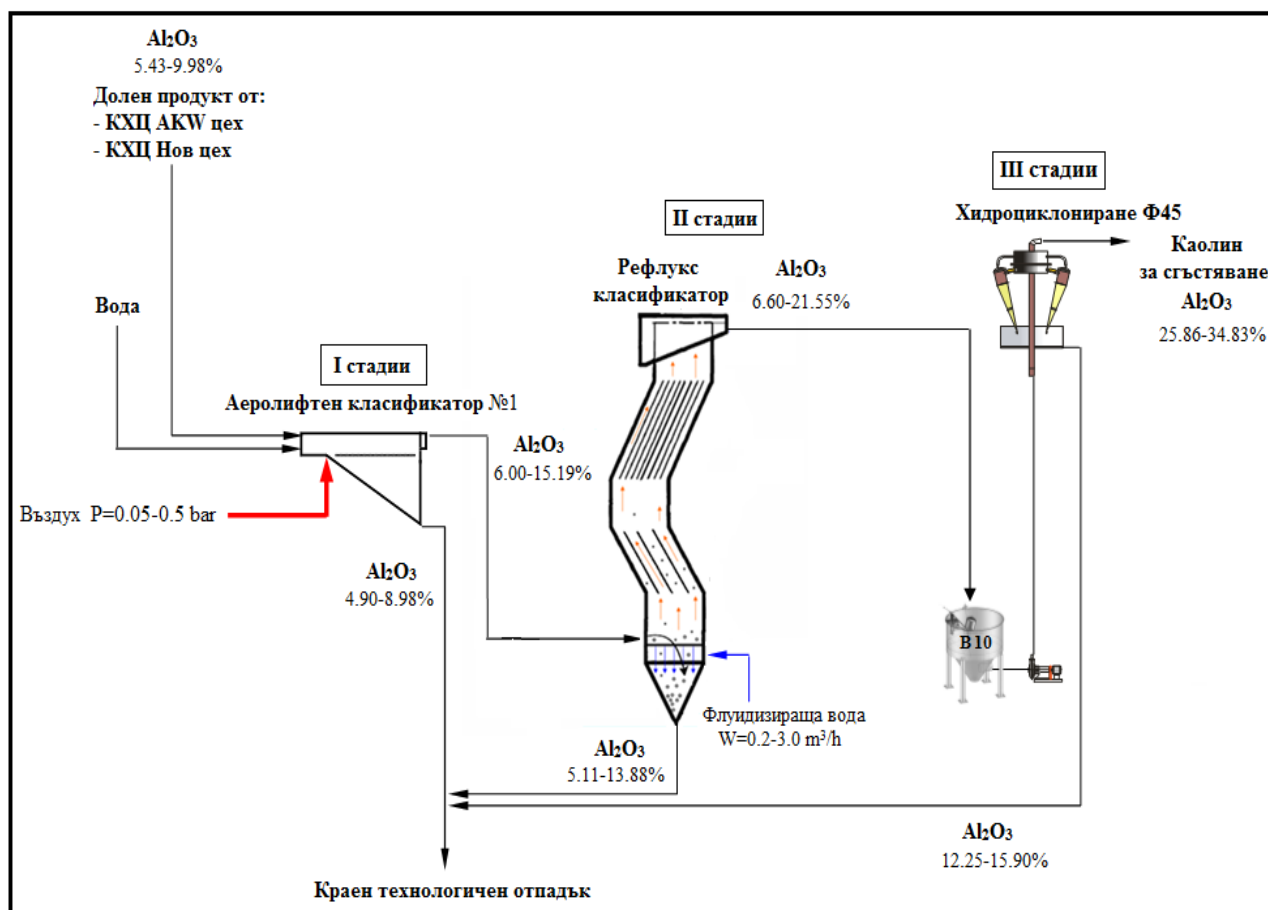
С цел получаване на краен сток каолинов продукт от технологичния каолинов отпадък са произведени пробни количества междинен каолинов продукт с монтираните в ОФ „Ветово” *аеролифтен класификатор* и *ламелен рефлукс класификатор*. С този междинен каолинов продукт са проведени полупромишлени тестове на хидроциклонна установка АКВ [Grigorova, Nishkov, 2015d]. Тествани бяха три типа хидроциклони при различни условия с цел получаване на краен сток продукт – каолин.

Получените резултати от полупромишлените тестове показват, че при преработването на технологичния отпадък с тристадиална гравитационна класификация е възможно да се получи краен каолинов продукт. Този сток продукт е с високо съдържание на Al_2O_3 от 29.15 до 34.83 %.

Въз основа на получените резултати от проведените тестове с *аеролифтен класификатор*, *ламелен рефлукс класификатор* и хидроциклони беше разработена технологична схема, включваща три стадия на гравитационна класификация:

- I стадий - гранулометрична сепарация в хидродинамичен слой на изплаващи въздушни мехурчета;
- II стадий - класиране в ламинарен поток;
- III стадий - хидроциклонна класификация.

На фигура II. 16 е представена технологичната схема на тристадиална гравитационна класификация за преработване на краен технологичен каолинов отпадък с данни за съдържание на Al_2O_3 в различните продукти, при различни режими на работа.

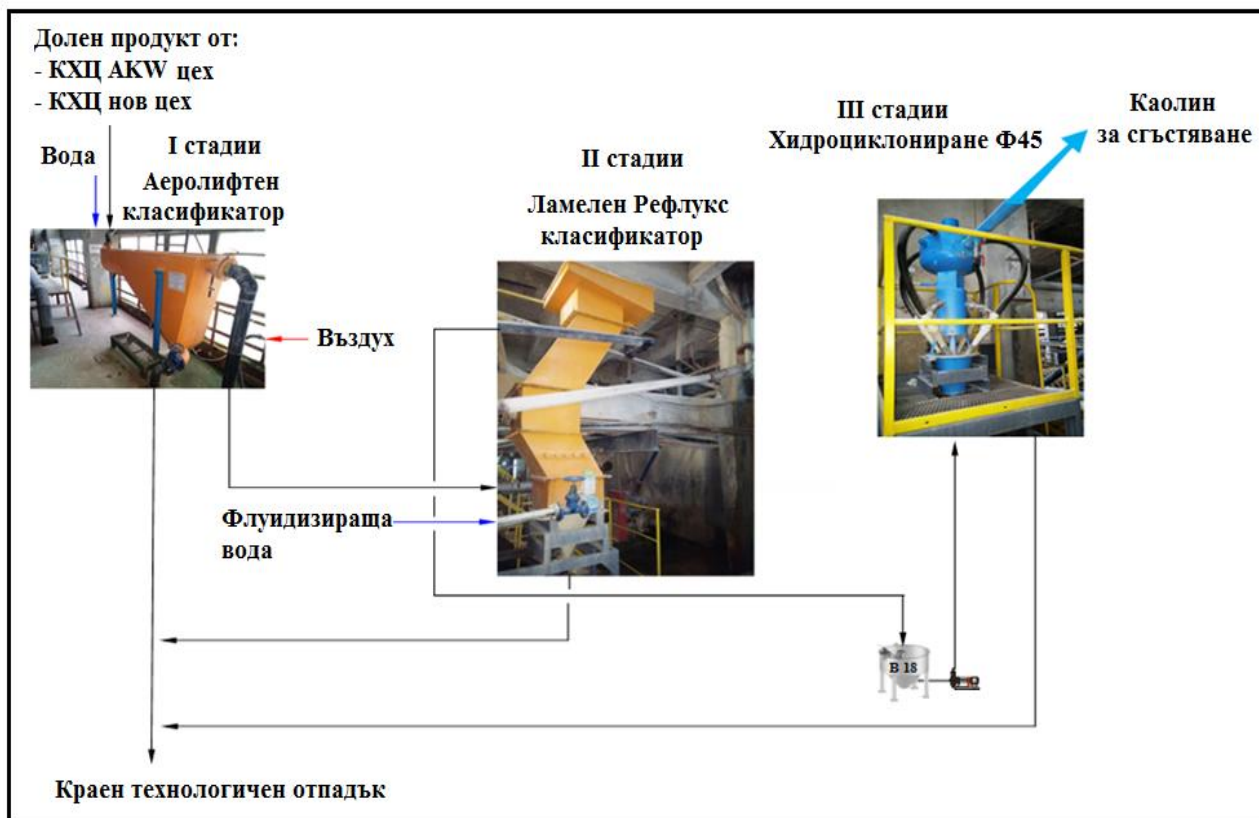


Фиг. II. 16. Технологична схема на тристадиална гравитационна класификация за преработване на краен технологичен каолинов отпадък

Получените резултати от промишлените тестове при различни режими на работа на тристадиалната гравитационна класификация за преработване на краен технологичен каолинов отпадък показват, че е възможно получаване на качествен краен каолинов продукт. Съдържанието на Al_2O_3 в него е в рамките на 25.86 – 34.83 % при различни технически параметри и технологични показатели. Резултатите показват, че е възможно получаване допълнително на 1 000 тона годишно качествен каолинов продукт.

След продължителни тестове тристадиалната гравитационна класификация за преработване на краен технологичен каолинов отпадък е внедрена в технологичната линия на промивен цех на ОФ „Ветово”.

На фигура II.17 е показана инсталацията за преработване на технологичния отпадък на фабриката - долен продукт от КХЦ АКВ цех и КХЦ Нов цех. Новата технология комбинира гранулометрична сепарация в хидродинамичен слой на изплаващи въздушни мехурчета и в ламинарен поток и хидроциклонна класификация. Инсталацията включва три стадия на гравитационна класификация, реализираща се в *аеролифтен класификатор* – I стадий, *ламелен рефлукс класификатор* – II стадий и батерия хидроциклони Ф 45 mm – III стадий. Машините са разположени в непосредствена близост и инсталацията е компактна и удобна за работа и контрол.



Фиг. II. 17. Тристадиална инсталация за преработване на каолинов отпадък в ОФ „Ветово”

Разработената и внедрена в ОФ „Ветово” тристадиална гравитационна класификация на краен технологичен каолинов отпадък дава възможност за получаване на краен каолинов продукт със съдържание на Al_2O_3 над 30 %. Постига се увеличаване на съдържание на Al_2O_3 повече от 4.5 пъти, спрямо съдържанието в отпадъка. Монтираната и работеща в промивен цех на ОФ „Ветово” тристадиална гравитационна инсталация за преработване на каолиновия отпадък е с годишна производителност 904.82 тона сух каолин (1 052 тона каолин с влага 14 %) при 300 работни дни годишно.

ЧАСТ ТРЕТА. ДОИЗВЛИЧАНЕ НА ПОЛЕЗНИ КОМПОНЕНТИ ОТ ТЕХНОГЕННИ НАХОДИЩА

Анализирайки технологичния подход при управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия „Доизвличане на полезни компоненти от техногенни находища“ е необходимо да се направи кратка ретроспекция. Развитието на добива и преработката на подземни богатства в България условно може да се раздели на следните етапи:

Първи етап (1878 – 1947 година) през който започва развитието на български рудодобив. До Втората световна война (1939-1945 година) суровинната база в България е слабо развита. Голяма част от суровините са вносни, което засилвало зависимостта на страната от чуждите суровинни пазари и създавало нестабилност в икономическото развитие. След войната, за да се развива промишлеността е поставена задачата за разкриването и използването на местни суровинни източници, за създаването на собствена минерално-суровинна база. Разгърнати са геологопроучвателните работи. Прелом в развитието на геоложките проучвания в България настъпва в периода след Втората световна война, когато проучването на минералните суровини е поставено в центъра на държавната политика.

През **Вторият етап** (1948 - 1989 година) в България са открити, проучени и доказани първите находища на запаси на полезни изкопаеми, които дали възможност да се поставят основите на цветната и черна металургия, енергетиката, нефтодобива и химическата промишленост. Разкриват се и се усвояват огромни обеми различни видове минерални суровини, които се добиват и преработват *съгласно нивото на съществуващите към момента технологии*. През вторият етап са построени много рудници и обогатителни фабрики за преработка на полезни изкопаеми. Осъществен е пълен производствено-технологичен цикъл: добив и обогатяване на руди, получаване на концентрати и производство на черни, цветни и благородни метали. Вторият етап от развитието на минното дело в България е свързан и със създаването на първия университетски център в България, в който се обучават специалисти за минната промишленост – Минно-Геоложки Университет „Св. Иван Рилски“ през 1953 година.

Третият етап (1990 – 2000 година) е преходен. Започва адаптация на геологопроучвателната и миннодобивна дейност към изискванията на пазарната икономика.

Разглеждайки етапите в развитието на българската минерално-суровинна индустрия е видно, че през всеки един етап специалистите са вземали правилните технологични решения, обезпечавайки прогреса на добива и преработката на подземни богатства в България, *съгласно съществуващото технологично равнище за определения период*.

В редица случаи, нивото на наличните към дадения момент технологии и машини не е позволявало пълното извличане на всички полезни компоненти при преработката на суровини, в резултат, на което в отпадъкохранилищата са се натрупвали ценни минерали.

Множество примери могат да се посочат за това, как научно-техническият прогрес влияе и диктува хода на технологичното развитие, внедряването на нови процеси, усъвършенстването на технологии и машини. Например, за да достигне до съвременния си вид, флотационният процес изминава дълъг път на технологично развитие. Древните народи са извличали самородно злато от пясъци с помощта на омазнени птичи пера, към които се е прилепвало златото. Това е една от разновидностите на процеса маслена флотация. Едва през XIX век този вид флотация се прилага в промишлени условия, но в резултат на ниската ефективност на процеса е изоставена. В началото на XX век, през 1910 година е предложена пенната флотация, което поставя началото на добива и преработката на руди в големи мащаби. Не само флотационният процес за обогатяване преминава през различни етапи на технологично развитие. Същото би могло да се отбележи и за гравитационните, магнитните, специални и други методи на обогатяване. Развитието на процесите и технологиите за преработка на полезни изкопаеми е неразривно свързано и отразяващо хода на научно-техническият прогрес, не само в тази технологична област, а и за света като цяло. Развитието на електротехниката например, през XIX век способства за появата на електрическите методи на обогатяване, основани на различното поведение на минералите в електрическо поле.

Значителните постижения през последните години в световната техника и технология при обогатяването на полезни изкопаеми позволиха създаването на високоефективни процеси, технологии, апарати и машини за преработка на руди със сложен състав, бедни, трудно обогатими руди и отпадъци. Това постави и началото на четвъртия етап в развитието на добива и преработката на подземни богатства в България – управлението на отпадъци. Базирайки се на нови достижения във фундаменталните науки, на комбинираното прилагане на обогатителни, химико-металургични и други процеси се създадоха възможности за *управление на подземните богатства* и повишаване ефективността на обогатяването на полезни изкопаеми, посредством високоефективни и екологосъобразни технологии. Не случайно, в Закона за подземните богатства, концепцията за управление на минните отпадъци е вплетена в концепцията за разработката на конкретно находище, добивът на минералните ресурси от него и преработката на добитата суровина. Минните отпадъци

отдавна вече се третират като подземни богатства. Предоставянето на концесия за добив на производствени технологични отпадъци от миннодобивната и минно-преработващата дейност, представляващи изключителна държавна собственост, от находище "Хвостохранилище Медет" е реален пример за експлоатация на техногенно находище.

Благодарение на технологичния прогрес отпадъкохранилищата биха могли да се превърнат в техногенни находища, а натрупаните в тях отпадъците в потенциални техногенни суровини.

Технологичният подход за управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия *„Доизвличане на полезни компоненти от техногенни находища“* е част от четвъртия етап в развитието на добива и преработката на подземни богатства в България. За превръщането на един отпадък, съдържащ се в дадено отпадъкохранилище, в техногенна суровина е необходимо създаването на технология, на работещо технологично решение за преработката на този отпадък и трансформирането му от суровина в краен продукт. Само и единствено благодарение на разработена и доказана технологията за преработката му, един отпадък се превръща в техногенна суровина.

Предложеният в настоящата дисертация технологичен подход *„Доизвличане на полезни компоненти от техногенни находища“* е реален пример за технологично решение за доизвличане на барит от техногенна суровина, получена при преработване на кремиковска руда, включващо магнетизиращо пържене.

Посредством научни методи и средства са създадени методики за изучаване на веществен състав и физико-механичните свойства на технологичния отпадък, изучени са закономерностите и е разработената комбинирана технология. Доказано е, че отпадъкохранилище „Челопечене“ е *техногенно находище*, а отпадъка, съдържащ се в него – *техногенна суровина*. В резултат на проведените системни научни изследвания са създадени нови технологичен и реагентен режими. Разработено е конкретно технологично решение с непосредствена практическа приложимост за доизвличане на барит от техногенно находище „Челопечене“.

III.1. Технологични възможности за получаване на баритен концентрат от техногенна суровина

Разработена е комплексна научно-изследователска програма за установяване възможностите за доизвличане на барит от технологичния отпадък, получаван преди 01.07.1990 година в РОФ „Кремиковци“. Този отпадък е получен при технологична схема с магнетизиращо пържене и магнитна сепарация на барит-съдържащата желязна руда на находище „Кремиковци“ и е депониран в отпадъкохранилище „Челопечене“. Отпадъкът е наречен „черен отпадък“ поради неговия тъмен цвят. Основна цел на проведените изследвания е да се установи обогатимостта на тази техногенна суровина с нови, подходящи за конкретния материал флотационни реагенти и получаване на качествен баритен концентрат.

