

Объединение независимых экспертов в области минеральных ресурсов,
металлургии и химической промышленности



**Обзор рынка
оборудования для
гравитационного обогащения
тонких классов минерального
сырья в России**

Москва
ноябрь, 2016 г.

Демонстрационная версия

С условиями приобретения полной версии отчета можно ознакомиться на странице сайта по адресу: <http://www.infomine.ru/research/12/91>

Общее количество страниц: 267 стр.

Стоимость отчета – 96 000 рублей

Этот отчет был подготовлен экспертами ООО "ИГ «Инфомайн»" исключительно в целях информации. Содержащаяся в настоящем отчете информация была получена из источников, которые, по мнению экспертов ИНФОМАЙН, являются надежными, однако ИНФОМАЙН не гарантирует точности и полноты информации для любых целей. Информация, представленная в этом отчете, не должна быть истолкована, прямо или косвенно, как информация, содержащая рекомендации по инвестициям. Все мнения и оценки, содержащиеся в настоящем материале, отражают мнение авторов на день публикации и подлежат изменению без предупреждения. ИНФОМАЙН не несет ответственность за какие-либо убытки или ущерб, возникшие в результате использования любой третьей стороной информации, содержащейся в настоящем отчете, включая опубликованные мнения или заключения, а также последствия, вызванные неполнотой представленной информации. Информация, представленная в настоящем отчете, получена из открытых источников либо предоставлена упомянутыми в отчете компаниями. Дополнительная информация предоставляется по запросу. Этот документ или любая его часть не может распространяться без письменного разрешения ИНФОМАЙН либо тиражироваться любыми способами.

Copyright © ООО "ИГ «Инфомайн»".

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация	14
1. Краткий обзор основных гравитационных сепараторов по обогащению тонкого материала.....	16
1.1. Обогащение в тяжелых средах.....	16
1.2. Отсадка.....	17
<i>Центробежная отсадочная машина Kelsey</i>	<i>18</i>
1.3. Обогащение на концентрационных столах.....	23
1.4. Обогащение на концентрационных шлюзах	23
1.4.1. <i>Подвижные механизированные шлюзы</i>	<i>24</i>
1.4.2. <i>Прочие шлюзы.....</i>	<i>24</i>
1.5. Обогащение на винтовых сепараторах	25
1.6. Обогащение на центробежных концентраторах	27
2. Основные характеристики рынка гравитационных сепараторов в России для обогащения тонковкрапленного сырья (концентрационные столы, винтовые сепараторы, центробежные концентраторы).....	34
2.1. Практика применения гравитационных сепараторов для обогащения мелкого угля	35
2.1.1. <i>Гидросайзер.....</i>	<i>37</i>
2.1.2. <i>Винтовые (спиральные) сепараторы.....</i>	<i>40</i>
2.1.3. <i>Тяжелосредный гидроциклон</i>	<i>45</i>
2.2. Практика применения гравитационных сепараторов в России при обогащении руд, россыпей, кварцевого песка.....	46
2.2.1. <i>Обогащение оловянных руд</i>	<i>46</i>
2.2.2. <i>Обогащение вольфрамовых руд</i>	<i>51</i>
2.2.3. <i>Обогащение лопаритовых руд</i>	<i>55</i>
2.2.4. <i>Обогащение железных руд, окисленных железных руд, кор выветривания, железосодержащих техногенных месторождений.....</i>	<i>57</i>
2.2.5. <i>Концентрация золота и платиноидов при обогащении полиметаллических руд.....</i>	<i>64</i>
2.2.6. <i>Исследования по доизвлечению ценных компонентов из техногенных месторождений и лежалых хвостов</i>	<i>66</i>
2.2.7. <i>Обогащение золотосодержащих руд.....</i>	<i>71</i>
2.2.7.1. <i>Общее положение в золотодобывающей отрасли в РФ</i>	<i>71</i>
2.2.7.2. <i>Крупнейшие золотодобывающие российские компании</i>	<i>72</i>
2.2.7.3. <i>Прогноз развития золотодобывающей отрасли России в 2016 г.....</i>	<i>74</i>
2.2.7.4. <i>Российская золотодобывающая отрасль: прогноз Союза Золотопромышленников на 2016-2020 гг.</i>	<i>75</i>
2.2.7.5. <i>Прогноз Союза золотопромышленников на 2016-2020 гг. по проведению ГРП на золото.....</i>	<i>76</i>

2.2.7.6. Использование современных технологий для извлечения тонкого золота при разработке россыпных месторождений	77
2.2.8. Обогащение кварцевых песков для стекольной промышленности	82
2.2.9. Обогащение хромитовых руд.....	83
3. Производство гравитационных сепараторов в России в 2014-2015 гг.....	86
3.1. Производство концентрационных столов в РФ в 2014-2015 гг. Емкость российского рынка.....	86
<i>ОАО «Завод Труд» (Новосибирск)</i>	86
3.2. Производство винтовых (спиральных) сепараторов в 2014-2015 гг. Емкость российского рынка.....	92
<i>ООО «ПК «Спирит» (Иркутск)</i>	92
3.3. Производство центробежных концентраторов в России в 2014-2015 гг. Емкость рынка. Основные компании-производители. Структура производства основных компаний-производителей.....	96
<i>ЗАО «Итомак» (Новосибирск)</i>	96
<i>ООО «Мезон» (Иркутск)</i>	110
<i>ООО «ГК «Пугачев и партнеры» (Обнинск, Калужская обл.)</i>	114
<i>ОАО «Грант» (Московская обл.)</i>	130
<i>Центробежный концентратор «Шихан» (ООО «Гиромашины»)</i>	133
<i>Предприятия, прекратившие производство центробежных концентраторов</i>	135
4. Экспорт-импорт гравитационных сепараторов (концентрационные столы, винтовые сепараторы, центробежные концентраторы) в России (2010 –2016 гг.).....	136
4.1. Внешнеторговые операции России. Импорт	136
4.1.1. <i>Российский импорт центробежных концентраторов в 2000-2016 гг.</i>	136
4.1.1.1. Объемы импорта.....	136
4.1.1.2. Структура импорта по торговым маркам	138
4.1.1.3. Структура импорта по странам-производителям.....	140
4.1.1.4. Структура импорта по компаниям-производителям	140
4.1.1.5. Структура импорта по компаниям-получателям	141
4.1.1.6. Средняя цена импорта	142
4.1.2. <i>Российский импорт концентрационных столов в 2007-2016 гг.</i>	143
4.1.3. <i>Российский импорт винтовых (спиральных) сепараторов в 2007-2016 гг.</i>	150
4.2. Внешнеторговые операции России. Экспорт	155
4.2.1. <i>Российский экспорт центробежных концентраторов в 2001-2016 гг.</i>	155
4.2.1.1. Объемы экспорта.....	155
4.2.1.2. Структура российских экспортных поставок центробежных концентраторов по странам-получателям в 2001-2016 гг.	157
4.2.1.3. Структура российского экспорта центробежных концентраторов по компаниям- экспортерам в 2001-2016 гг.	161
4.2.1.4. Структура российского экспорта центробежных концентраторов по компаниям- получателям в 2001-2016 гг.....	163
4.2.1.5. Средняя цена российского экспорта центробежных концентраторов	164

4.2.2. Российский экспорт спиральных сепараторов в 2013-2016 гг.	165
4.2.3. Российский экспорт концентрационных столов в 2014-2016 гг.	165
5. Основные поставщики гравитационных сепараторов (концентрационные столы, винтовые сепараторы, центробежные концентраторы) в Россию.	
Конкурентный анализ	166
5.1. Компания – Knelson	166
5.1.1. <i>Краткий профиль компании. Краткий обзор производимой продукции</i>	166
5.1.2. <i>Объем производства/продаж и доля на рынке. Импортные цены на различные марки импортируемых центробежных концентраторов Кнельсон</i>	177
5.1.3. <i>Каналы поставок в Россию</i>	180
5.2. Компания – Falcon (Sepro Mineral Systems Corp. (Канада)).....	181
5.2.1. <i>Краткий профиль компании. Краткий обзор производимой продукции.</i>	181
5.2.2. <i>Объем производства/продаж и доля на рынке. Импортные цены на различные марки импортируемых центробежных концентраторов Falcon</i>	191
5.2.3. <i>Каналы поставок в Россию</i>	193
6. Анализ потребления гравитационных сепараторов для переработки минерального сырья в России	197
6.1 Потребление в России.....	197
6.1.1. <i>Оценка емкости рынка в 2014-2015 г.</i>	197
6.1.1.1. Емкость рынка центробежных концентраторов в России в 2014-2015 гг.	197
6.1.1.2. Емкость рынка винтовых сепараторов в России в 2014-2015 гг.	198
6.1.1.3. Емкость рынка концентрационных столов в России в 2014-2015 гг.	199
6.1.2. <i>Структура потребления в 2015 г. по видам оборудования и отраслям</i>	200
6.1.2.1. Структура потребления центробежных концентраторов в 2015 г.	200
6.1.2.2. Структура потребления винтовых сепараторов в 2015 г.	200
6.1.2.3. Структура потребления концентрационных столов в РФ в 2015 г.	201
6.1.3. Структура потребления в 2015г. по видам оборудования и отраслям:	201
6.1.3.1. Золотодобыча. Описание крупнейших потребителей	201
6.1.3.2. Углеобогащение. Описание крупнейших потребителей	209
6.1.3.3. Обогащение руд цветных и редких металлов, описание крупнейших потребителей.....	215
6.2. Критерии выбора поставщика у основных потребителей. Описание потребительских предпочтений	216
7. Новые проекты по обогащению руд с использованием гравитационных сепараторов в России до 2025 г. Вовлечение в переработку лежалых хвостов	220
8. Характеристика и прогноз развития рынка центробежных концентраторов в России до 2025 г. Перспективы использования гравитационного оборудования для обогащения тонковкрапленного минерального сырья России	232

Приложение 1: Описание работы установки с гидросайзером по обогащению мелкого угля.....	236
Приложение 2: Технические характеристики шламовых винтовых сепараторов производства ООО «ПК «Спирит»	239
Приложение 3: Концентраторы спиральные типа «Джин» (Keene Gold Genie)	242
Приложение 4: Центробежный концентратор с плавающей постелью CCFB - Flexu-Bowl.....	243
Приложение 5: Сегрегационный центробежно-барботажный концентратор (ЦБК)	244
Приложение 6: Центробежный концентратов iCON (Falcon Concentrators/Sepro/iCON Gold Recovery Corporation) для мелкомасштабной добычи	246
Приложение 7: Особенности технической политики Falcon/Sepro при создании аппаратов нового 3 поколения:	249
Приложение 8: Сравнение эффективности обогащения искусственных смесей на исследуемом аппарате, на концентраторах Кнельсон, ЦБК-100 и ИТОМАК-0,1	261
Адресная книга российских производителей центробежных концентраторов	264
Список источников.....	265

СПИСОК ТАБЛИЦ

- Таблица 1. Области применения отсадки
- Таблица 2. Техническая характеристика центробежных отсадочных машин Kelsey
- Таблица 3. Результаты обогащения золото-серебряной руды на различных гравитационных аппаратах (Falcon, Kelsey, Итомак)
- Таблица 4. Извлечение минералов разной плотности на промышленном винтовом сепараторе, %
- Таблица 5. Гранулометрические характеристики продуктов обогащения на спиральном сепараторе угольных шламов Печорского УБ
- Таблица 6. План производства оловянного, вольфрамового концентратов ООО «Проавоурмийское» до 2018 г., т
- Таблица 7. Распределение запасов олова в России в 2015 г.
- Таблица 8. Главнейшие коренные и россыпные месторождения олова России, олово т
- Таблица 9. Сравнительные результаты обогащения песков г/ц на винтовых сепараторах и центробежных концентраторах (промышленные испытания на техногенном Барун-Нарынского месторождении вольфрама)
- Таблица 10. Главнейшие российские месторождения вольфрама, т WO₃
- Таблица 11. Технологические показатели обогащения глинистых мармитовых руд месторождения Велиховское Южное (РК) отсадкой и на винтовых сепараторах
- Таблица 12. Запасы окисленных железистых кварцитов на крупнейших российских разрабатываемых месторождениях (2011 г.)
- Таблица 13. Динамика производства коренного, россыпного, попутного и вторичного золота в России в 2009-2016 гг., т, %
- Таблица 14. Тридцать крупнейших золотодобывающих компаний России в 2012-2015 гг., т, %
- Таблица 15. Финансовые показатели работы ОАО «Сарановская шахта «Рудная» в 2013-2014 гг., тыс. руб.
- Таблица 16. Основные показатели ОАО «Машиностроительный завод «Труд» в 2010-2015 гг.
- Таблица 17. Структура товарного выпуска ОАО «Машзавод Труд» в 2014-2015 гг., тыс. руб., %
- Таблица 18. Установка винтовых сепараторов производства ООО «Спирит» на российских и казахстанских предприятиях в 1998-2016 гг.
- Таблица 19. Экспортные поставки винтовых сепараторов ООО «Спирит» в 2005-2014 гг., шт., т, тыс. долл.
- Таблица 20. Основные финансовые показатели ООО «Спирит» в 2013-2014 гг., млн руб.
- Таблица 21. Технические характеристики центробежных концентраторов ЗАО «Итомак»