III. 1.1. Изучаване веществения (химически и минерален) състав на технологичен „черен отпадък“ от отпадъкохранилище „Челопечене“

За установяване основните характеристики на технологичния „черен отпадък“ от отпадъкохранилище „Челопечене“ в лабораторни условия са определени: плътност; зърнометричен и химичен състав; зърнометричен състав след сухо смилане; минерален състав на немагнитна фракция, получена при магнитна сепарация с постоянен магнит; добив, съдържание и извличане на Fe и зърнометричен състав на продуктите, получени след основна и пречистна суха магнитна сепарация.

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

1. Плътността на „черния отпадък” е еднаква с плътността на „суровия отпадък”, който се получава в РОФ „Кремиковци” по новата технология от 1990 година.
2. Съдържанието на желязо (Fe) в получения продукт (немагнитна фракция) след магнитна сепарация със слабо магнитно поле на „черен отпадък” е 24.75 %, което е приблизително равно на съдържанието на Fe (24.02 %) след високоинтензивната магнитна сепарация на „суровия отпадък”, който се получава в РОФ „Кремиковци” по новата технология от 1990 година и се използва като суровина за флотационно извличане на барит (BaSO_4).
3. Проведените лабораторни изследвания включващи сухо смилане и магнитна сепарация със слабо магнитно поле и получените резултати от зърнометричния, химичния, комплексния рентгенотермичен структурен и минераложкия анализ показват, че технологичния отпадък („черен отпадък”) получен в РОФ „Кремиковци” преди 1990 година, при технология с магнетизиращо пържене е с качества приблизително равни на тези на „суровия отпадък”, получен след 1990 година. Това прави този отпадъчен продукт приложим за използването му като суровина за флотационно извличане на барит (BaSO_4) при разработване на подходяща технология.
4. Изследванията за определяне на смилаемост на немагнитна фракция на „черен отпадък” показват, че при съдържание на класата „-0.071 mm” 60 % се постига добра степен на разкриване на минералните зърна.

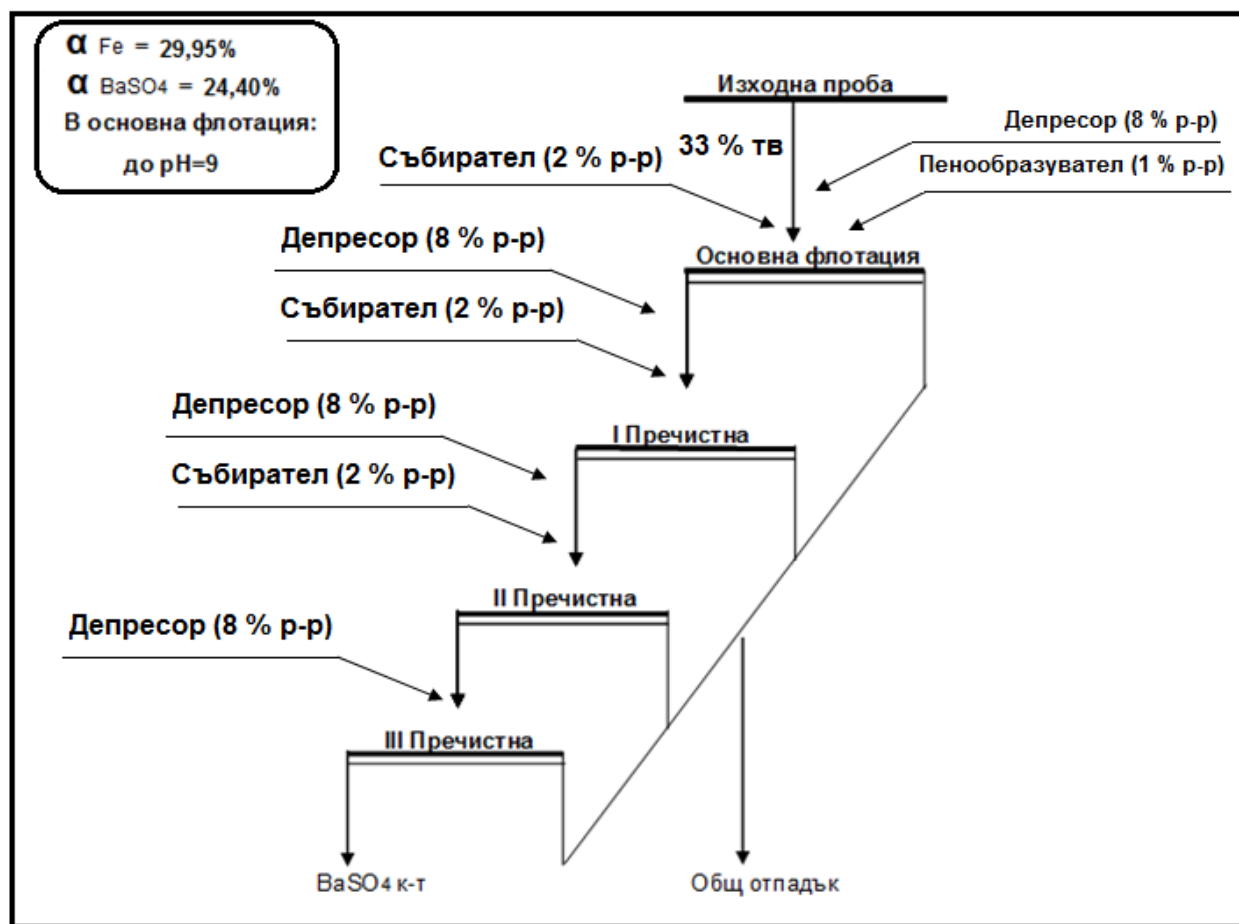
Установеният веществен състав и физико-механичните свойства на технологичен „черен отпадък” от отпадъкохранилище „Челопечене” доказват, че този отпадъчен продукт би могъл да се използва като суровина за получаване на барит (BaSO_4) при разработване на подходяща технология.

III. 1.2. Изследване на флотируемостта на немагнитната фракция от „черен отпадък”. Стендови флотационни тестове в отворен и затворен цикъл

Стендовите флотационни тестове включват основна и две или три (при необходимост) пречистни операции в *отворен цикъл*. За да се установи влиянието на разхода на реагент събирател за получаване на качествен баритен концентрат бяха проведени 30 флотационни опита с 6 вида реагенти – събиратели: *ОМС 199*, *AP 825*, *AP 845*, *ALT 38*, *Chemopen 3467*, *ALP 611*, доставени с любезното съдействие от *Cognis* и *Cytex*. С всеки реагент-събирател бяха проведени по пет флотационни опита с различен разход на реагент събирател. В качеството на пенообразувател е използван *Dehydrol 04*, доставен от *BASF*. Като депресор на скалната маса и регулатор на рН е използвано *водно стъкло*. Лабораторните флотационни експерименти са проведени по схемата и реагентния режим, представени на фигура III. 21.

За получаване на качествен баритен концентрат бяха проведени 21 флотационни опита с 5 вида смеси от реагенти събиратели. Събирателът е смес от *ОМС 199* и *AP 845*, *ALT 38*, *Chemopen 3467* в съотношение 3:1 или 1:1. С всяка смес бяха проведени по 4 флотационни опита с различен разход на събирател.

Също така бяха проведени 4 допълнителни флотационни опита на смес от *ОМС 199:Chemopen 3467* в съотношение 3:1 с трета пречистна операция за постигането на по-качествен баритен концентрат.



Фиг. III. 21. Схема и реагентен режим на флотационни тестове в отворен цикъл

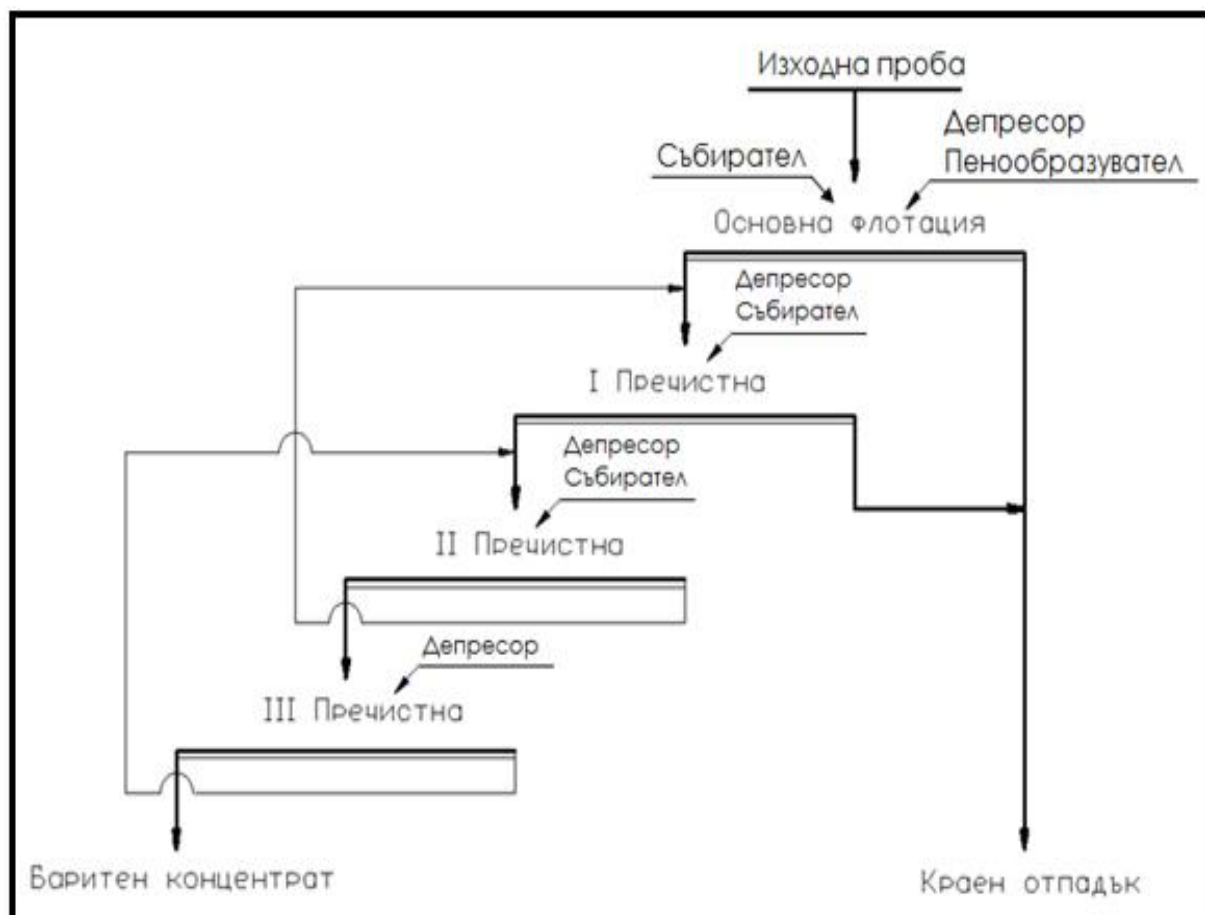
За получаването на качествен баритен концентрат бяха проведени 16 флотационни опита с 4 вида смеси. Събирателът е смес от *ALP 611* и *OMC 199*, *AP 845* в съотношение 3:1 или 1:1. С всяка смес бяха проведени по 4 флотационни опита с различен разход на събирател.

Стеновите флотационни тестове в отворен цикъл показват, че технологичният отпадък, получен при преработването на кремиковска руда, включващо магнетизиращо пържене е обогатим чрез флотация с подходящо подобрани реагенти.

Стеновите флотационни тестове в затворен цикъл включват основна и три пречистни операции. Лабораторните експерименти са проведени по схемата и реагентния режим, представени на фигура III. 22.

Проведени бяха три флотационни експеримента в затворен цикъл при оптимизиран разход на реагент събирател, време на агитация и време на флотация. Изследвани бяха следните комбинации на реагент събирател:

- ❖ *ALP 611*;
- ❖ Смес: *OMC 199* и *Chemopen 3467* в съотношение 3:1;
- ❖ Смес: *ALP 611* и *OMC 199* в съотношение 3:1.

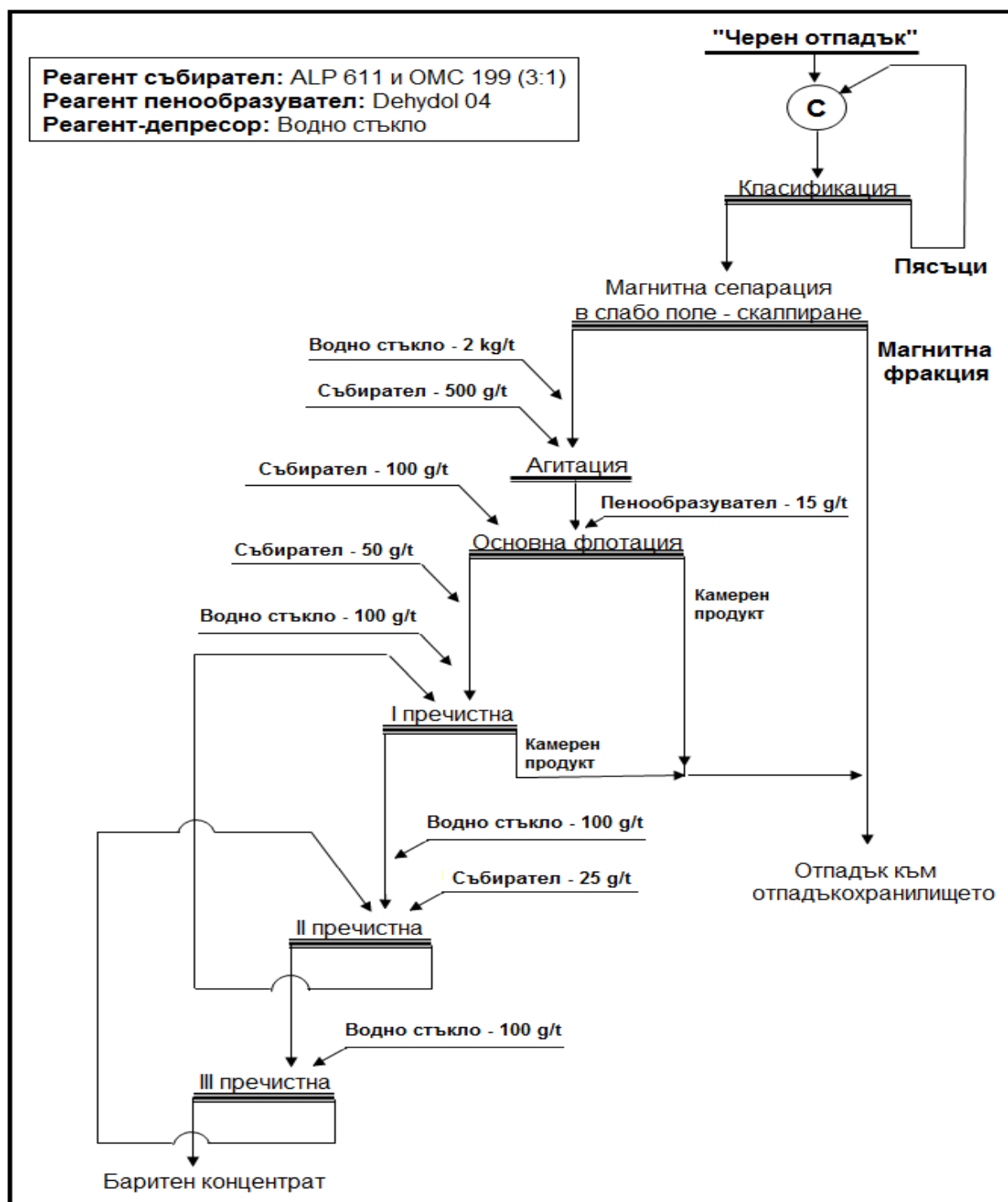


Фиг. III. 22. Схема и реагентен режим на флотационни тестове в затворен цикъл

Стеновите флотационни тестове в затворен цикъл потвърждават резултатите от тестовите в отворен цикъл и показват, че получаването на качествен баритен концентрат със съдържание на BaSO_4 – над 96 % и Fe – 0.57 – 0.85 %, при извличане на BaSO_4 над 62 % може да се постигне с използването на реагент-събирател *ALP 611* или смес от реагенти *OMC 199* с *Chemopen 3467* и *ALP 611* с *OMC 199* при съотношение 3:1. Качествените характеристики на получените баритни концентрати съответстват на клас „А” от международните стандарти.

III. 2. Технология и реагентен режим за получаване на баритен концентрат от техногенна суровина „черен отпадък” от отпадъкохранилище „Челопечене”

Въз основа на получените експериментални резултати от изучаване веществения (химически и минерален) състав на технологичен „черен отпадък”, определяне смилаемостта и флотируемостта на немагнитната фракция е разработена комбинирана технология и реагентен режим за получаване на баритен концентрат от техногенна суровина „черен отпадък”. На фигура III. 33 е представена технологична схема и реагентен режим за извличане на барит от техногенна суровина „черен отпадък”.