- Таблица 22. Результаты сравнительных испытаний центробежного концентратора ИТОМАК и других обогатительных приборов
- Таблица 23. Основные финансовые показатели работы ЗАО «Итомак» в 2011-2014 гг., тыс. руб.
- Таблица 24. Технические характеристики центробежного концентратора КЦ-1700
- Таблица 25. Распределение золота в концентраторе ЦК-1700 по фракциям при работе по рудной технологии на ООО «Рудник Холбинский»
- Таблица 26. Технические характеристики центробежного концентратора на гидроприводе ЦКГ-1700
- Таблица 27. Перечень предприятий, где установлены центробежные концентраторы ООО «Мезон»
- Таблица 28. Технические характеристики центробежного концентратора КНЦ-1
- Таблица 29. Технические характеристики центробежного концентратора КНП-0,2
- Таблица 30. Технические характеристики центробежного концентратора КВКП-3
- Таблица 31. Технические характеристики центробежного концентратора КВКП-5
- Таблица 32. Технические характеристики центробежного концентратора КВКП-10
- Таблица 33. Технические характеристики центробежного концентратора КВКП-25
- Таблица 34. Перечень предприятий, где установлено оборудование производства ООО «ГК «Пугачев и партнеры»
- Таблица 35. Технические показатели центробежных концентраторов производства ОАО «Грант»
- Таблица 36. Финансовое положение ОАО «Грант» в 2008-2015 гг., тыс. руб.
- Таблица 37. Технические характеристики сегрегационных центробежных концентраторов «Шихан»
- Таблица 38. Технические характеристики Концентратора ШИХАН Л-02
- Таблица 39. Импорт центробежных концентраторов в Россию по маркам в 2000-1 п/г 2016 гг., единиц, тыс. долл.
- Таблица 40. Прямые получатели импортных центробежных концентраторов в 2000-2016 гг.
- Таблица 41. Направления и объем импорта концентрационных столов в России в 2007-2016 гг., м² деки
- Таблица 42. Основные компании-поставщики концентрационных столов в России в 2007-2016 гг., м² деки
- Таблица 43. Основные компании-поставщики концентрационных столов в России в 2007-2016 гг., тыс. долл.
- Таблица 44. Прямые получатели импортных концентрационных столов в 2007-2016 гг.

- Таблица 45. Направления и объем импорта винтовых сепараторов в Россию в 2007-2016 гг., число витков
- Таблица 46. Основные компании-поставщики винтовых сепараторов в России в 2007-2016 гг., единиц витков
- Таблица 47. Основные компании-поставщики винтовых сепараторов в Россию в 2007-2016 гг., тыс. долл.
- Таблица 48. Прямые потребители импортных спиральных (винтовых) сепараторов в 2007-2013 гг.
- Таблица 49. Российские экспортные поставки центробежных концентраторов по странам, шт., тыс. долл.
- Таблица 50. Экспортные отгрузки российских производителей центробежных концентраторов по странам в 2001-2016 гг., тыс. долл.
- Таблица 51. Прямые зарубежные потребители российских центробежных концентраторов в 2003-2009 гг., тыс. долл.
- Таблица 52. Характеристика частиц и сростков ценного минерала с пустой породой. Целесообразность применения различных методов обогащения
- Таблица 53. Технические характеристики центробежных концентраторов Кнельсон QS с периодической разгрузкой
- Таблица 54. Технические характеристики центробежных концентраторов Кнельсон с непрерывной и периодической разгрузкой
- Таблица 55. Марки концентраторов Кнельсон, импортируемых в Россию. Цены на импортируемую продукцию по маркам в 2000-2016 гг., шт., тыс. долл./шт.
- Таблица 56. Технические характеристики центробежного концентратора Falcon C
- Таблица 57. Технические характеристики центробежных концентраторов SB
- Таблица 58. Технические характеристики центробежных концентраторов Falcon UF
- Таблица 59. Марки концентраторов Falcon, импортируемых в Россию. Цены на импортируемую продукцию по маркам в 2000-2016 гг., шт., тыс. долл./шт.
- Таблица 60. Баланс производства-потребления центробежных концентраторов в России в 2014-2015 гг.
- Таблица 61. Баланс производства-потребления винтовых сепараторов в России в 2014-2016 гг., шт., %
- Таблица 62. Баланс производства-потребления концентрационных столов в РФ, м² условной деки
- Таблица 63. Мощности по переработке руды основных российских золотоизвлекательных фабрик, млн т
- Таблица 64. Основное оборудование для обогащения и обезвоживания угля ОФ «Распадская»
- Таблица 65. Основное оборудование для обогащения и обезвоживания угля ОФ «Антоновская»
- Таблица 66. Проекты России по освоению новых месторождений и расконсервации старых до 2025 г.

Таблица 67. Перспективные проекты по строительству новых ГОКов, где могли бы быть востребованы центробежные концентраторы

Таблица 68. Технические характеристики шламовых винтовых шлюзов производства ООО «ПК «Спирит» для разведочных и лабораторных работ

Таблица 69. Технические характеристики шламовых винтовых шлюзов производства ООО «ПК «Спирит» для лабораторных и полупромышленных работ

Таблица 70. Технические характеристики шламовых винтовых шлюзов производства ООО «ПК «Спирит» для полупромышленных работ и промышленные винтовые шлюзы

Таблица 71. Технические характеристики промышленных шламовых винтовых шлюзов производства ООО «ПК «Спирит»

Таблица 72. Технические характеристики промышленных минеральных винтовых шлюзов производства ООО «ПК «Спирит»

Таблица 73. Технические характеристики центробежного концентратора CCFB Flexy-Bowl

Таблица 74. Результаты испытаний технологии с использованием центробежно-барботажного концентратора при обогащения золотосодержащих руд кор выветривания Тамбовского месторождения

Таблица 75. Зависимость извлечения тяжелых компонентов от их крупности на центробежно-барботажном концентраторе ЦБК и Кнелсон-3

Таблица 76. Состав установки iCON

Таблица 77. Технические характеристики концентратора iCON i150

Таблица 78. Нелинейное повышение износа с увеличением типоразмера чаши концентратора Falcon

Таблица 79. Зависимость технологических показателей от величины центробежного поля

Таблица 80. Сравнение эффективности использования оборудования Falcon с разными системами торможения

Таблица 81. Гранулометрическая характеристика порошка ферросилиция марки ФГ-15, использованного для испытаний центробежных сепараторов.

Таблица 82. Результаты разделения искусственных смесей с магнетитом и ферросилицием на различных центробежных сепараторах в оптимальных условиях работы

Таблица 83. Извлечение узких классов тонкого магнетита из искусственной смеси с мелкозернистым кварцем на центробежном сепараторе ШИХАН Л-02 (суммарное извлечение всего магнетита крупностью $-40+0$ мкм – 63,5%)

Список рисунков

- Рисунок 1. Внешний вид центробежного концентратора с плавающей постелью *CCFB - Flexy-Bowl*
- Рисунок 2. Центробежные концентраторы Falcon в сборочном цехе завода Sepro в Канаде
- Рисунок 3. Применение различных методов при обогащении угля в зависимости от класса крупности
- Рисунок 4. Принципиальная схема работы гидросайзера для обогащения тонких классов угля
- Рисунок 5. Установка по обогащению тонкого угля с использованием гидросайзера
- Рисунок 6. Винтовой (спиральный) сепаратор
- Рисунок 7. Динамика производство олова в концентрате в России в 1991-2015 гг., тыс. т
- Рисунок 8. Динамика производства вольфрамового концентрата в России и его экспорта в 2007-2015 гг., т
- Рисунок 9. Динамика производства лопаритового концентрата в ООО «Ловозерский ГОК» в 1997-2015 гг., тыс. т
- Рисунок 10. Региональная структура российской золотодобычи в 2015 г., %
- Рисунок 11. Установка винтовых сепараторов на драге 230 Прииска «Удырейский»
- Рисунок 12. Установка «Сибирь» для обогащения золотосодержащих россыпей производства ОАО «Труд»
- Рисунок 13. Динамика российской добычи кварцевых песков для стекольной промышленности в 2000-2015 гг., млн т
- Рисунок 14. Золотодобывающая фабрика в Армении, построенная по проекту ЗАО «ТИГОМ» и ОАО «Машиностроительный завод «Труд»
- Рисунок 15. Мультироторный концентратор ИТОМАК-КГМ-120А в «Алмазы Анабара», прииск Маят
- Рисунок 16. Два центробежных концентратора Итомак КГ 40, установленных в июле 2016 г. на обогатительном комплексе артели старателей «Восток-1» (Хабаровский край)
- Рисунок 17. Обоганительная установка ЗАО «Итомак» с применением центробежного концентратора КН 1.0
- Рисунок 18. Установка центробежных концентраторов Итомак КГ 40 в ТОО «Маятас» (Казахстан) в 2014 г.
- Рисунок 19. Центробежный концентратор «Итомак КГ-100» для ОАО «Алмазы Анабара» (2013 г.)
- Рисунок 20. Центробежный концентратор на гидроприводе ЦКГ-1700
- Рисунок 21. Внешний вид установки механической дезинтеграции для подготовки пульпы для обогащения на центробежно-вибрационном концентраторе ЦВКП-3

- Рисунок 23. Внешний вид центробежного концентратора «Шихан» (ООО (Гиромашины))
- Рисунок 23. Динамика импорта центробежных концентраторов в Россию в 2000-2016 гг. в натуральном выражении, шт.
- Рисунок 24. Динамика импорта центробежных концентраторов в Россию в 2000-2016 гг. в стоимостном выражении, млн долл.
- Рисунок 25. Структура импорта России центробежных концентраторов в денежном выражении по компании-изготовителю (2006-2016 гг.), %
- Рисунок 26. Динамика среднеимпортной цены на центробежные концентраторы в 2007-2016 гг., тыс. долл.
- Рисунок 27. Сводная структура импорта России концентрационных столов в натуральном выражении по стране происхождения оборудования (2007-2016 гг.), %
- Рисунок 28. Динамика импорта концентрационных столов в Россию в 2007-2016 гг. в стоимостном выражении, тыс. долл.
- Рисунок 29. Сводная структура импорта России концентрационных столов в натуральном выражении по компании-изготовителю (2007-2016 гг.), %
- Рисунок 30. Сводная структура импорта России концентрационных столов в стоимостном выражении по компании-изготовителю (2007-2016 гг.), %
- Рисунок 31. Сводная структура импорта России винтовых сепараторов по стране происхождения оборудования (2007-2016 гг.), %
- Рисунок 32. Динамика импорта винтовых сепараторов в Россию в 2007-2016 гг. в стоимостном выражении, тыс. долл
- Рисунок 33. Сводная структура импорта России винтовых сепараторов в натуральном выражении по компании-изготовителю (2007-2016 гг.), %
- Рисунок 34. Динамика российского экспорта центробежных концентраторов в 2001-2016 гг. в натуральном выражении, шт.
- Рисунок 35. Динамика российского экспорта центробежных концентраторов в 2001-2016 гг. в стоимостном выражении, тыс. долл.
- Рисунок 36. Структура экспортных поставок российских центробежных концентраторов в 2001-2016 гг. по странам-покупателям, % (в зависимости от стоимости)
- Рисунок 37. Структура российского экспорта центробежных концентраторов по компаниям-экспортерам в 2001-2016 гг., %
- Рисунок 38. Динамика средних цен на экспортируемые Россией центробежные концентраторы в 2007-2016 гг.
- Рисунок 39. Концентратор Кнельсон с периодической разгрузкой серии КХ-СД
- Рисунок 41. Концентратор CVD 32-2 с непрерывной разгрузкой
- Рисунок 42. Внешний вид малогабаритного Кнельсона серии QS периодической разгрузки
- Рисунок 43. Динамика поставок центробежных концентраторов Кнельсон в Россию в 2000-2016 гг., шт.
- Рисунок 43. Динамика импорта центробежных концентраторов Кнельсон в Россию в 2000-2016 гг. в стоимостном выражении, млн долл.

- Рисунок 44. Вид концентратора Falcon SB в разрезе
- Рисунок 45. Установка iCON IGR 500 (производство Falcon Concentrators/Sepron Mineral Sistem) для мелкомасштабной добычи золота и платины
- Рисунок 46. Динамика импортных поставок центробежных концентраторов Falcon в натуральном выражении в 2000-2016 гг., шт.
- Рисунок 47. Динамика импорта центробежных концентраторов Falcon в Россию в 2000-2016 гг. в стоимостном выражении, млн долл.
- Рисунок 48. Концентратор Falcon SB750 для нужд опытно-промышленной установки рудника им. Матросова (2015 г.)
- Рисунок 49. Концентратор Falcon SB750 на золотоизвлекательной фабрике рудника «Джувельта» (2014 г.)
- Рисунок 50. Концентраторы Falcon (SB5200 – 13 шт. и SB2500 – 2 шт.) для ЗИФ месторождения «Наталка»
- Рисунок 51. Структура потребления винтовых сепараторов в России в 2015 г.
- Рисунок 52. Динамика переработки коксующихся углей и выпуска концентрата на обогатительных фабриках России в 2000-2015 гг., млн т
- Рисунок 53. Возможное применение центробежных концентраторов «Шихан» для обогащения различных видов полезных ископаемых, %
- Рисунок 54. Устройство гидросайзера
- Рисунок 55. Внешний вид центробежного концентратора iCON
- Рисунок 55. Внешний вид установок iCON с комплексом дезинтегрирующего оборудования
- Рисунок 57. Чаша концентратора Falcon
- Рисунок 58. Сравнение профилей потоков в концентраторах Кнелльсон и Falcon
- Рисунок 59. Маркировка керамической плитки на чаше Falcon для удобства установки на промплощадке
- Рисунок 60. Концентратор Falcon SB с керамической футеровкой
- Рисунок 61. Геометрия отверстий впрыска у концентраторов Falcon и Кнелльсон

Аннотация

Настоящий отчет является **первым изданием** исследования российского рынка оборудования для гравитационного обогащения тонких классов минерального сырья. Исследование посвящено в основном рынку центробежных концентраторов. Также уделено внимание винтовых сепараторов и концентрационным столам.