Фиг. III. 33. Технологична схема и реагентен режим за преработване на техногенна суровина „черен отпадък“

Разработената комбинирана технология и реагентен режим за получаване на баритен концентрат от технологичен „черен отпадък“ получен при преработване на кремиковска руда, включващо магнетизиращо пържене е конкретно технологично решение при различните алтернативни подходи за управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия.

Доказаните възможности за доизвличане на полезни компоненти от технологичен отпадък, в конкретния случай – извличане на барит от „черен отпадък“, превръщат

технологичния отпадък в техногенна суровина, а отпадъкохранилището в техногенно находище.

ЧАСТ ЧЕТВЪРТА. БИФАЗНО РАЗДЕЛЯНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИ ОТПАДЪЦИ И СУХОТО ИМ ДЕПОНИРАНЕ

Приложението на технологичния подход *„Бифазно разделяне на технологични отпадъци и сухото им депониране“*, чрез разработването на технология за обезводняване на краен технологичен отпадък удовлетворява все по-нарастващите екологични изисквания, наред с намаляване на наличните зони за депониране. Сухите отпадъци (под формата на обезводнен продукт) получени в резултат на реализацията на подхода предлагат алтернатива за управление, която е в съответствие с очакванията на минната индустрия, нейните регулатори и с обществото като цяло.

Създаването на технологии за бифазно разделяне на технологични отпадъци и изграждането на обезводнителни инсталации в непосредствена близост до обогатителните фабрики представя нови възможности за управление на отпадъците със значителни оперативни и екологични ползи.

В бъдеще, тъй като изискванията към опазване на околната среда се затягат все повече и минната индустрия е под нарастващ натиск да стане все по-устойчива, предимствата на сухото депониране на минните отпадни продукти ще надхвърли недостатъците.

Бифазното разделяне на технологичните флотационни отпадъци е първата необходима стъпка при оползотворяването им. Технологичните отпадъци, получаващи при обогатяване във водна среда представляват водни суспензии с променящи се в известни граници параметри – съдържание на твърда фаза, зърнометричен, химичен и минерален състав. В този си вид технологичните отпадъци трудно могат да бъдат преработвани с цел извличане на полезни компоненти или директно използвани в други промишлености. Необходимо е те да бъдат максимално обезводнени, като се получат продукти с ниско съдържание на влага. След бифазното разделяне технологичните отпадъци могат да бъдат подложени на преработка за извличане на ценни компоненти, директно използвани като суровини във други промишлености или използвани за запълване на руднични отработени пространства.

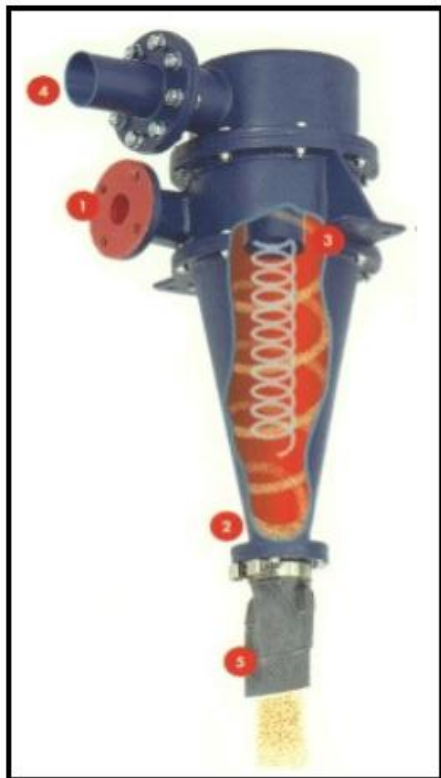
Реализацията на технологичния подход *„Бифазно разделяне на технологични отпадъци и сухото им депониране“* е още едно доказателство за това как чрез приложението на иновативни научно-изследователски решения, технологичните отпадъци се превръщат в техногенни суровини, а отпадъкохранилищата в техногенни находища.

IV. 1. Изследване на възможностите за бифазно разделяне на краен технологичен отпадък от обогатителна флотационна фабрика в условията на Лъки Инвест АД

Лъкинската обогатителна фабрика (ЛЮФ) преработва годишно около 160 хиляди тона медно-оловно-цинкова руда, при което се отделя като окончателен отпадък 91 – 93 % от общо постъпилото за преработка количество. Наличният за ефективно ползване обем на отпадъкохранилище „Лъки – 2, Комплекс“ е обезпечен за няколко години напред. Крайно необходимо е намирането на технологично решение за получаване на флотационен отпадък с ниско съдържание на влага и възможности за сухото му депониране. Във връзка с посоченото е разработена комплексна научно-изследователска програма за установяване възможностите за бифазно разделяне на краен технологичен отпадък от обогатителна флотационна фабрика в условията на «Лъки Инвест» АД и депонирането му в сух вид. Проведени са лабораторни и полупромишлени изследвания за бифазно разделяне на флотационния отпадък от Лъкинска обогатителна фабрика с цел получаване на отпадък с ниско съдържание на влага и възможности за сухото му депониране. Основна цел на

проведените изследвания е да се разработи технология за бифазно разделяне на краен флотационен отпадък и сухо депониране.

IV. 1.1. Бифазно разделяне на технологичен флотационен отпадък чрез гравитационен метод



Определени са зърнометричния и химичен състав на флотационния отпадък от Лъкинска обогатителна фабрика [Нишков, Григорова, 2014]. Въз основа на получените резултати от продължителния мониторинг за определяне на дебит, литрово тегло и съдържание на твърда фаза в пулпа на технологичния отпадък са определени изходните параметри за провеждане на лабораторните и полупромишлени изследвания по бифазно разделяне на твърдата фаза от течната среда.

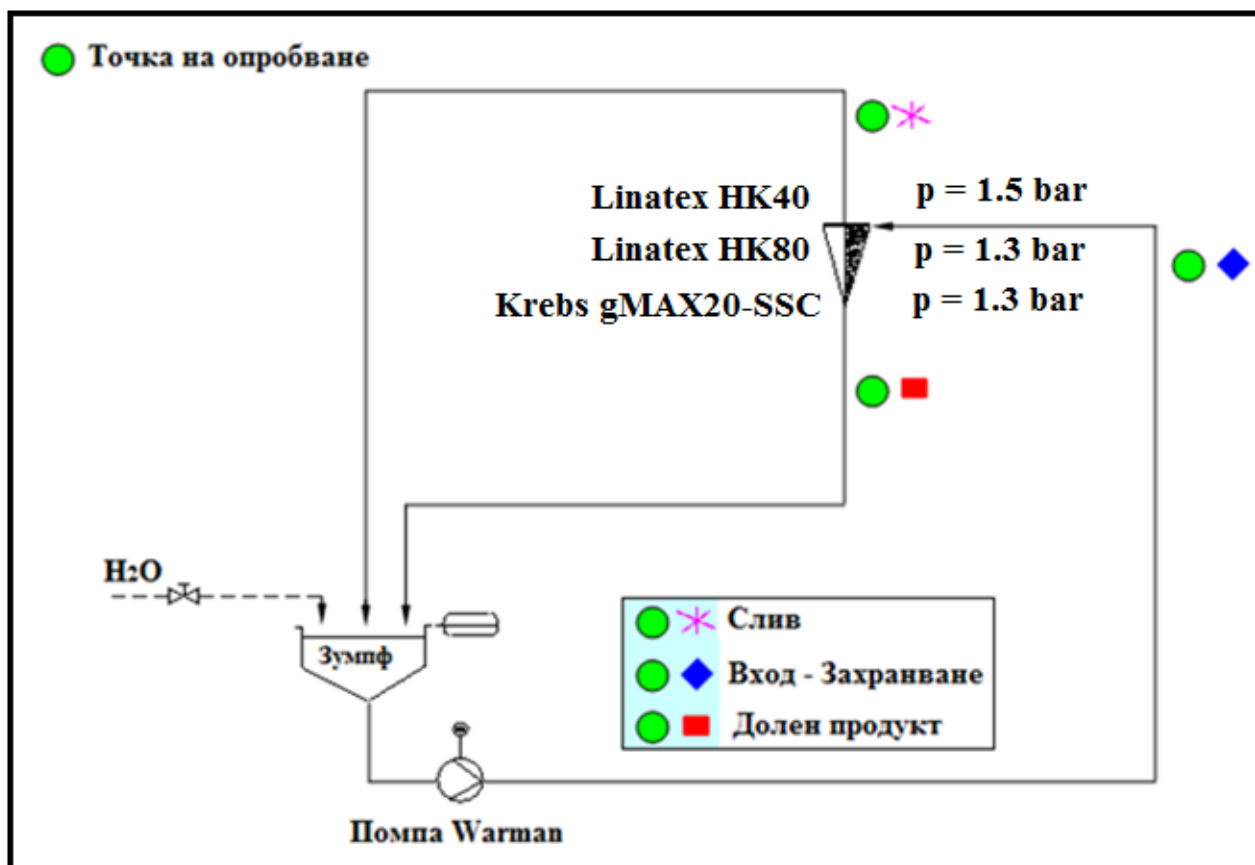
Лабораторните изследвания за обезводняване на технологичния отпадък са проведени с лабораторен модел обезводнителен сепаратор Linatex HK 40, производство на фирма Weir Minerals. Работата на сепаратор Linatex HK се основава на центробежна и гравитационна сили, както при класическите хидроциклонни. Ефектът на високата степен на обезводняване се постига благодарение на удължената конична част, разтоварващия регулатор тип рибешка опашка и удължената преливна тръба.

Фиг. IV. 10. Бифазно разделяне на пулпа в сепаратор Linatex HK

Легенда към Фиг. IV. 10: (1) – захранване; (2) – конусен накрайник; (3) – централна тръба за горния продукт /слив/; (4) – тръба за отвеждане на горния продукт; (5) – разтоварващ регулатор, тип рибешка опашка за долния продукт.

При работа преливната тръбна система действа, като сифон, създавайки подналягане в сепаратора. Това задържа регулатора за разтоварване на долния продукт затворен. Когато се събере достатъчно количество долен продукт разтоварващият отвор се отваря под действието на силата на теглото на твърдия материал. Управлението на ефективността на бифазното разделяне на изходния пулп и технологичните показатели на крайните продукти се осъществява посредством разреждане на създалия се вакуум в сепаратора, чрез въвеждане на допълнително количество въздух, посредством ръчен сферичен кран, който е монтиран на преливната тръба.

На фигура IV.16 е представена верижна схема на апаратите за провеждане на лабораторни изследвания със сепаратор Linatex HK40 и полупромишлени тестове с Linatex HK80 и с Krebs gMAX20-SSC и точки на опробване.



Фиг. IV. 16. Верижна схема на апаратите за провеждане на лабораторни изследвания със сепаратор Linatex HK40 и полупромишлени тестове с Linatex HK80 и Krebs gMAX20-SSC и точки на опробване

Лабораторните тестове са проведени при затворен и отворен въздушен кран на преливната тръба. Обобщените експериментални резултати са представени на таблица IV. 10.

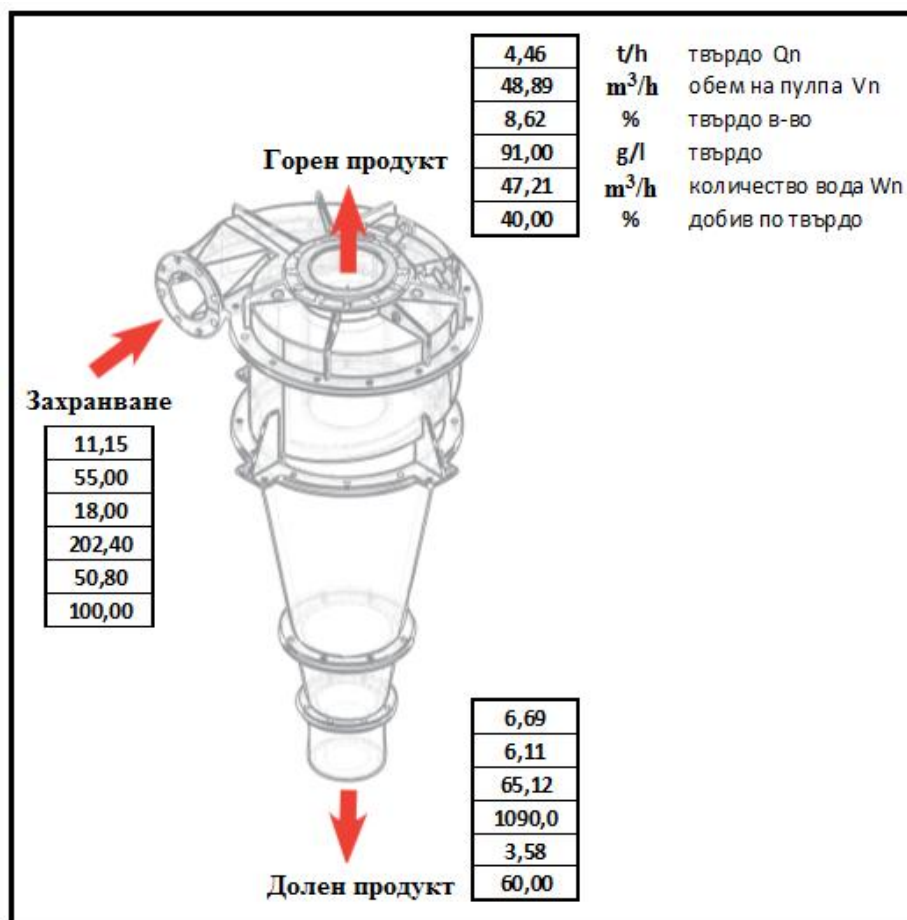
Таблица IV. 10. Лабораторни тестове с Linatex HK40

Положение на въздушния кран	Затворен	30 % отворен	50 % отворен
Съдържание на твърда фаза в горния продукт, %	8.10	6.94	6.38
Съдържание на твърда фаза в долния продукт, %	66.07	60.04	57.09

Експерименталните резултати показват, че с намаляване на вакуума в сепаратора Linatex HK40 се намалява съдържанието на твърда фаза в горния продукт, като част от фините частици преминават в долния продукт, в който съдържанието на влага се увеличава. Сепараторът Linatex HK40 постига по-високо съдържание на твърда фаза (с над 10 %) в долния продукт в сравнение с конвенционалните хидроциклони независимо от разреждането на вакуума. Въз основа на получените резултати за полупромишлените изследвания се прие режим на работа със затворен въздушен кран на преливната тръба при полупромишлените тестове, [Grigorova, Nishkov, 2014a].

Полупромишлените тестове са проведени с обезводняващ сепаратор Linatex HK 80 и обезводнителен хидроциклон Krebs gMAX20-SSC (производство на фирма FLSmidth).

На фигура IV. 34 е представен масов баланс от полупромишления тест с Linatex HK80 при затворен въздушен кран на преливната тръба.

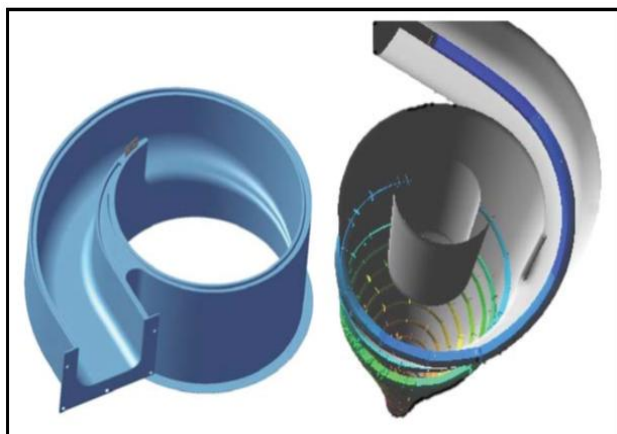


Фиг. IV. 34. Масов баланс от полупромишления тест с Linatex HK80

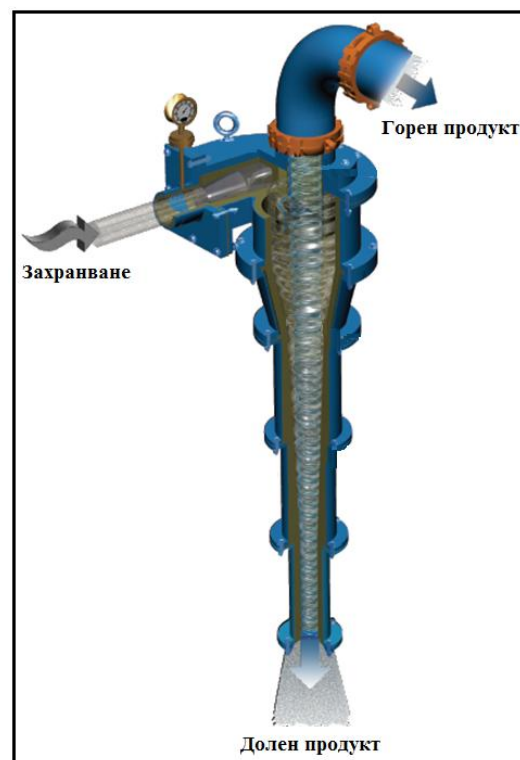
Резултати от лабораторните, полупромишлените тестове и проведеното математическо моделиране показват, че сепараторите Linatex HK биха могли да бъдат използвани за обезводняване на флотационен технологичен отпадък. Намаление на съдържанието на вода почти 2.5 пъти – от 82 % в технологичния отпадък на 35 % в долния продукт на сепаратор е добър технологичен резултат и доказва възможностите на тестваните сепаратори Linatex HK.