Мониторинг рынка ведется с **2014 г.**

Цель исследования – анализ рынка гравитационного оборудования для обогащения тонких классов

Объектами исследования являются различные гравитационные аппараты: центробежные концентраторы разного типа, винтовые сепараторы, концентрационные столы, центробежные отсадочные машины и др.

Данная работа является **кабинетным исследованием**. В качестве **источников информации** использовались данные Росстата, Федеральной таможенной службы РФ, официальной статистики железнодорожных перевозок ОАО «РЖД», отраслевой и региональной прессы, годовых и квартальных отчетов эмитентов ценных бумаг, а также интернет-сайтов гравитационного оборудования, как отечественных, так и иностранных производителей.

Хронологические рамки исследования: динамики добычи олова, вольфрама, лопарита представлены с 1997 до 2015 гг., динамика производства золота – 2009-2016 гг. Прогноз потребности российской промышленности гравитационных сепараторов для обогащения тонких классов (проекты) – до 2025 гг.

География исследования: Российская Федерация.

Отчет состоит из 8 частей, содержит 267 страниц, в том числе 61 рисунок, 83 таблицы и 8 приложений.

В **первой главе** отчета дана краткая характеристика современных гравитационных сепараторов для обогащения тонких классов минерального сырья

Во **второй главе** отчета рассмотрена практика применения гравитационных аппаратов для обогащения тонковкрапленного сырья на примере обогащения оловянных, вольфрамовых, хромитовых, лопаритовых, золотосодержащих руд. В отдельном разделе описан опыт обогащения тонкого коксующегося угля на фабриках нового поколения в РФ. Большой раздел посвящен добычи золота, поскольку центробежные концентраторы востребованы именно в этой отрасли.

Третья глава отчета посвящена производству винтовых сепараторов, концентрационных столов и центробежных концентраторов в России.

В **четвертой главе** отчета описаны экспортно-импортные операции в 2000-2016 гг. с винтовыми сепараторами, концентрационными столами и

центробежными концентраторами. Рассмотрены структуры импорта по торговым маркам, странам-производителям, компаниям-производителям. Приведены цены на закупаемое оборудование.

В **пятой главе** отчета приводятся данные об основных поставщиках в Россию центробежных концентраторов – Кнельсон и Falcon. Приведены основные технические характеристики всех выпускаемых моделей. В приложении 7 описаны особенности технической политики компании Falcon при создании концентраторов 3 поколения, что позволило ей занять ведущее место, наряду с Кнельсон, на российском рынке.

Шестая глава – оценка емкости российского рынка по концентраторам, винтам и концентрационным столам в 2014-2015 гг. Отдельно рассмотрена структура потребления данного оборудования по отраслям. Кратко рассмотрены крупнейшие потребители.

В **седьмой главе** приведены новые проекты по обогащению руд с использованием гравитационных сепараторов.

В **восьмой главе** дан прогноз развития рынка центробежных концентраторов в России до 2025 г.

В Приложениях рассмотрены технические характеристики некоторых гравитационных аппаратов.

Целевая аудитория исследования:

–производители гравитационного оборудования для обогащения тонких классов;

– обогатители, применяющие на своих фабриках гравитационно оборудование для обогащения тонких классов;

– потенциальные инвесторы.

Предлагаемое исследование претендует на роль **справочного пособия** для служб маркетинга и специалистов, принимающих управленческие решения.

1. Краткий обзор основных гравитационных сепараторов по обогащению тонкого материала

Гравитационными методами обогащения называют методы, в которых разделение минеральных частиц, отличающихся плотностью, размером и формой, обусловлено различием в характере и скорости их движения в текучих средах под действием сил тяжести и сил сопротивления [20].

Гравитационные методы обогащения занимают ведущее место среди других методов обогащения, особенно в практике переработки угля, золотосодержащих, вольфрамовых, молибденовых руд и руд черных металлов.

Гравитационные методы позволяют перерабатывать крупнозернистый материал с верхним пределом крупности до 300 мм.

Гравитационное обогащение является одним из самых дешевых видов переработки минерального сырья.

В комбинированных схемах переработки полезных ископаемых гравитационные методы способствуют повышению экономичности обогатительного передела, поскольку удаление в голове процесса отвальной породы в виде товарного продукта (для строительных целей) позволяет сократить в дальнейшем фронт последующих переделов – измельчения, флотации и повысить экономичность работы предприятия.

Наиболее распространено применение гравитационных методов **в различных сочетаниях с другими процессами обогащения**: флотацией, промывкой, магнитной сепарацией, электросепарацией и др. В этом случае обработка полезного ископаемого производится по сложным технологическим схемам. К таким схемам относятся практически все схемы переработки коксующихся углей России и Казахстана, окисленных железных руд, полиметаллических, вольфрамо-молибденовых, титан-циркониевых россыпей и др.

В практике обогащения нашли применение несколько видов гравитационных методов обогащения:

1.1. Обогащение в тяжелых средах

Обогащение в тяжелых средах – это процесс гравитационного обогащения в жидкостях или суспензиях, имеющих промежуточную плотность между плотностями разделяемых твердых частиц, осуществляемый в гравитационном или центробежном полях. Обогащение в тяжелых средах осуществляется в жидкости или в воздушных взвесах. В качестве тяжелых жидких сред применяют однородные органические жидкости и их растворы, водные растворы солей и суспензии.

Суспензией называют взвесь в жидкости тонкоизмельченных (менее 0,1 мм) минеральных частиц, являющихся утяжелителем среды. В промышленности наиболее распространены водные минеральные суспензии с утяжелителем из магнетита.

В настоящее время существует **70 видов конструкций промышленных тяжелосредних аппаратов** (сепараторов). Сепараторы подразделяются на два основных типа: статические и динамические. В статических сепараторах проводится разделение частиц **крупнее 3 мм** при обычной силе тяжести, а в **динамических** – более мелких при повышенной силе тяжести.

Нижняя граница крупности частиц, которые можно эффективно разделять в системе динамической тяжелой среды, зависит в основном от системы регенерации среды. **Минимальная крупность частиц, эффективно разделяемых, составляет 0,5 мм.**

Динамические сепараторы – тяжелосредние гидроциклоны применяются для обогащения угля, антрацита и сланца крупностью **0,5-6, 6-25 и 0,5-25 мм**, а также для обогащения промпродукта крупностью **0,5-25 мм**.