Последните години компания FLSmidth разработи нова хидроциклонна конструкция Krebs gMAX с постепенно нарастваща конична форма, за по-fino и по-точно разделяне на твърдите частици при висока производителност и ново разработена входна глава за минимизирано износване. Турбулентността се свежда до минимум, като същевременно се увеличава тангенциалната скорост. Еволвентният вход дава възможност за предварително разделяне на твърдите частици преди те да влязат в основната част на циклона. Благодарение на силно удължената конична част се осигурява по-дълъг престой на материала за класиране в критичните зони за разделяне в долната част на циклона. Това води до значително по-малък граничен размер на разделяне и по-висока ефективност в сравнение с класическите хидроциклони. Удължената преливна тръба и уретановата клапа за разтоварване на долния продукт дават възможност за образуване на вакуум при затворена клапа. Циклонът автоматично работи в цикъл - „затворена клапа” и цикъл - „отворена клапа”.

На фигура IV. 22 е представена новата конструкция на вход на циклона Krebs gMAX®, а на фигура IV. 23 схематично е представено бифазното разделяне на пулпа в обезводняващ хидроциклон Krebs gMAX20-SSC.

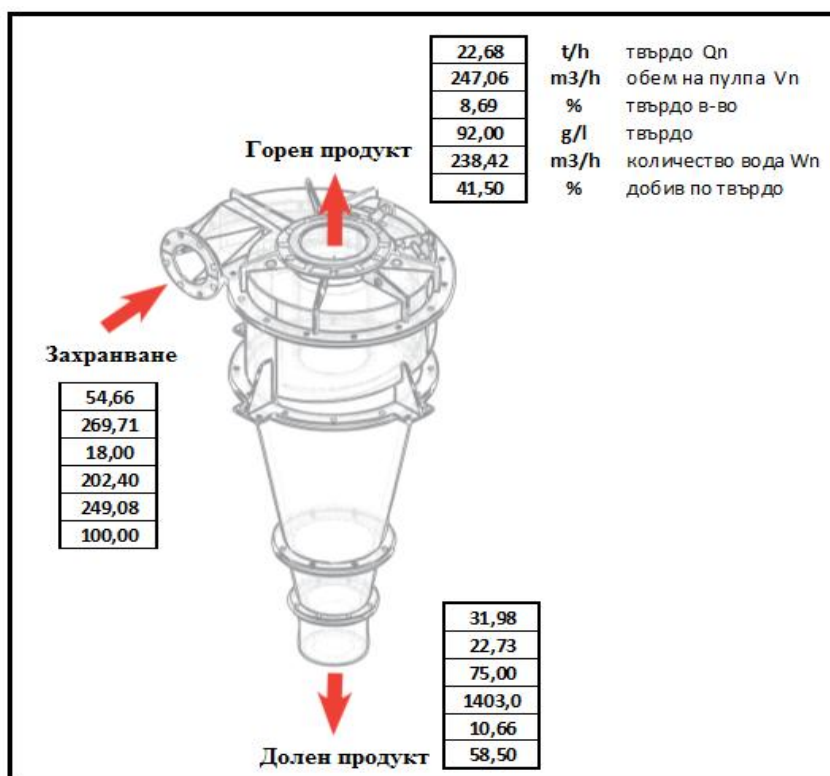


Фиг. IV. 22. Еволвентен вход на циклона на Krebs gMAX



Фиг. IV. 23. Бифазно разделяне с хидроциклон Krebs gMAX20-SSC

На фигура IV.37 е представен масов баланс от полупромишления тест с обезводнителен хидроциклон Krebs gMAX20-SSC 325 при затворен въздушен кран на преливната тръба.



Фиг. IV. 37. Масов баланс от полупромишления тест с обезводнителен хидроциклон Krebs gMAX20-SSC 325

Получените експериментални резултати от полупромишлените тестове с обезводнителен хидроциклен Krebs gMAX20-SSC доказват възможностите на новата модификация. Постигната е граница на срязване в горния продукт 63 μm , като обезводненият долен продукт е със съдържание на твърда фаза 75 %. Това съдържание на твърда фаза дава възможност за транспорт на обезводнения отпадък с автосамосвали.

В лабораторни и полупромишлени условия е доказано, че новите модификации хидроциклони Linatex НК и Krebs gMAX20-SSC имат потенциал при обезводняване на флотационни отпадъци. Получените резултати показват, че обезводнителните хидроциклони имат място в технологии водещи до получаване на технологични отпадъци с ниско съдържание на твърда фаза и депонирането им в сух вид. При бифазно разделяне на краен технологичен отпадък от Лъкинска обогатителна фабрика съдържанието на твърда фаза в долния обезводнен продукт на хидроциклона нараства повече от 4 пъти.

IV. 1.2. Бифазно разделяне на технологичен флотационен отпадък чрез комбиниран метод



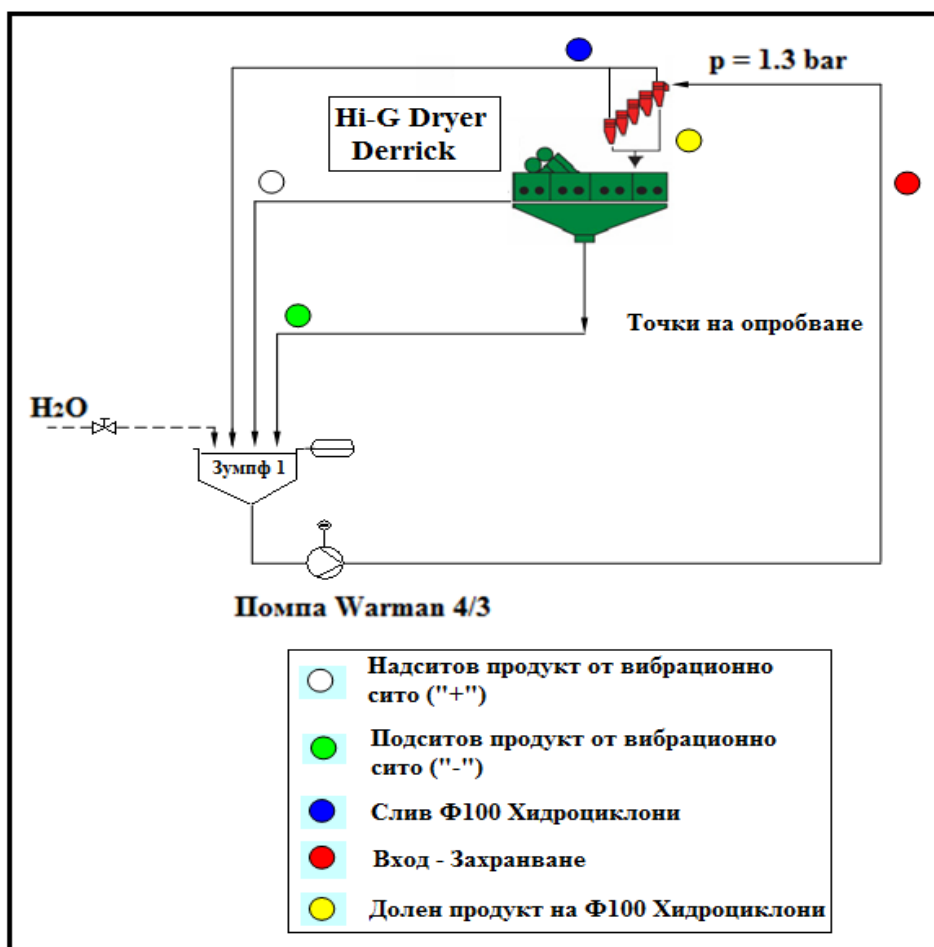
Полупромишлените изследвания за обезводняване на технологичния отпадък са проведени с обезводняваща HI-G Dryer Fines Recovery System производство на фирмата Derick Corporation. Обезводнителната система се състои от 20 броя - $\Phi 100$ mm хидроциклони монтирани над HI-G вибрационно сито. Бифазното разделяне на технологичния отпадък се реализира чрез комбиниран метод – хидроциклонна класификация и вибрационно пресяване, [Grigorova, Nishkov, 2014b].

Фиг. IV. 39. Обезводняваща система HI-G Dryer Fines Recovery System

Проведени са серия от полупромишлени тестове с технологичния флотационен отпадък от Лъкинска обогатителна фабрика.

На фигура IV. 41 е посочена верижна схема на апаратите за провеждане на полупромишлени тестове с HI-G Dryer Fines Recovery System и точките на опробване.

Получените експериментални данни от полупромишлените тестове доказват големите възможности на обезводнителната система HI-G Dryer Fines Recovery System за обезводняване на продукти от обогатяването. Резултатите показват предимствата на комбинирания метод на обезводняване включващ гравитационно обезводняване и обезводняване на вибрационно сито. В крайния обезводнен продукт е постигната влага 19.7 %. При бифазно разделяне на краен технологичен отпадък от Лъкинска обогатителна фабрика с HI-G Dryer Fines Recovery System съдържанието на твърда фаза в долния продукт нараства 4.5 пъти – от 18 % твърда фаза в отпадъка на 80.3 % в обезводнения продукт. В същото време в горния продукт (слив) на хидроциклона беше получено минимално съдържание на твърда фаза – 1.3 %.



Фиг. IV. 41. Верижна схема на апаратите за провеждане на полупромишлени тестове с HI-G Dryer Fines Recovery System и точки на опробване, [Grigorova, Nishkov, 2014c]

Получените резултати доказват, че обезводнителната система HI-G Dryer Fines Recovery System би била основно съоръжение в технологична линия за обезводняване на флотационни отпадъци с цел елиминиране на класическото отпадъкохранилище и депониране на отпадъците в сух вид.

IV. 1.3. Комбинирана технология за бифазно разделяне на краен технологичен отпадък от обогатителна фабрика на „Лъки Инвест“ АД и сухо депониране

Проведените лабораторни и полупромишлени изследвания за бифазно разделяне на краен технологичен отпадък със сепаратор Linatex HK 80, производство на фирмата Weir Minerals, обезводнителен хидроциклон Krebs gMAX20-SSC, производство на фирмата FLSmidth и HI-G Dryer Fines Recovery System, производство на фирмата Derick Corporation показват, че е възможно крайният технологичен отпадък от обогатителна фабрика на „Лъки Инвест“ АД да бъде обезводнен до продукт с ниско съдържание на влага за депониране в сух вид и получаване на избистрена вода, [Нишков, Григорова, 2014].

Таблица IV. 17 представя съпоставка на получените експериментални резултати с трите съоръжения.

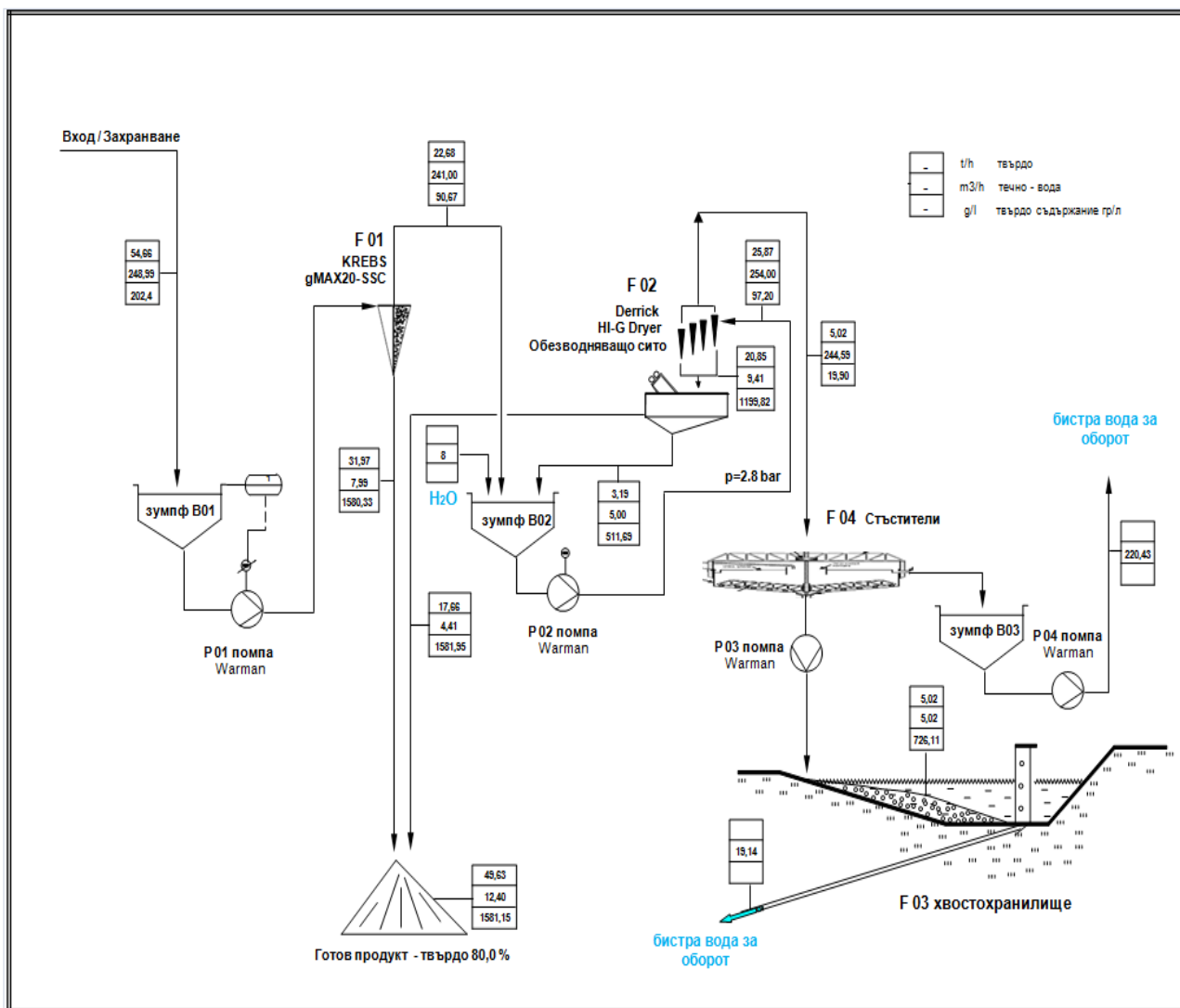
Таблица IV. 17. Обобщени експериментални резултати

Фирма производител	Тип обслужване	Вход/Захранване			Долен продукт/ Надситов продукт				Слив/Подситов продукт			
		Пулп, m ³ /h	Твърдо, t/h	Твърдо, %	Добив, %	Твърдо, t/h	Пулп, m ³ /h	Твърдо, %	Добив, %	Твърдо, t/h	Пулп, m ³ /h	Твърдо, %
Derrick Corp	Ф100 mm хидроциклони	363.4	28.8	7.6	78.1	22.5	19.3	67.3	21.9	6.3	342.0	1.3
	HI-G Dryer вибро сито	19.3	22.4	67.3	82.4	18.5	11.4	80.3	17.7	4.0	7.8	52.5
Weir Minerals	Хидроциклон Linatex НК 125 – 2 бр.	271.29	55.00	18.00	56.4	31.0	28.39	65.0	43.6	24.0	242.90	9.31
FLSmidth	Хидроциклон KREBS gMAX20 - SSC	269.71	54.66	18.00	58.5	31.98	22.73	75.0	41.5	22.68	247.06	8.69

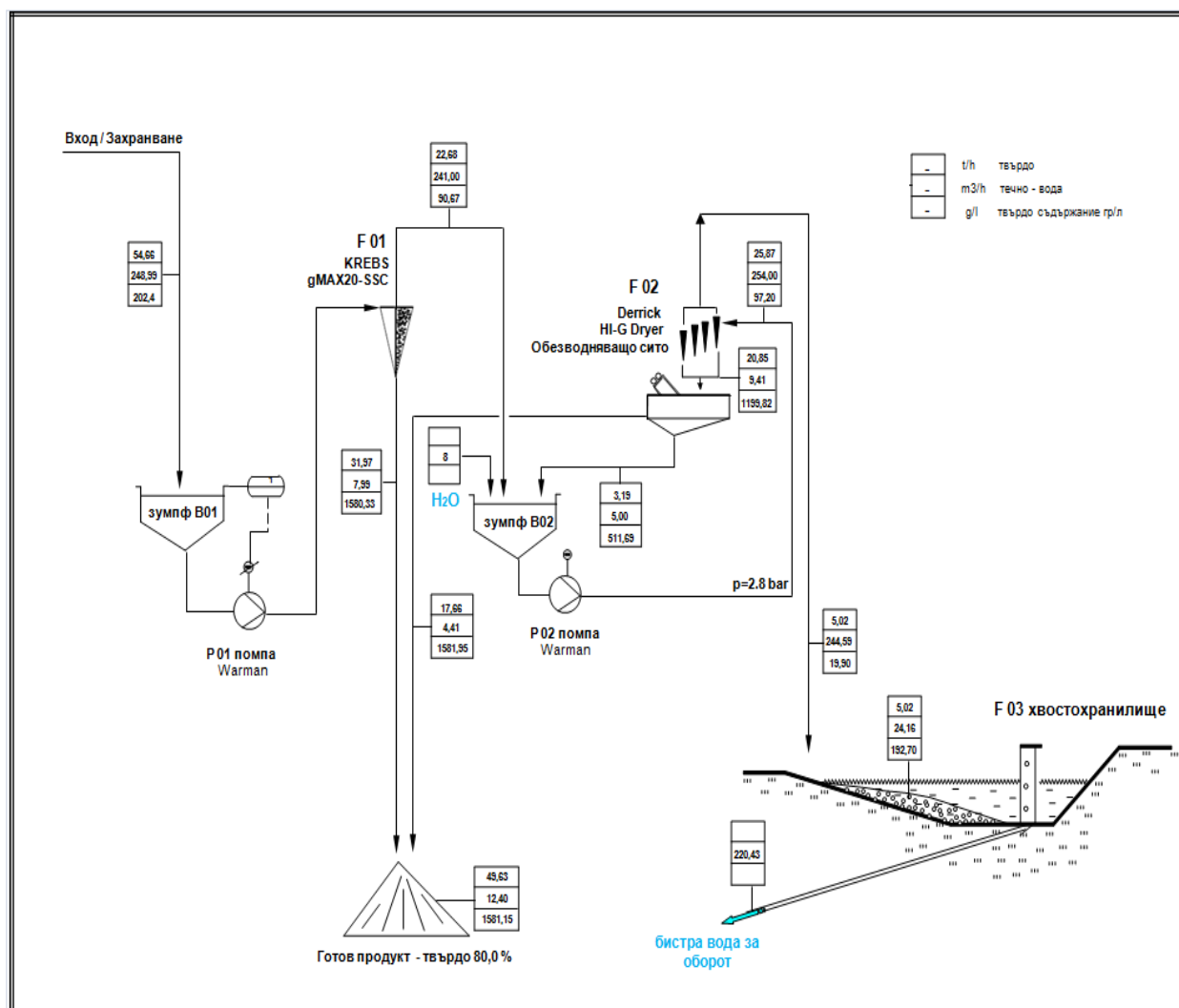
Въз основа на получените експериментални резултати е разработена комбинирана технология за бифазно разделяне на краен технологичен отпадък от обогатителна флотационна фабрика в условията на „Лъки Инвест” АД. Разработени са два варианта на технологията в зависимост от нейното местоположение – в близост до обогатителната фабрика или в района на отпадъкохранилището, [Grigorova, Nishkov, 2014c].

На фигура IV. 56 е представен вариант на обезводнителната инсталация, разположена до обогатителната фабрика.

На фигура IV. 57 е показан вариант на обезводнителната инсталация, разположена в района на отпадъкохранилището.



Фиг. IV. 56. Вариант на верижна схема на машините и апаратите за обезводняване на технологичния отпадък в близост до обогатителната фабрика



Фиг. IV. 57. Вариант на верижна схема на машините и апаратите за обезводняване на технологичния отпадък в близост до отпадъкохранилището

Комбинираната технология за бифазно разделяне на флотационен отпадък дава възможност за получаване на обезводнен отпадък със съдържание на влага 20 %, депонирането му в сух вид и получаване на избистрена оборотна вода.

Разработената комбинирана технология за двустадиялно бифазно разделяне на краен технологичен отпадък от обогатителна фабрика в условията на „Лъки Инвест“ АД е съобразена с конкретните условия, [Grigorova, Nishkov, 2014c]. Тази технология е гъвкава и има възможност на бъде адаптирана към различни условия и технологични промени, например увеличаване дебита на отпадъка, промени в зърнометричния състав и количеството на твърда фаза в отпадъка и др.

Комбинирана технология за обезводняване на краен технологичен отпадък е конкретно технологично решение при различните алтернативни подходи за управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия. Това технологично решение дава възможност за елиминиране на класическото отпадъкохранилище, депониране на отпадъците в сух вид и получаване на избистрена оборотна вода.

ЧАСТ ПЕТА. СЪЗДАВАНЕ НА ПОДХОДЯЩА ХРАНИТЕЛНА СРЕДА ЗА ЛЕСОБИОЛОГИЧНА РЕКУЛТИВАЦИЯ НА НАРУШЕНИ ОТ МИННАТА ДЕЙНОСТ ТЕРЕНИ

Технологичният подход „Създаване на подходяща хранителна среда за лесобиологична рекултивация на нарушени от минната дейност терени” е базиран на комплекс от дейности и технологии, които имат за цел възстановяване на нарушени в резултат на минната дейност терени.

Посредством управление на техногенните отпадъци от стерилна скална маса, чрез подходящи минерални подобрители се създава хумусна субстанция за отглеждане на растителни дървесни култури. Това по своята същност е подход за управление чрез оползотворяване на отпадъци от минерално-суровинната индустрия и неговата конкретна реализация е осъществена посредством създадената технология за безхумусна рекултивация.

За приложението на горепосочения технологичен подход са изследвани възможностите за лесобиологична рекултивация с минерални и органо-минерални мелиоранти на антропогенните почви, с които са формирани насипите от добивната дейност на „Каолин” – АД. Третирането на техногенните насипищни отпадъци, с помощта на минерални и органо-минерални мелиоранти довежда до образуване на хумусна субстанция. По този начин техногенните насипищни отпадъци придобиват нови, полезни за създаването на подходяща хранителна среда свойства. Върху така управляваните техногенните насипищни отпадъци, в резултат на приложени технологичен подход „Създаване на подходяща хранителна среда за лесобиологична рекултивация на нарушени от минната дейност терени” и неговата реализация е постигнато получаване на земеделска реколта от плодове „Годжи бери”. Създаден е нов продукт, чрез оползотворяване на техногенни отпадъци. Освен постигането на екологичен ефект, в резултат на лесобиологичната рекултивация, с реализирането на предлагания подход е доказано, че върху насипите от добивната дейност на „Каолин” АД е възможно производство на земеделска продукция.

V. 1. Изследване възможностите за лесобиологична рекултивация на нарушени земни площи от добивната дейност на Каолин АД

Разработена е комплексна научно-изследователска програма за установяване възможностите за лесобиологична рекултивация на нарушени от добивната дейност на Каолин АД терени. Основна цел на проведените изследвания е да се разработи ефективна технология за създаване на подходяща хранителна среда с минерални мелиоранти за лесобиологична рекултивация.

V. 1.1. Охарактеризиране на антропогенни почви от насипите образувани от разкривната дейност на Каолин АД

Изследвани са проби от два участъка от антропогенни почви на район Ветово, „Каолин” АД: вътрешен насип на участък № 5 и външен насип на кариера „Есенниците”, участък № 8. Въз основа на проведените физични, химични, агрохимични и физикохимични анализи са установени основните агрофизични и агрохимични свойства на изследваните антропогенни почвени проби.

От данните за химическия и минерален състав на изследваните проби е видно, че антропогенните почви са изградени от кварц, слюди, калцит, каолинит, фелдшпати, хлорити други минерали. Преобладават кварц, слюда, каолинит и фелдшпати, като общото им съдържание надвишава 65 – 80 %. Химическият състав напълно кореспондира с минералния състав. Прави впечатление, че съдържанията на сяра, фосфор и манган са сравнително ниски, което е благоприятно, докато съдържанията на титан и особено на желязо са сравнително високи за нормални почви. Резултатите от минераложкия и химически анализ определят

почвено-геоложкия материал като „глинесто-песъчлива почва” във формираните насипи по цялата дълбочина на опробването.

Данните от проведените анализи за установяване на физическите свойства на изследваните почвени проби показват, че антропогенните почви са леки със задоволителна влагоемкост, добра порьозност и задоволителна аерация при пълна влагоемкост. Фракцията „0 – 0.16 mm” (ситнозем) достига до 39 % в почвените проби. Структурните агрегати – фракция „+2.5 mm” не надвишават 15 %, практически липсва структурност и за двата насипи. Съдържанието на физическа глина в конкретните почвени материали не подпомага акумулирането на хумус в почвата. Вероятно това се дължи на установената липса на структурност в тях. Получените стойности за съдържание на хумус характеризират субстанциите като неотговарящи на изискванията за осъществяване на безхумусна рекултивация без внасяне на почвоподобрител за земеделско ползване, но могат да се използват за залесяване.

Резултатите от изследванията на физикохимичните свойства (активна реакция, електропроводимост, йонообменен капацитет и обменни катиони) на изследваните антропогенни субстрати показват, че всички почвени среди са слабо алкални с ниска солева концентрация. Статичният катионообменен капацитет „СЕС” по амоний (NH_4^+) на почвените проби от вътрешен насип на участък № 5 е твърде нисък, докато същият, на почвените проби от външен насип на кариера „Есенниците”, участък № 8, показва задоволителни стойности. Всички изследвани проби са с преобладаващо съдържание на Са-обменни йони и твърде малко натриеви и калиеви катиони. Това е характерно за зоналните почви в този район на страната. Минералният състав на антропогенните почвени проби кореспондира с ниския катионообменен капацитет и формирания хумус. Изследваните почвено-геоложки материали са бедни на азот, имат приемливо ниво на общ фосфор в горните хоризонти и много добра запасеност с общ калий. Почвите са запасени изключително слабо с усвоими форми на фосфор, вероятно поради високото съдържание на желязо в тях. Усвоимите форми на калий са в границите на средната запасеност. Съдържанието на общ азот и достъпни форми на фосфор и калий не зависят от дълбочината на пробовземане.

Изследваните антропогенни почви от вътрешен насип на участък № 5 и външен насип на кариера „Есенниците”, участък № 8 са подходящи за безхумусна лесобиологична рекултивация и възстановяване на земите от минната дейност. За да се повиши ефективността на рекултивационните дейности субстратът следва да бъде подобрен с оглед повишаване на сорбционните му свойства, за балансиране състава на биогенните елементи и за подобряване на водно-физичните му свойства.

V. 1.2. Съдови изследвания за лесобиологична рекултивация на антропогенни почви от насипите образувани от разкривната дейност на Каолин АД

Въз основа на избор на подходящи дървесни видове и храсти и подходящи минерални и органоминерални мелиоранти са разработени схема за провеждане на съдови опити и метод на смесване на антропогенните почви с мелиорант. Изследвани са три типа мелиоранти: обогатени зеолити (минерален подобрител); органоминерален субстрат и биозеолити (природни зеолити обогатени с биологични ензими).

Съдовите експерименти в рамките на две години са проведени със следните видове растения:

- ❖ Пауловния, сорт „*Tomentosa*”;
- ❖ Пауловния, сорт „*Elongata*”;
- ❖ Годжи бери „*Lycium barbarum*”;
- ❖ Бяла акция „*Robinia pseudoacacia* L.”;
- ❖ Люляк сорт „*Siringa vulgaris*”;
- ❖ Синя слива, сорт „*Black Diamond*”.

Съдовите експерименти са проведени с предварително подготвени смеси от антропогенни почви от вътрешен насип на участък № 5 и външен насип на кариера „Есенниците”, участък № 8 със съответния мелиорант по следната схема на вариантите:

- ❖ К-1 – контрола без торене;
- ❖ К-2 – контрола с фон NPK 800 kg/ha (40 g/100 kg субстрат);
- ❖ Б-1 - с добавка на 5 % обогатен зеолит с макро и микроелементи;
- ❖ Б-2 - с добавка на 10 % обогатен зеолит с макро и микроелементи;
- ❖ Б-3 - с добавка на 5 % обогатен зеолит + 5 % органоминерален субстрат;
- ❖ Б-4 - с добавка на 5 % органоминерален субстрат + 5 % биозеолити.

В края на едногодишния експериментален период бяха проведени биометрични изследвания на едногодишните растения. Биометричните измервания включват: диаметър на стъблото; височина; брой листа; листна повърхност; брой плодове; тегло на плодове; средно тегло на плод и брой издънки.

Резултатите получени за развитието на *Paulownia tomentosa* в условията на съдов експеримент показват, че при подобряване на почвата с 5 и 10 % зеолитови продукти и при комбинацията им с органоминерален субстрат се установява много бурен растеж, като диаметърът на стъблото надвишава повече от 2 пъти този при контролата. Височината на растенията е над 3 пъти по-голяма от тази при контролата. Особено впечатление прави многократно по-голямата листна повърхност - до 15 пъти повече от тази при контролата. Фигури V.16 – V.19 показват развитието на *Paulownia tomentosa* в условията на съдов експеримент за рекултивация на антропогенните субстрати от района на Ветово.



Фиг. № V.16. *P. tomentosa* – вар. Б-1 сравнен с контроли К-1 и К-2



Фиг. № V.17. *P. tomentosa* – вар. Б-3 сравнен с контроли К-1 и К-2



Фиг. № V.18. *P. tomentosa* – вар. Б-2 сравнен с контроли К-1 и К-2



Фиг. № V.19. *P. tomentosa* – вар. Б-4 сравнен с контроли К-1 и К-2

Данните, получени за развитието на *Paulownia elongata* в условията на съдов експеримент показват, че при този вид растения разликите в растежа са по-отчетливи. Третирането с 10 % зеолити повишава дебелината на стъблото 2.5 пъти, а височината до два пъти. Листната маса се увеличава от 6 до 7 пъти в сравнение с тази от контрола с фон NPK. Фигури V.24 – V.27 показват развитието на *Paulownia elongata* в условията на съдов експеримент.



Фиг. V. 24. *P. elongata* – вар. Б-1 сравнен с контроли К-1 и К-2



Фиг. V. 25. *P. elongata* – вар. Б-2 сравнен с контроли К-1 и К-2



Фиг. V. 26. *P. elongata* – вар. Б-3 сравнен с контроли К-1 и К-2



Фиг. V. 27. *P. elongata* – вар. Б-4 сравнен с контроли К-1 и К-2

Статистическият анализ показва, че и двата вида Пауловния отглеждани и третиран с обогатени зеолити от 5 и 10 % и в комбинация с торфен субстрат са с добре доказани разлики в сравнение с контролите К-1 и К-2. Тези вариантни решения, обаче са без доказани съществени разлики в развитието на растенията по между им, от което може да се направи извода, че вариантът с 5 % обогатен зеолит вероятно ще бъде икономически предпочетен.

Резултатите, получени за развитието на опитното растение Годжи Бери - *Lycium barbarum* в условията на съдов експеримент показват, че торенето с 40 g NPK/100 kg субстрат осигурява нормално развитие на храста Годжи бери. Третирането на почвите с останалите видове зеолитови субстрати стимулира бърз растеж и развитие на този вид растение. Отново се потвърждава мнението, че третирането с биозеолити не осигурява продължително нормално минерално хранене на растенията.

Растенията, отглеждани с добавка на 5 и 10 % обогатени зеолити и в комбинация с торфения субстрат увеличават двойно височината на храста. Всички зеолитови материали помагат за встъпване в плододаване на растенията още през първата вегетация. При двете контроли не се реализира плододаване на растенията.

По-комфортното минерално хранене при третиране на субстратите с 10 % обогатени зеолити осигуряват получаването на по-едри плодове и почти три пъти по-висок добив от тези при 5 %-то третиране с обогатени зеолити. Резултатите са доказани добре статистически. Фигури V.32 – V.35 показват развитието на *Lycium barbarum* в условията на съдов експеримент.



Фиг.V.32. Годжи Бери – вар. Б-1 сравнен с контроли К-1 и К-2



Фиг.V.33. Годжи Бери – вар. Б-2 сравнен с контроли К-1 и К-2



Не се установяват доказани разлики в нито едно от биометричните измервания при съдовото отглеждане на Бяла акация - *Robinia pseudoacacia* L. Визуално най-добре се развиват растенията, отглеждани в субстрати третиран с Биозеолити, вероятно поради първоначалното стимулиране на кореновата система и последващото биологично акумулиране на азот в ризосферата на тези растения.

Експериментът с Люляк – *Syringa vulgaris* показва, че на този етап резултатите са твърде непредставителни и е съмнително използването на този вид растение за лесобиологична рекултивация на антропогенните почви от района на Ветово.

Проведени са химико-биологични изследвания на третираните субстрати на отглежданите растения за установяване количеството на изнесените хранителни вещества през първия вегетационен период. Допълнително са проведени химико-биологични изследвания на зелената листна маса на растенията Пауловния, сорт *Tomentosa* и *Elongate* от първата година съдови експерименти.

Получените резултати от съдовите опити с *Paulownia tomentosa* показват, че съдържанието на $N-NH_4$ се повишава от 22 до 102 %, на $N-NO_3$ от 58 до 91 %, на мобилни форми на P_2O_5 от 3 до 4 пъти, а на K_2O средно два пъти. Въпреки това, съдържанието на азот може да се приеме за ниско, на фосфора – на долната граница на нормалното за вида при третиране с 5 и 10% зеолитов мелиорант, а на калий в оптимални граници.

При съдовите опити с *Paulownia elongata* в следствие по-бурния растеж на вида се установява значително по-бързо изчерпване на достъпния азот. Очевидно този вид е по-малко взискателен към фосфора и при третиране с 5 и 10 % зеолитови мелиоранти в субстрата има добра до много добра запасеност с фосфор и калий. Наблюдава се засилена нитрификационна дейност и в някои варианти нитратният азот е до 15 пъти повече от контролата. Мобилните форми на P_2O_5 се повишават от 6 до 14 пъти, а на калия от 37 до 87 %.