Производят также **цилиндроконические гидроциклоны** (с увеличенной цилиндрической частью корпуса).

Производительность гидроциклона повышается с увеличением сечения входного отверстия и снижается с уменьшением сечения выпускных отверстий. Подбирая размер песковой насадки, можно в широких пределах изменять плотность разделения. Производительность гидроциклона зависит также от его диаметра, длины и угла конусности.

Использование центробежных сил, во много раз превосходящих силу тяжести, позволяет повысить плотность разделения примерно на **20%**.

Преимущества тяжелосредних гидроциклонов:

- простота устройства;
- большая производительность;
- высокая точность разделения $E_{рм}=50-60$.

Наличие в гидроциклонах вращательных потоков способствует разрушению структурообразования в суспензиях, что дает возможность обогащать в них мелкие и тонкие классы углей (**до 0,15 мм**).

Недостатками использования тяжелосредних гидроциклонов являются:

- относительно высокие эксплуатационные затраты (главным образом на электроэнергию и магнетит);
- необходимость регенерации магнетитовой суспензии, что усложняет технологическую схему.

1.2. Отсадка

Процесс отсадки основан на разнице скоростей движения минеральных зерен в пульсирующей среде разделения. Отсадка осуществляется в отсадочных машинах. Тяжелый продукт из отсадочной машины разгружается через специальные шибберные устройства и решето, а легкий идет с потоком разделительной среды через сливной порог.

В практике обогащения отсадке подвергают полезные ископаемые крупностью от **0,25 (0,5) до 150 (250) мм**.

Отсадка получила широкое распространение при обогащении крупно- и средневкрапленных руд, не требующих тонкого измельчения, а также полезных ископаемых, содержащих разделяемые компоненты, контрастно различающихся по плотности (уголь, пески россыпных месторождений и др.).

В табл. 1 приведены области применения отсадки для обогащения различных полезных ископаемых.

Таблица 1. Области применения отсадки

Полезные ископаемые	Плотность основного минерала, кг/м ³	Пределы крупности обогащаемого материала, мм
<i>Руды черных металлов:</i>		
бурые железняки	3500	50-3*
мартит	5300	50-3
псиломелан	4200	50-0,2
манганит	4300	50-0,2
пиролюзит	4820	50-0,2
хромит	4400	10-0,2
магнетит-гематитовые	5200	1-0,2
<i>Угли каменные:</i>		
	до 1500	100(250)-10(13)
	» 2000	10(13)-0,5
<i>Антрациты:</i>		
	» 2000	100(250)-10(13)
<i>Россыпные руды:</i>		
касситерит, вольфрамит, танталит и др.	6000-8000	25-0,05
титан-циркониевые	4200-5200	25-0,05
<i>Коренные руды:</i>		
касситерит, вольфрамит	6950-7350	6-0,3

* – обогащаются узкие классы крупности

Источник: данные научно-технической литературы

Центробежная отсадочная машина Kelsey

По центробежным отсадочным машинам имеется мало информации, поскольку аппараты этого типа только начинают «пробивать себе дорогу» в сферу производства золота из рудного сырья. В этом плане представляет безусловный интерес опыт использования центробежной отсадочной машины «Келси» (**Kelsey**) на золотоизвлекательной фабрике «Гранни Смит» (Granny Smith) в Австралии. Разработчиком и изготовителем данной машины является австралийская компания Geologics Pty. Ltd., которая в 2002 г. была приобретена компанией Roche Mining.

Сепарационная камера КСЖ представляет собой вращающуюся чашу (обычно помещаемую в кожух), боковые стенки которой снабжены цилиндрическими грохотами из клиновидной проволоки. На поверхности грохотов (со стороны питания) располагается слой дробленого материала (крупностью 0,5–1 мм), плотность частиц которого подбирается в соответствии с плотностью разделяемых тяжелых (концентрат) и легких минералов. Данный

материал выполняет роль «постели», применяемой в обычных отсадочных машинах. Однако, в отличие от последних, постель располагается не горизонтально, а вертикально, прижимаясь к поверхности грохотов благодаря центробежной силе, создаваемой вращением чаши.

Питание и вода подаются в сепарационную камеру сверху через автономные трубы: питание – к внешней, а вода – к внутренней поверхности грохота (камера концентрата).

Под действием высокочастотного пульсатора вода проходит через грохот и постель, препятствуя попаданию легких минеральных частиц в концентрационную камеру. Образующийся концентрат по мере накопления выводится из камеры через спиготы.

Выпускаемые модели Kelsey имеют производительность от 30 кг до более 70 т в час по твердому питанию. Характеристика наиболее крупных моделей представлена в табл. 2.

Таблица 2. Техническая характеристика центробежных отсадочных машин Kelsey

№ модели	Габариты	Масса	Мощность двигателя (S – вращение; P – пульсация), кВт	Число секций (бункеров)
J 200	650 x 900 x 800	360	S – 3; P – 1,5	4
J 650	1700 x 1700 x 1600	2500	S – 10,0; P – 7,5	8
J 1300	2300 x 2300 x 1650	5000	S – 22,0; P – 7,5	16
J 1300	2455 x 2330 x 2435	9500	S – 15,0; P – 11,0	16
J 1800	3080 x 2990 x 3010	14000	S – 22,0; P – 15,0	16

Источник: данные предприятия

Как считают производители машин Kelsey (КСЖ), основными преимуществами данных гравитационных аппаратов, определяющими перспективы их использования в золотодобывающей промышленности, являются:

- возможность извлечения частиц свободного золота крупностью до 5 мкм и золотосодержащих сульфидов (крупностью до -10 мкм);
- высокая степень концентрации ценных компонентов (до 100) в одну стадию;
- непрерывный режим работы;
- отсутствие промпродуктов (только концентрат и хвосты);
- полностью закрытое оформление аппарата, обеспечивающее сохранность металла.

Возможными (типовыми) примерами применения КСЖ в золотодобывающей промышленности, по представлению фирмы Rocher Mining, могут служить:

- а) извлечение тонкого свободного золота из россыпей;

- б) предконцентрация золота и сульфидов перед выщелачиванием (цианированием);
- в) извлечение золота и сульфидов в цикле измельчения;
- г) доизвлечение «упорного» золота из хвостов фабрик, применяющих технологию CIP/CIL (угольно-сорбционное цианирование).

Машины Kelsey приобретены немногими горнорудными компаниями мира для проведения промышленных испытаний и реализации технологии гравитационного концентрирования олова, бокситов, железа, хромита, редких цветных металлов (титан, тантал), металлов платиновой группы и разнообразных минеральных песков. Первым приобретателем отсадочной машины Kelsey стало золотодобывающее предприятие Placer Granny Smith.