Резултатите от листната диагностика показват, че при *P. Tomentosa*, отглеждана в третиран с зеолитови продукти субстрати, растенията усвояват до три пъти повече азот. Фосфорът е в сравними с контролата съдържания, а калия е до два пъти повече в листата на

растенията отглеждани в мелиорирани със зеолитови продукти антропогенни субстрати. Растенията усвояват и по-големи количества магнезий.

Резултатите от химико-биологичните изследвания на зелената листна маса показват, че при *P. elongate* отглеждана в третиран с зеолитови продукти субстрати, растенията съдържат от 21 % до два пъти повече азот от контролата. Това означава, че при установения много по-мощен вегетативен растеж, фиданките акумулират няколко пъти повече азот от контролните растения. Съдържанието на фосфор е сравнимо с това на контролата, но съдържанието калий е от 32 до 85 % повече от това на контролата. Зеолитовите подобрители на почвата контролират усвояването на калций и магнезий и намаляват съществено съдържанието им в листата.

Получените резултати от съдовите експерименти с Годжи Бери (*Lycium barbarum*) потвърждават установените тенденции при експериментите с Пауловния. Активната реакция на средата слабо се влияе от мелиорантите. При използване на 10 % зеолитов мелиорант се повишава солевата концентрация на равновесния воден извлек. Общият азот също се повишава. Намалява съдържанието на амонячен азот в следствие усвояването му от растенията и нитрификационната дейност на формиращата се микрофлора. Съдържанието на достъпен азот и фосфор в средата на вегетацията на Годжи Бери е достатъчно за развитие на растенията при доза 10 % в този съдов опит. Всички субстрати са добре запасени с усвоим калий.

Мелиорирането на почвено геоложките материали от района на Ветово - Каолин АД със зеолитови материали подобрява агрохимичната характеристика на субстратите. Антропогенната почва придобива биопродуктивен потенциал за отглеждане на Годжи Бери с много добър растеж и развитие. В края на втория вегетационен период при съдови експерименти бяха набрани 2.8 kg плодове.



Плодове от отгледаните растения Годжи бери

Резултатите от проведените двугодишни съдови изследвания показват, че подобряването на антропогенните субстрати от района на Ветово със зеолитови мелиоранти повишава тяхната продуктивност до 2,5 пъти в условията на съдов опит. Това се дължи на подобрената мобилност на макроелементите и подобряване на тяхното усвояване от растенията.

Данните от биометричните изследвания и агрохимическите анализи показват, че при третиране на субстратите със зеолитови продукти техногенните насипищни отпадъци придобиват нови, полезни за създаването на подходяща хранителна среда свойства за лесобиологична рекултивация. Рекултивацията на антропогенните субстрати с Пауловния и

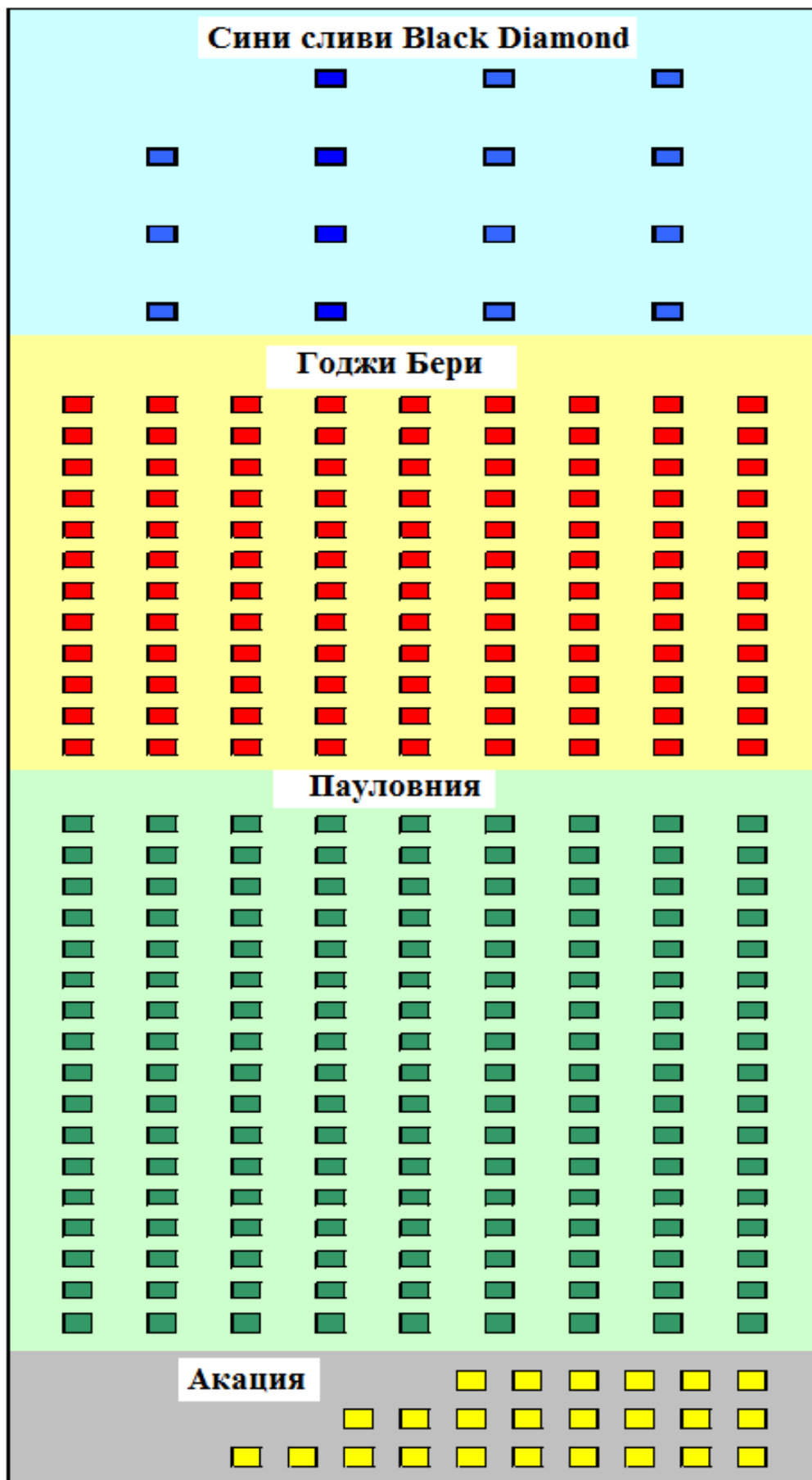
Годжи Бери е изключително успешна. Рекултивацията с традиционното за тази цел растение – бяла акация, може да има положителен ефект и без мелиорация на антропогенния субстрат.



Новообразувана хумусна субстанция

V. 1.3. Теренни изследвания за лесобиологична рекултивация на антропогенни почви от насипите образувани от разкривната дейност на Каолин АД

В края на втория вегетационен период от съдовите експерименти беше реализирано пренасяне и засаждане на растенията на постоянно място на терен на вътрешен насип на участък № 5 - Ветово. Разработен е метод за внасяне на минерални мелиоранти в непродуктивния слой на определения за залесяване терен и са реализирани едногодишни теренни изследвания по определена схема в опитна площ от 1 000 m². На Фигура V.47 е дадена схемата на засаждане на опитните растения за лесобиологична рекултивация на нарушен минен терен.



Фиг. V.47. Схема на опитно поле за теренни изследвания

В опитната площ бяха засадени следните растения:

- ❖ Пауловния, сорт „*Tomentosa*” и сорт „*Elongata*” – 153 бр.
- ❖ Годжи бери „*Lycium barbarum*” - 108 бр.
- ❖ Бяла акция „*Robinia pseudoacacia L*” - 24 бр.
- ❖ Синя слива сорт „*Black Diamond*” - 15 бр.

В рамките на една година всички растения се развиваха нормално. През този период бяха реализирани различни мероприятия като поливане, почвена обработка, плевене, растителна защита, резитба и други, за поддържане и съхраняване на опитното поле.



Резултатите от проведените съдови и теренни изследвания показват, че посредством управление на техногенните отпадъци от стерилна скална маса, чрез подходящи минерални подобрители се създава хумусна субстанция за отглеждане на растителни дървесни култури. Това по своята същност е подход за управление чрез оползотворяване на отпадъци от минерално-суровинната индустрия и неговата конкретна реализация е осъществена посредством технология за безхумусна рекултивация.

Доказано е, че с реализирането на технологичния подход за управление на отпадъци освен постигането на екологичен ефект върху насипите от добивната дейност на „Каолин” АД е възможно производство на земеделска продукция. В резултат на приложения технологичен подход за създаване на подходяща хранителна среда за лесобиологична рекултивация на нарушени от минната дейност терени е постигнато получаване на земеделска реколта от плодове „Годжи бери”, което в същността си е създаване на нов продукт, чрез оползотворяване на техногенни отпадъци.

ЧАСТ ШЕСТА. УЕДРЯВАНЕ НА ОТПАДЪЦИ ОТ МИНЕРАЛНО-СУРОВИННАТА ИНДУСТРИЯ

Голямо значение за рационалното използване на природните и техногенни суровини имат възможностите за управление чрез методите на уедряване. Приложението им осигурява получаване на ценни вторични продукти за промишлеността [Шпирт, 1988].

Уедряването е надежден метод за икономически изгодно и целесъобразно управление на минерално-суровинната база. Утилизацията на дребнозърнести и прахообразни отпадни продукти от преработката на полезните изкопаеми посредством методите за уедряване позволява получаване на краен продукт с подобрени търговски характеристики.

В настоящия дисертационен труд представянето на технологичния подход „Уедряване на отпадъци от минерално-суровинната индустрия” е подкрепено с реализирани технологични решения за брикетиране на индустриалните минерали варовик и вермикулит.

VI. 1. Технологични решения за управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия чрез методите на уедряване

Целта на изложението представено по-долу е да покаже посредством конкретни примери и технологични решения възможностите за управление чрез трансформиране на отпадъци, получени в резултат от преработката на индустриални минерали, в ценни суровини с пазарна стойност и контролирани качествени показатели.

VI. 1.1. Уедряване на технологични отпадъци, получени при преработката на варовик

При добив, транспорт, съхранение и зърнометричната подготовка на варовика (трошене и пресяване) се образуват огромни количества фини фракции (под 10 mm варовик) с различна зърнометрия и морфология. В тази си форма, материалът е трудно транспортируем, има склонност към запрашаване и спичане, а също така е необходимо закрито складово стопанство за съхранението му. Допълнителни проблеми създава и замръзването на суровината през зимните месеци. Всичко това прави този материал негоден за използване. Дребните варовикови отпадъци, складиращи често върху обработваема земя образуват огромни насипища, които не се оползотворяват [Grigorova, 2014e].

Управлението на варовиковите ситни отпадни фракции чрез уедряване би дало възможност на производителите на варовик, предназначен за сяроочистка в топлоелектрическите централи да реализират огромните количества дребни фракции варовик (под 10 mm), които в настоящия момент са отпадък.

Ефективното управление на варовиковите отпадъци чрез създаването на подходящо технологично решение за брикетирането им би дало възможност за подобряване на експлоатационните свойства и производство на краен продукт от иначе неоползотворими и създаващи редица затруднения при депонирането им отпадъци.

Повишеното търсене на варовик се очаква да доведе до модернизация на съществуващи въглищни централи и изграждане на нови инсталации за сероочистване. По-голяма част от системите в експлоатация, а също и тези построени в бъдеще ще използват варовик, прогнозира Петров [Петров, 2010a].

В катедра „Обогатяване и рециклиране на суровини” беше разработена научно-изследователска програма с цел установяване възможностите за реализация на технологично решение за управление на фините отпадъчни фракции от производството на варовик, чрез уедряване и по този начин, превръщането им в сток продукт с приложение в топлоелектрическите централи за пречистване на димни газове, [Grigorova, 2014e], [Grigorova, 2015e].

В резултат на проведените лабораторни изследвания [Grigorova, 2014e] беше доказана ефикасността от прилагане на процеса брикетиране със свързващи вещества за уедряване на варовик. Обектът за уедряване притежава голяма якост и твърдост. При прилагане на

налягане, оказва значително съпротивление, уплътнява се слабо. Приложението на технологията без свързващи вещества би довела до използване на високи налягания при пресоване, което означава голям разход на електроенергия и много здрави елементи на работното пространство на пресите, усилен сечения на отделните детайли, специални материали и др.

Изследванията [Григорова, 2015] потвърдиха икономическата неефективност на брикетирането без свързващи вещества за варовика и необходимостта от приложението на технология със свързващи вещества. При използване на свързващи вещества, приложеният натиск няма за цел да развие в достатъчен обем молекулни сили на привличане между отделните минерални частици, за което е необходим по-тесен контакт между тях. В случая свързването на частиците в брикет се извършва в резултат на свързващите сили между минералните зърна и свързващото вещество. В по-голямата си част тези сили също са молекулни, но тъй като свързващото вещество се подава в течен вид, те се реализират много по-лесно при по-слабо уплътняване на минералните частици [Върбанов, 1973].

Проведени бяха изследвания по брикетиране на отпадния варовиков ситнеж с три вида свързващи вещества: акрилен кополимер, полиакрил и полиакрилен кополимер, което позволи да се определят редица положителни ефекти в различни насоки на технологичния процес. На база експерименталните резултати при брикетиране на отпадния варовиков ситнеж и техния анализ беше установено, че прилагането на свързващо вещество полиакрилен кополимер, довежда до получаването на качествени брикети с високи якостни показатели и влагоустойчивост.

Осъществяването на създаденото технологично решение, базирано на подхода уедряване, за управление на варовикови ситнежи би довело до оползотворяване на милиони тонове дребни фракции варовик, превръщайки ги в качествен краен продукт с приложение в термоелектрическите централи за процесите на сярочистка [Grigorova, 2015e].

VI. 1.2. Уедряване на технологични отпадъци, получени при преработката на вермикулит

През последните десетилетия, в резултат на увеличения обем серни и азотни оксиди, отделяни във въздуха като промишлени вредни емисии, довеждащи до редица негативни природни явления с глобален характер се наблюдава все по-засилващо се антропогенно киселяване на почвата.

Падането на „киселинни“ дъждове при определени условия води до значителни промени в почвените свойства на екосистемите. Под тяхно влияние се увеличава киселинността на почвата, нараства разтворимостта и подвижността на катионите, включително на тежките метали и алуминия, което пък от своя страна способства за намаляване запасите от минерални елементи (калций, калий, магнезий и др.). Ефективен начин за запазване и възстановяване на нарушени почвени терени и оптимизация на почвения статус е внасянето на изгубените хранителни вещества под формата на торове и подобрители [Григорова, 2015].

При добива и преработката на вермикулитови суровини се генерира отпадъчен материал, който създава на минните компании разходи и трудности при управлението му, главно поради неговата фина зърнометрия. Количеството на отпадния вермикулитов ситнеж ежедневно нараства. Създават се редица трудности при транспортиране и съхранение. Същевременно, материалът притежава ценни съставки с многостранно приложение.

Целесъобразността и необходимостта от управление посредством брикетиране се доказва по безспорен начин, когато се вземе предвид факта, че се оползотворяват ефективно отпадни фини вермикулитови класи, които след брикетиране се превръщат в стоков продукт и могат да се транспортират безопасно на дълги разстояния, предотвратява се и проблема със замърсяване на околната среда с фини прахови частици.

Разработена беше научно-изследователска програма с цел реализиране на технологично решение за управление на отпадъци с фина зърнометрия, получени в резултат от преработката на вермикулитовата суровина от находище „Белия камък”, Белишко вермикулитоносно поле [Григорова, 2012а, 2012б].

Проведени бяха лабораторни експерименти по брикетиране на вермикулитовия ситнеж с органични свързващи вещества, подходящи за уедряване на отпадъчния продукт, с цел използването му в селското стопанство, като мелиорант за физико-химична обработка на почвите, подобряване на структурата и аерационните им свойства [Grigorova, 2014f].

При провеждането на изследванията за брикетиране на отпадъчния вермикулит бяха използвани методики позволяващи да се определят основните режимни параметри на процеса. Чрез лабораторни изследвания се установиха оптималните условия за подготовка на брикетируемата маса [Григорова, 2015].

С цел изучаване веществения състав на вермикулитовия технологичен отпадък бяха използвани следните методики за характеризирането му: зърнометричен, химичен и минераложки анализ [Grigorova, 2014f].

За установяване възможностите на техногенния вермикулит за приложение в селското стопанство като почвен мелиорант, той беше анализиран за следните химични и агрохимични показатели: рН, общи и подвижни форми на азот, фосфор и калий, калций, магнезий и натрий, желязо, катионообменен (йоннообменен) капацитет.

Получените данни показаха, че съдържанието на изследваните тежки метали е под пределно допустимите концентрации и не представлява опасност при използването на техногенния продукт в земеделието [Григорова, 2012а]. Данните по отношение на химичния състав на материала установиха, че той може да бъде източник на важни за растенията хранителни елементи, като фосфор, калий, азот, магнезий, калций, желязо, натрий и др.

В резултат на проведеното изследване по брикетиране на фини отпадни фракции от производството на вермикулит е намерено технологично решение и е доказана възможността за получаване на брикети със свързващо вещество от вермикулитовия отпадък [Григорова, 2012б].

Лабораторните експерименти по брикетиране на техногенен вермикулит установиха, че най-подходящо от технологична гледна точка е прилагането на свързващо вещество меласа, при оптимален разход 10.0 тегловни %, оптималното налягане на пресоване 20 МПа. Препоръчва се меласата да се подава към шихтата за брикетиране подгрята, с цел понижаване на вискозитета и по-добрата ѝ текливост. Същевременно подгрята меласа способства за по-доброто свързване на минералните частици в брикета. Препоръчително е подаването на меласата към вермикулитовата маса да се осъществява с дюзи чрез впръскване, за по-доброто разпределение на веществото по повърхността на частиците. Полученият уедрен отпадъчен продукт се характеризира с висока степен на водопоглъщане и водонеустойчивост, което е благоприятно при използването му в селското стопанство. Сред достоинствата на брикетите произведени от вермикулитовия техногенен отпадък са също и отличната им пригодността за транспортиране, претоварване и складиране [Grigorova, 2015e].

Проведеното лабораторно изследване доказва, че вермикулитовите брикети имат структура и състав, определящи ги като носители на подходящи компоненти на подобрители за почви. При внасянето на вермикулитовите брикети в почвата, благодарение на уплътнената си форма, те освобождават хранителни вещества през по-продължителен период от време, по-бавно, в сравнение с метода за внасяне на насипни подобрители на почвата. Внасянето на почвени подобрители под формата на брикети е особено подходящо в райони с висока влажност и валежи. В резултат на голямото количество дъждове, проникващи в почвата се отмиват хранителните вещества, подпомагащи растежа на растенията. Благодарение на уплътнената си форма брикета, съдържащ полезните за растенията вещества

по-бавно ги отдава и по този начин се подобрява добива на растителните култури [Григорова, 2015].

Компромисът между технологичното развитие на човешкия род и опазването на околната среда е един от най-сложните въпроси в съвременните общества. Развитието на много нови отрасли и производства довежда и до рязко нарастване количествата на технологичните отпадъци с разнообразен произход. Управлението на тези отпадни продукти чрез използване на съответната технология за брикетиране е целесъобразно от гледна точка на ефективно икономическо стопанство.

В световен мащаб се търсят нови свързващи вещества, които да не замърсяват околната среда и да отговарят на техническите изисквания. Най-голямо приложение намира употребата на органичните свързващи вещества и по-специално – полимерни и синтетични.

При производството на брикети е необходимо да се предложи икономична технология, позволяваща получаването на брикети с добри потребителски качества и екологични параметри, обезпечено складиране и транспортиране на готовата продукция при ниски производствени разходи.

Технологичната ефективност на производствените процеси е необходимо условие за постигане на устойчиво развитие, за най-пълноценно оползотворяване на природните ресурси и минимизиране замърсяването на околната среда.

Индустриалните производствени системи изискват ресурси и енергия. Настоящите производствени системи в по-голямата си част са линейни, често използващи опасни вещества и изчерпаеми ресурси в огромни количества. Реализирането на създадените технологични решения за преработка на отпадъци от въглища и индустриални минерали би довело до запълване на необходимостта от чисто производство.

Технологичният подход *„Уедряване на отпадъци от минерално-сировинната индустрия“* предоставя възможности за трансформирането на отпадни ситнежи и прахове, получени в резултат от преработката на метални, неметални и енергийни полезни изкопаеми, в ценни суровини с пазарна стойност и контролирани качествени показатели.

Комплексното и пълноценно оползотворяване на подземните богатства, като ограничен и невъзобновяем природен ресурс е тясно обвързано с необходимостта от създаване на иновативни научно-приложни решения за преработка на техногенните суровини.

Конкретните технологични решения за управление на отпадъците посредством брикетиране, представени в настоящия дисертационен труд кореспондират с основната цел на чистото производство, довеждайки до създаването на продукти по устойчив и по-ефективен начин, оползотворявайки отпадъци.

Обобщени изводи

Въз основа на научните и научно-приложни резултати, представени в дисертационния труд, могат да се направят следните общозначими изводи:

1. Устойчиво икономическо развитие е невъзможно без баланс между използване и възпроизводство на минерално-сировинните ресурси. Нарастващите темпове на промишлено производство предопределят увеличаване потребността от минерални ресурси. От друга страна, постепенното обедняване и невъзобновимостта на полезните изкопаеми, съчетана с интензивните темпове на добив способстват за обостряне на проблемите, свързани с тяхното рационално използване и опазването на околната среда. Съвременният етап от развитието на минерално-сировинната индустрия се характеризира с усвояване на находища на полезни изкопаеми със сложни минно-геоложки условия, бедни и труднообогатими руди, което обуславя и формирането на значителни количества отпадъци. В световен мащаб, все по-голямо внимание се отделя на техногенните находища, които могат да бъдат потенциален източник за попълване на сировинната база. Разработването и реализацията на научно-

приложни решения, основани на систематичен, комплексен технологичен подход за преработка на суровините от техногенните находища се явява иновационен фактор за усвояване на големия икономически потенциал на отпадъците от минерално-суровинната индустрия, в качеството им на вторични ресурси.

2. Анализът на отпадъците от минерално-суровинната индустрия в двата аспекта – като *проблем на устойчивото развитие* и като *алтернативни ресурси*, обобщава, че разработката и реализацията на научно-изследователски програми и решения е невъзможна без системен научен подход към същността и проблемите по обезпечаване на екологосъобразно и безопасно съхранение на отпадъците.

3. За реализацията на научно обосновани технологични подходи и стратегии за управление на техногенните находища е необходимо на първо място комплексното изучаване и установяване на закономерностите във веществения състав на техногенните суровини.

4. Анализът на законовата база в областта на управлението на минни отпадъци, извежда на преден план следните по-важни констатации: България следва да създава и развива свои собствени, вътрешни механизми за генериране на минерално-суровинни ресурси и за опазване на околната среда, като използва огромния потенциал на техногенните суровини. Необходимо е да се разработят иновативни инструментариуми за практически подходи към въпросите за управление на промишлени и минни отпадъци, въз основа на научно-изследователска дейност и научни факти. От изключителна важност са научните изследвания за увеличаване на съществуващите познания, за развитието на техниките и технологиите и интелигентното използване на техногенните суровинни ресурси. В заключение би могло да се обобщи, че досега много малък обем от средствата на Европейския съюз са били използвани за създаването и реализацията на технологии за преработка на минните отпадъци. От научните институции, работещи в областта се очаква да допринесат с усилията си и да създадат устойчиви и иновативни решения и технологии за оползотворяване на отпадъците от минерално-суровинната индустрия.

В резултат на комплексното изучаване, задълбочен обзорец, специализиран преглед на методите и технологиите за управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия и анализа на законодателната база в областта са постигнати целите, заложи в *точка 1* от *Цели и задачи на дисертационния труд*.

5. Разработеният в първа част на дисертационния труд технологичен подход *„Получаване на нови вторични продукти от техногенни отпадъци с нови качествени характеристики“*, доказва възможността за трансформиране на отпадъци от кварцови и кварц-каолинови пясъци в нови търговски продукти с вторичен произход. Практическата реализация на подхода, осъществена чрез разработените две технологии за получаване на нови вторични търговски продукти от отпадъците на обогатителна фабрика „Србокварц“, Рготина, Сърбия и обогатителна фабрика „Сеново“, Каолин АД обезпечава производството на вторични продукти от техногенни суровини, които при пазарна необходимост могат да намерят приложение като суровини за производството на фаянс, санитарна керамика, опаковъчни и домакински стъкла.

Изученият веществен състав на техногенните суровини от преработката на кварцови и кварц-каолинови пясъци и създадените две нови технологии позволиха постигането на целите, заложи в *точка 2* и *точка 3* от *Цели и задачи на дисертационния труд*.

6. Представеният във втора част на дисертационния труд, технологичен подход *„Повишаване извличането на полезен компонент чрез намаляване на технологичните загуби“* е реализиран чрез разработването на научно-изследователска програма за получаване на краен сток каолинов продукт от крайния технологичен отпадък. Благодарение на теоретичното изучаване на процесите и създадените *„Метод на гранулометрична сепарация в хидродинамичен слой на изплаващи въздушни мехурчета“* и

„Метод за класиране на финодисперсни материали в ламинарен поток” е създадено конкретно инженерно решение – технология за извличане на каолин от краен технологичен отпадък на обогатителна фабрика ”Ветово”, Каолин АД. Научно-изследователската работа по представения във втора част на дисертацията технологичен подход, показва как чрез съчетаването на теоретични и приложни изследвания, комплексно се решава конкретен приложен проблем и се реализира допълнително производство на 1 000 тона/годишно каолин. В резултат на извършените изследвания са постигнати задачите, формулирани в *точка 4* от глава *Цели и задачи на дисертационния труд*.

7. Най-масово прилагания в световен мащаб технологичен подход „Доизвличане на полезни компоненти от техногенни находища” е свързан, и до известна степен поставя началото на четвъртия етап от развитието на добива и преработката на подземни богатства в България – управлението на отпадъци. Основани на този подход и създадени са множество решения в областта на оползотворяването на технологични отпадъци. Практическото приложение на подхода, в настоящия дисертационен труд е извършено чрез разработване на нови технологичен и реагентен режими за получаване на баритен концентрат от технологичен „черен отпадък”, получен при преработване на кремиковска руда, включващо магнетизиращо пържене. Реализираните методики за изучаване на веществения състав и физико-механичните свойства на технологичния отпадък и въз основа на тях създаденото технологично решение за преработка, позволиха да се докаже, че отпадъкохранилище „Челопечене” е *техногенно находище*, а „черния” отпадъка, съдържащ се в него – *техногенна суровина*. В резултат на извършената научно-изследователска работа са постигнати целите, формулирани в *точка 2* и *точка 5* от глава *Цели и задачи на дисертационния труд*.

8. Анализът на традиционното съхранение на течни отпадъци под формата на разредени суспензии доказва, че депонирането в отпадъкохранилища е най-неблагоприятния метод за третиране на отпадъците, което води до загуба на ресурси и може да се превърне в бъдеща екологична отговорност. Приложението на технологичния подход „Бифазно разделяне на технологични отпадъци и сухото им депониране” удовлетворява все по-нарастващите екологични изисквания и предлага алтернатива за икономически целесъобразно управление на отпадъците. Практическата реализация на подхода е осъществена чрез създаването на комбинирана технология за бифазно разделяне на краен технологичен отпадък от обогатителна флотационна фабрика и депонирането му в сух вид. Това инженерно решение осигурява възможността за елиминиране на класическото отпадъкохранилище, депониране на отпадъците в сух вид и получаване на избистрена оборотна вода. Научно-приложната работа по посочения технологичен подход доведе до решаване на задачите, формулирани в *точка 2* и *точка 6* от *Цели и задачи на дисертационния труд*.

9. Засилващата се тенденция към отрицателен баланс на хумуса, резултира в хиляди хектари деградирани земи, лишени от конвенционалните процеси на възстановяване, които изискват използване на хумусен пласт. Този факт довежда до необходимостта от изследване на възможностите в областта на безхумусната рекултивация, като технологичен подход за управление възстановяването на околната среда. При разработване на подход „Създаване на подходяща хранителна среда за лесобиологична рекултивация на нарушени от минната дейност терени” и неговата конкретна реализация е създадена технология за безхумусна рекултивация на насипите от добивната дейност на „Каолин” АД. При управлението на техногенни насипищни отпадъци, чрез подходящи минерални подобрители е създадена хумусна субстанция и са отгледани растителни дървесни култури. Постигнато е и получаване на земеделска реколта от плодове „Годжи бери”. Представените резултати при научно-изследователската работа по посочения подход решават поставените задачи, формулирани в *точка 2* и *точка 7* от *Цели и задачи на дисертационния труд*.

10. Анализът на технологичните възможности за трансформиране на отпадни ситнежи и прахове, получени в резултат от преработката на индустриални минерали и въглища, в ценни суровини с пазарна стойност и контролирани качествени показатели доказват широката обхватност на технологичния подход „*Уедряване на отпадъци от минерално-суровинната индустрия*”. Практическата реализация е осъществена чрез създадените и представени технологични решения за брикетиране на индустриалните минерали варовик и вермикулит, кореспондиращи на *точка 8 от Цели и задачи на дисертационния труд*.

Поради спецификата на всяка конкретна суровина прилагания научно – изследователски технологичен подход е различен, но постигнатите цели са устойчиво производство и потребление, защита на околната среда, използване на оборотна вода и реализиране на рентабилно производство на вторични продукти.

Заклучение

Проблемът, свързан с дефицита на минерално-суровинни ресурси прави много актуален въпросът за разработването на техногенните находища, като допълнителни източници на ценни минерали. Очевидно е обаче, че въвеждането в експлоатация на тези находища е пряко свързано с необходимостта от разработването на конкретни технологични решения за преработка на техногенните отпадъци.

Представеният в дисертационния труд комплексен систематичен подход за инженерно управление на отпадъците от минерално-суровинната индустрия, реализиран чрез разработените иновативни технологии, представлява научна новост и осигурява възможност за подобряване на ресурсната ефективност в съчетание с екологосъобразност, за опазване на околната среда.

В резултат на извършените теоретични, моделни и научно-приложни експериментални изследвания е постигната основната цел и са решени задачите на дисертационния труд. Получените резултати, създадените методики и технологии са една добра база за продължаване на научно-изследователската дейност в направление *Технологично управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия*.

Комплексното изучаване и използване на природните и техногенни суровини, непрекъснатото усъвършенстване на преработвателните технологии, създаването на иновативни, екологосъобразни методи и процеси в областта са най-важните стъпки по посока ефективно и цялостно управление на минерално-суровинната база.

Научни и научно-приложни приноси

Научните и научно-приложните приноси, реализирани в хода на настоящия дисертационен труд, могат да се синтезират, както следва:

1. За първи път е изведен систематизиран подход към същността и механизмите на технологичното управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия. Въз основа на оригиналния технологичен подход, който обхваща теоретично и научно-приложно изучаване, анализ и изследване на всички аспекти при оползотворяването на техногенните ресурси е доказана необходимостта от разработването на конкретни инженерни решения за ефективно управление на отпадъците от минерално-суровинната индустрия.

2. Извършено е теоретично обобщение, оценка и комплексен анализ на постиженията, свързани с управлението на различни отпадъци от минерално-суровинната индустрия. Изучени са специфичните взаимовръзки и са обосновани възможностите на технологичните отпадъци като алтернативни минерални суровини. Доказана е необходимостта от

изучаването на технологичните отпадъци в два аспекта – като проблем на устойчивото развитие и като алтернативни минерални суровини. Изследвани са причините за потребността от развитие на технологии за комплексно използване на суровините и са очертани основните направления за оползотворяването им.

3. Научно обосновано и открито е ново научно-приложно и учебно направление - *Технологично управление на отпадъци от минерално-сировинната индустрия*.

4. Подробно са проучени и дефинирани понятията «техногенни находища», «техногенни суровини» и «техногенни ресурси». Изучени и изяснени са условията за формиране и експлоатация на техногенните находища. Създадена е концепция, разкриваща механизмите за трансформиране на отпадъкохранилища в техногенни находища. Обоснована и практически доказана е тезата, че посредством приложението на иновативни научно-изследователски подходи и решения, технологичните отпадъци се превръщат в техногенни суровини, а отпадъкохранилищата в техногенни находища.

5. Извършен е сравнителен анализ и оценка на отделните методи за управление на технологични отпадъци при тяхното депониране въз основа на характеристиката на изходните суровини, изискванията към крайния продукт и технико-икономическата целесъобразност от приложението им. Предложена и доказана е цялостна концепция за елиминиране на класическото отпадъкохранилище, депониране на отпадъците в сух вид и получаване на избистрена оборотна вода.

6. Вследствие на системни и конкретни научни изследвания е идентифициран веществен състав на различни отпадъци от техногенни находища. Разработен е методически подход за мониторинг, изследване и оценка, в резултат, на който са получени нови данни и зависимости за състава и структурата на различни технологични отпадъци. Разработени са оригинални методики за мониторинг на процесите и продуктите при преработването на *кварцови пясъци* в обогатителна фабрика „Србокварц” (Рготина, Сърбия) и *кварц-каолинови пясъци* в ОФ „Сеново” и ОФ „Ветово”, Каолин АД. Разработен е методически инструментариум за изучаване на веществен състав на техногенни суровини, адаптиран към спецификата на *технологичен „черен отпадък”* от отпадъкохранилище „Челопечене” и *краен флотационен отпадък* от Лъкинска обогатителна фабрика. На базата на получените резултати е поставена основа за тяхното инженерно управление и са реализирани технологични, комплексни, екологосъобразни решения за тяхната преработка и оползотворяване.

7. Теоретично са изчислени ефективната дебелина на граничния слой, относителната скорост и времето на престой на частици с различен размер в хидродинамичен слой на изплаващи въздушни мехурчета. Разработен е метод за гранулометрична сепарация в хидродинамичен слой на изплаващи въздушни мехурчета. Разработена е методика и е конструирана апаратура за моделни изследвания. Експерименталните резултати са в добро съгласие с получените по теоретичен път стойности и доказват възможностите на метода.