Данная компания перерабатывает смешанные (частично окисленные) сульфидные руды цианированием по технологии CIP («уголь в пульпе»). Эти руды содержат значительное количество золота, ассоциированного с пиритом, который при принятой на фабрике степени измельчения руды (-0,15 мм) не вскрывается, и по этой причине тонковкрапленное в пирите золото теряется с хвостами цианирования.

Обычно извлечение золотосодержащего пирита из руд производится методом флотации. Однако флотация очень часто приводит к значительному усложнению схемы CIP, особенно в тех случаях, когда сульфиды тонко рассеяны по массе руды, и в питании присутствуют глинистые минералы, как это имеет место на фабрике Granny Smith. Кроме того, известно, что флотореагенты отрицательно влияют на сорбционные свойства активированного угля. В этих условиях для доизвлечения золотосодержащего пирита из хвостов угольно-сорбционного цианирования более предпочтительны гравитационные способы.

Ранее на фабрике Granny Smith использовали конусные концентраторы Рейхерта, эксплуатация которых осложнялась образованием гипсовых и карбонатных наростов на поверхности конусов. Это приводило к ухудшению работы системы распределения металла, снижению металлургических показателей и увеличению эксплуатационных затрат. Поэтому было принято решение о замене конусов на другие более эффективные гравитационные аппараты. В качестве последних испытаны: ЦОМ Kelsey отсадочные машины, работающие под давлением, и центробежные концентраторы Falcon серии С (с непрерывной разгрузкой концентрата). Выбор был сделан в пользу машины Kelsey J1800 с диаметром чаши 1,8 м.

По новой схеме хвосты цианирования (пульпа) обесшламливаются в гидроциклонах, пески которых направляют в 3 машины Kelsey J1800 с суммарной производительностью по питанию 250–300 т/ч.

Концентрат, выделяемый на центробежных отсадочных машинах, подвергают дополнительной гравитационной доводке в концентраторах спирального типа; перечищенный концентрат доизмельчают в вертикальной мельнице до крупности 80% класса минус 38 мкм и затем цианируют в аппаратах специальной конструкции с интенсивным перемешиванием пульпы. Хвосты

интенсивного цианирования направляют в основной гидрометаллургический цикл.

В результате замены конусов Рейхерта на машины Kelsey извлечение золота из хвостов повысилось с 30 до 60%, а общее извлечение на фабрике — на 4%, что обеспечило предприятию значительный экономический эффект [30].

Отсадочные машины Kelsey эксплуатируются на никелевой фабрике WMC – Mt Keith (Австралия) для удаления магния и талька в хвосты, на оловянных фабриках Minsur (Перу), Comsur (Bolivia), Pitinga (Brazil), Renison Bell (Австралия).

В 2013 г. в Томске на «Плаксинских чтениях» была представлена работа по сравнению эффективности извлечения ценных компонентов из руды с применением концентраторов Falcon L-40, Итомак КН-0,1, центробежной отсадочной машины Kelsey J200CJ, а также концентрационных столов СКО-0,5 и Gemini. Исследования проводились на базе Сибирского федерального Университета (Красноярск).[31]

Цель работы – сравнение эффективности работы гравитационных аппаратов центробежного типа для извлечения благородных металлов.

В качестве сырья использовалось одно из месторождений Магаданской обл., основными нерудными минералами являлись кварц и слюда (мусковит). Установлено присутствие сульфидов и сульфосолей (пирит, арсенопирит, киноварь, аргентит, пираргирит) и вторичных минералов (лимонит, скородит, гётит, гидроокислы марганца). Руда относится к малосульфидному типу, ценными компонентами являются золото и серебро. Среднее содержание золота в руде – 14,4 г/т, серебра – 42 г/т, Анализ распределения ценных компонентов по классам крупности показал отсутствие классов с отвальным содержанием в них металлов, а также отсутствие корреляции между распределением золота серебра.

Исследовано влияние крупности материала на технологические показатели обогащения. Для сравнения аппаратов были проведены эксперименты по схеме, включающей операцию основного гравитационного обогащения и контрольную операцию.

Обогащению на центробежных концентраторах и концентрационном столе подвергали руду крупности -1,5+0 мм, -0,5+0 мм, -0,1+0 мм. **Верхний предел крупности питания отсадочной машины Kelsey не может превышать 0,5 мм.**

При исследовании центробежных концентраторов намеренно вели процесс с низким потоком по твёрдому: с уменьшением крупности производительность варьировала от 50 до 30% паспортной производительности.

Отмечено, что при уменьшении крупности наблюдается последовательное уменьшение содержания золота и серебра в хвостах, однако на крупном материале Итомак обеспечивает более высокие показатели, чем Falcon, но из тонкоизмельчённой руды Falcon полнее извлекает металл (степень концентрации по золоту составила 26, по серебру – 9, извлечение металлов в концентрат 86,4 и 30% соответственно).

Определено, что при обогащении на центробежной отсадочной машине с уменьшением крупности исходного материала (от-0,5+0 мм к -0,1+0 мм) растёт

степень концентрации по золоту (с 2 до 15) и эффективность обогащения (критерий Хенкока-Люкена) с 46,3 до 72,84, однако по серебру увеличение не столь значительно.

В целом, без оптимизации условий процесса, полученные технологические показатели уступают показателям, которые обеспечили концентраторы Итомак и Falcon. Концентрационный стол СКО, в отличие от сравниваемых вариантов, вследствие отсутствия подготовки материала по крупности и равнопадаемости, не обеспечил удовлетворительных результатов.

Проведенное исследование показало, что наиболее высокое извлечение ценных компонентов (96,02 и 76,08% золота и серебра соответственно) обеспечило применение ЦОМ Kelsey, при этом, вследствие повышенного выхода концентрата, качество его невысокое. Анализ потерь металлов с хвостами позволил установить, что выделения сульфидов имеют очень мелкие размеры (единичные зёрна – первые микроны) и попадают в хвосты благодаря срастанию с кварцем, играющим роль своеобразного «поплавка». Установлено, что центробежная отсадочная машина обеспечивает наименьшие потери металлов с классом -0,044+0 мм (табл. 3).

Таблица 3. Результаты обогащения золото-серебряной руды на различных гравитационных аппаратах (Falcon, Kelsey, Итомак)

Продукт	Выход, %	Содержание, г/т		Извлечение, %	
		золото	серебро	золото	серебро
Итомак КН-0,1					
К-т 1	7,95	116,39	164	70,8	27,54
К-т 2	5,3	45,88	126,4	18,06	11,83
Хвосты	86,75	1,6	31,83	11,14	60,63
Исходная	100	13,07	47,349	100	100
Falcon L-40					
К-т 1	4,87	190	267	71	29,06
К-т 2	2,17	123,5	308,1	20,69	15,04
Хвосты	92,99	1,16	26,73	8,31	55,9
Исходная	100	12,95	44,46	100	100
Kelsey J200CJ					
К-т 1	34,35	32,7	93,7	83,5	64,98
К-т 2	11,52	14,7	48	12,52	11,1
Хвосты	53,93	1	22,1	3,98	23,92
Исходная	100	13,53	49,82	100	100

Источник: данные исследования [31]

Полученные технологические показатели показывают, что рассмотренные аппараты являются достойной альтернативой друг друга. Однако ряд особенностей центробежной отсадочной машины, таких как непрерывность работы, отсутствие промпродуктовых фракций и, наконец, наиболее полное

извлечение металлов в тяжелую фракцию, позволяют рекомендовать ее как наиболее эффективный аппарат для данного типа руды.