8. Извършен е теоретичен анализ на поведението на твърди частици при ламинарно движение на потока в наклонен утаителен канал, формиран между две успоредни пластини. Разработен е метод за класиране на финодисперсни материали в ламинарен поток. Разработена е методика и е конструирана лабораторна инсталация с единичен наклонен утаителен канал с непрекъснато действие. Експерименталните резултати са в добро съгласие с теоретичния анализ и доказват възможностите на метода.

9. Охарактеризиран и установен е физичният, химичен и агрохимичен състав на антропогенни почви, с които са формирани насипите от добивната дейност на „Каолин” АД. Предложена е цялостна концепция за безхумусна лесобиологична рекултивация и възстановяване на нарушените в резултат от минната дейност терени. Избрани са подходящи дървесни видове и храсти и подходящи минерални и органоминерални мелиоранти и са разработени схема за провеждане на многогодишни съдови опити и метод за смесване на антропогенните почви с мелиорант.

10. Идентифицирани са спецификите на формиране и са установени закономерностите, при които третирани със зеолитови продукти субстрати от техногенните насипищни отпадъци придобиват нови, полезни за създаването на подходяща хранителна среда свойства за лесобиологична рекултивация.

11. Предложен е метод за внасяне на минерални мелиоранти в непродуктивния слой на антропогенни почви, с които са формирани насипи от добивна дейност. Доказана е рационалността и необходимостта от управление на техногенните отпадъци от стерилна скална маса, посредством подходящи минерални подобрители за създаване на хумусна субстанция. Разработена е технология за безхумусна рекултивация. Реализирани са едногодишни теренни изследвания по определена схема в опитна площ от 1 000 m². Реализирано е получаване на земеделска реколта от плодове „Годжи бери” (Референция № 392/11.09.2014), (Референция № 393/11.09.2014).

12. Доказана е обогатимостта чрез флотационен метод за преработка на технологичен „черен отпадък” от техногенно находище „Челопечене”. Разработена е комбинирана технология и реагентен режим за получаване на баритен концентрат клас „А” от технологичен „черен отпадък”, получен при преработване на кремиковска руда, включващо магнетизиращо пържене.

13. Разработена е комбинирана технология за получаване на нови вторични продукти за керамичната промишленост от технологичен отпадък от преработката на *кварцови пясъци* в условията на „Србокварц”, Рготина, Сърбия. Разработената технология дава възможност допълнително да се реализира и повишаване извличането на полезен компонент чрез намаляване на технологичните загуби, довеждащо до нарастване количеството на един от крайните стокони продукти от основното производство.

14. Разработена е комбинирана технология за получаване на нови вторични продукти от технологичен отпадък, получен при преработване на *кварц-каолинови пясъци* в ОФ „Сеново”. Създаденото технологично решение дава възможност за пълноценно оползотворяване на суровината чрез получаване на два нови вторични продукти, които при пазарна необходимост могат да намерят приложение като суровини за производството на фаянс и санитарна керамика и производството на опаковъчни и домакински стъкла.

15. Разработена е комбинирана технология за бифазно разделяне на краен технологичен отпадък и депонирането му в сух вид. За първи път в България е реализирано бифазно разделяне на флотационен отпадък и е получен обезводнен продукт с ниско съдържание на влага. Създадената технология е внедрена във фаза проектиране на „Прохорово Майнинг” АД, (Референция № 56/12.06.2015). Доказана е възможността за елиминиране на класическото отпадъкохранилище, депониране на флотационните отпадъци в сух вид и получаване на избистрена оборотна вода.

16. Конструиран и изработен е промишлен прототип на аеролифтен класификатор, реализиращ метода за гранулометрична сепарация в хидродинамичен слой на изплаващи въздушни мехурчета. Методът е приложен и доказан в промишлените условия на обогатителна фабрика „Ветово”, Каолин АД.

17. Конструиран и изработен е промишлен прототип на ламелен рефлукс класификатор, реализиращ метода за класиране на финодисперсни материали в ламинарен поток. Методът е приложен и доказан в промишлените условия на обогатителна фабрика „Ветово”, Каолин АД.

18. Разработена и внедрена е тристадиална гравитационна технология за преработване на техногенен отпадък на ОФ „Ветово”. Постигнато е увеличаване съдържанието на Al_2O_3 повече от 4.5 пъти, спрямо съдържанието в отпадъка и получаване на краен каолинов продукт със съдържание на Al_2O_3 над 30 %. Монтираната и работеща в промивен цех на ОФ „Ветово” тристадиална гравитационна инсталация за преработване на технологичен отпадък е с годишна производителност 1 000 тона каолин (Референция от 11.06.2015).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Трудът представлява научна разработка, в която са предложени конкретни инженерни решения, базирани на формулирани технологични подходи, за ефективно технологично управление на отпадъци от минерално-суровинната индустрия.

Литература, посочена в автореферата на дисертационния труд

- Върбанов, Р., Брикетиране и агломерация на полезните изкопаеми, София, 1973.
- Григорова, И., Отчет по договор № 114/2012, Характеристика и оценка на технологичен отпадък от производството на вермикулит. Технологични възможности за приложението му в земеделската практика, 2012а.
- Григорова, И., Отчет по договор № 110/2012, Изследване възможностите за уедряване на фин отпадъчен продукт от производството на вермикулит, 2012б.
- Григорова, И., Уедряване на технологични отпадъци от индустриални минерали, Изд. Авангард Прима, ISBN 978-619-160-441-8, 2015.
- Мочев, Д., И. Григорова, Зърнометрична подготовка на суровините, София, Изд. къща „Св. Иван Рилски”, ISBN- 978-954-353-204-9, 2013.
- Нишков, И., И. Григорова, Комбинирана технология за обезводняване на флотационен отпадък от обогатителна фабрика на „Лъки Инвест” АД, Технически семинар „Перспективи за развитието на металургичната преработка на оловно-цинкови суровини в България”, Пловдив, стр. 01-10, 2014.
- Петров, П. И., Изисквания към варовиците, използвани за сяроочистка при изгаряне на въглищата от Марица-Изток, Сп. БГД, Национална конференция „Геонауки 2010”, Сборник с разширени резюмета, стр. 127-128, ISSN 1313-2377, 2010а
- Шпирт, Я., Безотходная технология. Утилизация отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых, Москва, Недра, 1988.
- Dobreva, V., A. Adamovic, V. Muvrin, I. Grigorova, I. Nishkov, On the possibility of waste utilization from Srbokvarc silica sand production, In: Proc. of XVIII International Scientific and Professional Meeting “Ecological Truth”, ISSN: 978-86-80987-79-1, Apatin, Serbia, pp. 432-437, 2010.

- Grigorova, I., I. Nishkov, Characterization and dewatering of flotation technological tailings, Journal of Mining and Metallurgy, Section A: Mining, Vol. 50, pp. 57-67, 2014a.
- Grigorova, I., I. Nishkov, New approach on flotation tailings dewatering, Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods & Technologies, Vol. 8, ISSN 1314-7269 (Online), Published at: <http://www.scientific-publications.net>, pp. 760-777. 2014b.
- Grigorova, I., I. Nishkov, Tailings pond elimination technology, In: Proc. of International Mineral Engineering Congress, San Luis Potosi, Mexico, Vol. 008, pp. 1-12, 2014c.
- Grigorova, I., Briquetting of limestone waste using binding agents, In: Proc. of International Mineral Engineering Congress, San Luis Potosi, Mexico, Vol. 008, pp. 1-9, 2014e.
- Grigorova, I., Industrial minerals processing waste – new secondary products, In: Proc. of XVI Balkan Mineral Processing Congress, 17 – 19 June, 2015, Beograd, Serbia, pp. 1077-1082, 2015e.
- Grigorova, I., Possibilities of vermiculite fine waste utilization, In: Proc. of XXVII International Mineral Processing Congress, October 20 – 24, Santiago, Chile, pp. 134-142, 2014f.
- Grigorova, I., I. Nishkov, Granulometric separation in laminar flow, In: Proc. of XXIV International Mining Congress, Turkey, pp. 1180-1188, 2015c.
- Grigorova, I., I. Nishkov, Kaolin Recovery from Processing Tails, Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods & Technologies, Vol. 9, ISSN 1314-7269 (Online), Published at: www.scientific-publications.net, pp. 554-560, 2015d.
- Levich, V., Physicochemical Hydrodynamics, Chap. 8, Engelwood Cliffs, Prentice-Hall, 1962.
- Marinov, M., A. Valchev, I. Nishkov, I. Grigorova, Kaolin processing tails – new secondary product, In: Proc. of IV Symposium Recycling Technologies and Sustainable Development, Kladovo, Serbia, ISSN: 978-86-80987-73-6, pp. 190-193, 2009.
- Saffman, P., The lift on a small sphere in a slow shear flow, J. Fluid Mech., 22, pp. 385-400, 1965.

Приложимост на резултатите в учебния процес

Като пряк резултат от откритието по време на разработване на дисертационния труд ново научно-приложно направление, беше създадена и нова дисциплина за студентите от специалност “Обогатяване и рециклиране на суровини”, ОКС „Бакалавър”. Разработената и приета учебна програма на дисциплината “*Инженерни практики при преработване на минерални и техногенни суровини*”, реализира единството между научните методи и инженерните практики. Именно тази свързаност между научно-изследователската дейност, която създава иновации и тяхното приложение в реалната инженерна практика е в основата на научно-техническия прогрес.

Дисертацията представлява интерес и в качеството ѝ на учебен материал за подготовка на студенти, обучаващи се в магистърския курс „Управление на отпадъци” и докторанти, изучаващи теорията и практиката на управление на отпадъци от минерално-сировинната индустрия. Основните принципи, инженерните практики, методи и технологии от дисертационния труд са включени в обучението на студенти в лекционните курсове на дисциплините „Преработване и рециклиране на техногенни суровини”, „Управление на минни отпадъци” и „Брикетиране, агломерация и пелетизация”, преподавани от доц. д-р Ирена Любенова Григорова в катедра „Обогатяване и рециклиране на суровини”, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски”.

Научни публикации по дисертационния труд

1. Grigorova, I., I. Nishkov, Granulametric separation of fine hydrophilic particles by suspension foaming, In: Proc. of XXI International Serbian Symposium on Mineral Processing, Bor, Serbia, ISSN: 978-86-80987-63-7, pp. 108-113, 2008.
2. Marinov, M., A. Valchev, I. Nishkov, I. Grigorova, Kaolin processing tails – new secondary product, In: Proc. of IV Symposium Recycling Technologies and sustainable development, Kladovo, Serbia, ISSN: 978-86-80987-73-6, pp. 190-193, 2009.
3. Нишков, И., А. Калайдзис, И. Григорова, Класиране на фини частици в разредени суспензии, Годишник на МГУ «Св. Ив. Рилски», том 53, Свитък I, Добив и преработка на минерални суровини, София, ISSN: 1312-1820, стр. 124-127, 2010.
4. Dobрева, V., A. Adamovic, V. Muvrin, I. Grigorova, I. Nishkov, On the possibility of waste utilization from Srbokvarc silica sand production, In: Proc. of XVIII International Scientific and Professional Meeting “Ecological Truth”, ISSN: 978-86-80987-79-1, Apatin, Serbia, pp. 432-437, 2010.
5. Prokopiev A., I. Grigorova, I. Nishkov, Mining Damages Terrains Reclamation, In: Proc. of VI Symposium Recycling Technologies and Sustainable Development, Soko Banja, Serbia, ISBN 978–86–80987–86–6, pp. 503-509, 2011.
6. Prokopiev, A., N. Popov, K. Chakalov, T. Popova, I. Grigorova, I. Nishkov, Mineral and Organic-Mineral Ameliorants for Biological Mining Terrains Reclamation, In: Proc. of XXVI International Mineral Processing Congress, New Delhi, India, ISBN: 81-901714-3-7, pp. 03871-03881, 2012.
7. Нишков, И., И. Григорова, Комбинирана технология за обезводняване на флотационен отпадък от обогатителна фабрика на „Лъки Инвест“ АД, Сборник на технически семинар „Перспективи за развитието на металургичната преработка на оловно-цинкови суровини в България“, Пловдив, стр. 01-10, 2014.
8. Grigorova, I., I. Nishkov, New approach on flotation tailings dewatering. Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods & Technologies, Vol. 8, ISSN 1314-7269 (Online), Published at: <http://www.scientific-publications.net>, pp. 760-777, 2014.
9. Grigorova, I., S. Dzhamyarov, I. Nishkov, Tailings characterization of „Chelopechene” tailings pond, Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods & Technologies, Vol. 8, ISSN 1314-7269 (Online), Published at: <http://www.scientific-publications.net>, pp. 778-785, 2014.
10. Григорова, И., М. Ранчев, И. Нишков, Трайни тенденции при депониране на крайни технологични отпадъци от преработката на минерални суровини, Сп. Минно дело и геология, ISSN 0861-5713, 2014/9-10, стр. 37-41, 2014.
11. Grigorova, I., I. Nishkov, Characterization and dewatering of flotation technological tailings, Journal of Mining and Metallurgy, Section A: Mining, ISSN 1450-5959, Vol. 50 A, pp. 57-67, 2014.

12. Grigorova, I., I. Nishkov, Tailings pond elimination technology, In: Proc. of International Mineral Engineering Congress, San Luis Potosi, Mexico, September 21-24, Vol. 013, pp. 1-12, 2014.
13. Grigorova, I., I. Nishkov, Barite Flotation Concentrate from Kremikovtzi Black Tailings, Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods & Technologies, Vol. 9, ISSN 1314-7269 (Online), Published at: www.scientific-publications.net, pp. 561-577, 2015.
14. Grigorova, I., I. Nishkov, Forestry Biological Reclamation of Damaged Mining Terrains, In: Proc. of XXIV International Mining Congress, Antalya, Turkey, ISBN: 978-605-01-0705-0, pp. 1403-1409, 2015.
15. Grigorova, I., I. Nishkov, Granulometric separation in laminar flow, In: Proc. of XXIV International Mining Congress, Turkey, ISBN: 978-605-01-0705-0, pp. 1180-1188, 2015.
16. Grigorova, I., I. Nishkov, Kaolin Recovery from Processing Tails, Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods & Technologies, Vol. 9, ISSN 1314-7269 (Online), Published at: www.scientific-publications.net, pp. 554-560, 2015.

Научно-изследователски проекти по дисертационния труд

Част от представените в настоящия дисертационен труд изследвания бяха подпомогнати от следните договори за научни изследвания:

1. *«Изследване флотирруемостта на отпадък от магнетизиращо пържено (черен отпадък) от отпадъкохранилище (Челопечене) и избиране на подходящ реагент за извличане на баритен концентрат»*. Договор №1977 /2009.

Научно-изследователската разработка по Договор №1977/2009 е базирана на приложението на технологичен подход „Доизвличане на полезни компоненти от техногенни находища”, представен в Част III в дисертационния труд.

2. *«Развитие на инфраструктурата на лаборатория „Управление на отпадъци” към катедра „Обогатяване и рециклиране на суровини»*. Договор № МТФ – ИР 009/ 2010.

По-голямата част от изследванията в дисертационния труд са извършени в лабораториите на катедра „Обогатяване и рециклиране на суровини”, Миннотехнологичен факултет, Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски”.

3. *«Изследване възможностите за лесобиологична рекултивация на вътрешен отвал на участък № 5 и външен отвал на кариера «Есениците», участък № 8 с минерални и органично-минерални мелиоранти»*, Договор № И-109/2011.

4. *«Съдови и теренни изследвания за лесобиологична рекултивация с минерален мелиорант – обогатен зеолит»*, Договор № 2039/2013.

Научно-изследователските разработки по Договори № И-109/2011 и № 2039/2013 са базирани на технологичен подход „Създаване на подходяща хранителна среда за лесобиологична рекултивация на нарушени от минната дейност терени”, представен в Част V в дисертационния труд.

5. *«Характеристика и оценка на технологичен отпадък от производството на вермикулит. Технологични възможности за приложението му в земеделската практика», Договор № 114/2012.*

6. *«Изследване на възможностите за уедряване на фин отпадъчен продукт от производството на вермикулит»», Договор № И-110/2012.*

Научно-изследователските разработки по Договори № 114/2012 и № 110/2012 се базират на технологичен подход „Уедряване на отпадъци от минерално-суровинната индустрия”, представен в Част VI в дисертационния труд.

7. *«Изследване на възможностите за бифазно разделяне на краен технологичен отпадък от обогатителна флотационна фабрика в условията на Лъки Инвест АД», Договор № И-114/2012.*

Научно-изследователската разработка по Договор № И-114/2012 се базира на технологичен подход „Бифазно разделяне на технологични отпадъци и сухото им депониране”, представен в Част IV в дисертационния труд.

8. *«Технология за преработване на краен технологичен отпадък на ОФ Ветово». Договор №2060/2014.*

9. *«Промислени тестове в ОФ Ветово на метод за класиране на каолинова суспензия в ламинарен поток», Договор №2059/2014.*

Научно-изследователските разработки по Договори № 2060/2014 и № 2059/2014 се базират на технологичен подход “Повишаване извличането на полезен компонент чрез намаляване на технологичните загуби”, представен в Част II в дисертационния труд.