1.3. Обогащение на концентрационных столах

Обогащение на концентрационных столах происходит в тонком потоке воды, текущей по слабонаклонной плоской поверхности стола (деке). Дека совершает ассиметричные возвратно-поступательные движения в горизонтальной плоскости. Направление этих колебаний перпендикулярно направлению движения потока пульпы.

Концентрационные столы нашли широкое применение при обогащении *оловянных, вольфрамовых, редкометалльных, золотосодержащих руд крупностью -3+0,04 мм, а также углей крупностью менее 10 мм.*

На концентрационном столе происходит последовательное многократное повторение процесса концентрации в промежутках между рифлями и в то же время дополнительная концентрация расслоившегося тяжелого материала при веерообразном движении его к разгрузке. Концентрационный стол обеспечивает одновременно и высокое извлечение тяжелых минералов (бедные хвосты), и высокую степень концентрации (богатые концентраты).

Основное преимущество концентрационных столов – высокое извлечение тяжелых минералов при большой степени концентрации.

Однако удельная производительность концентрационных столов из-за малых скоростей и глубин потоков невелика. При работе песковых столов удельная производительность достигает 0,4-0,45 т/(ч·м²) поверхности деки, а у шламовых – всего 0,1-0,15 т/(ч·м²).

Концентрационные столы целесообразно использовать не для обогащения исходных бедных продуктов, а для обогащения бедных концентратов, полученных из руды другими более высокопроизводительными (но менее эффективными в технологическом отношении) аппаратами, например винтовыми сепараторами, отсадкой, струйными, шлюзовыми аппаратами, центробежными концентраторами.

Повышение производительности концентрационных столов является главным направлением усовершенствования их конструкций и режимов работы.

1.4. Обогащение на концентрационных шлюзах

Неподвижный концентрационный шлюз является простейшим обогатительным аппаратом и применяется для извлечения золота, платины, касситерита из руд и песков россыпных месторождений.

Для эффективного обогащения на шлюзах необходимо, чтобы разность плотностей полезных и породных минералов была бы значительной: **величина**

показателя обогатимости $(\rho_t - 1 / \rho_d - 1)$, где ρ_t и ρ_d – плотности тяжелого минерала и плотность минерала пустой породы, должна быть более **3,5**.

На шлюзах обогащаются неклассифицированные или имеющие широкий диапазон крупности бедные продукты. Верхний предел крупности – 100 мм. Для обеспечения транспортировки таких зерен необходимы высокие скорости потоков. Но при этом в потоке должно обеспечиваться образование постели – разрыхленного придонного слоя зерен. Совместить эти требования возможно при условии предварительного разделения материала по крупности:

– -100 (200)+16 мм – обогащение на шлюзах глубокого наполнения (со скоростью потока до 3 м/с);

– -16+0 мм – обогащение на шлюзах малого наполнения – подшлюзках (со скоростью потока до 1–1,5 м/с).

Донная часть шлюзов заполняется шероховатым улавливающим покрытием, поверх которого устанавливаются трафареты. Работа концентрационных шлюзов с улавливающим покрытием характеризуется периодичностью.

В зависимости от условий работы, стационарные шлюзы делятся на несколько групп:

– шлюзы глубокого наполнения;

– шлюзы мелкого наполнения, работающие на дезинтегрированном и расклассифицированном по крупности материале;

– ворсистые шлюзы, работающие на тонкозернистом материале крупностью до 1 мм, не имеют трафарет, а армируются только мягким улавливающим покрытием.

Отдельную группу представляют подвижные шлюзы и шлюзы с подвижным улавливающим покрытием. Это отличие чисто конструктивное, а по характеру процесса концентрации они относятся ко второй или третьей группе.

1.4.1. Подвижные механизированные шлюзы

В золотодобыче эксплуатируется несколько типов механизированных шлюзов для драг: подвижные металлические и с подвижным резиновым покрытием; переносные и поворачивающиеся шлюзы.

Возможность проводить сполоск без снятия улавливающего покрытия повышает эффективность работы шлюзов. Также исключается ручной труд, автоматизируется сполоск.

1.4.2. Прочие шлюзы

Известно еще несколько видов шлюзов. 20-30 лет назад «модными» шлюзами считались многолетние конструкции периодического действия – шлюзы «Бартлез-Мозли» и ленточные шлюзы с непрерывной разгрузкой

концентрата – концентратор «Кроссбелт». Аппараты предназначались для первичного обогащения (шлюз «Бартлез-Мозли») и доводки полученного черного концентрата (концентратор «Кроссбелт») шламовых касситеритсодержащих продуктов крупностью $-0,1+0,005$ мм.

Аппараты были дорогие. В России их установили, в частности, на Вишневогорском РУ (Челябинская обл.), где они должны были концентрировать пироклор (класс $-0,44$ мм, содержание N_2O_5 1-2%). Аппараты продемонстрировали неспособность к обогащению этого богатого по Nb_2O_5 продукта.

1.5. Обогащение на винтовых сепараторах

Винтовые сепараторы представляют собой особую разновидность аппаратов, работающих по принципу разделения материала в безнапорном наклонном потоке малой глубины. В отличие от всех известных аппаратов этого типа, у винтовых сепараторов неподвижный наклонный гладкий желоб выполнен в виде спирали с вертикальной осью. Пульпа загружается в верхнюю часть желоба и под воздействием силы тяжести стекает вниз в виде тонкого желоба потока разной глубины по сечению. При движении в потоке помимо гравитационных и гидродинамических сил, действующих на зерна, развиваются центробежные силы.

Винтовые сепараторы быстро нашли широкое применение для обогащения мелкозернистых песков, содержащих ильменит, циркон, рутил, и для измельченных руд редких и благородных металлов, железных руд, фосфоритов, хромитов и др.

Винтовые аппараты разделяют на сепараторы для обогащения неклассифицированных материалов крупностью от 0,1 до 3 мм и шлюзы для обогащения тонкозернистых материалов от 0,02 до 0,5 мм [20].

Винтовой желоб характеризуется следующими параметрами:

- диаметром;
- шагом винта;
- формой и размерами поперечного сечения, длиной желоба.

При разделении минералов с плотностью более 3000 кг/м^3 от легких минералов плотностью менее 3000 кг/м^3 эффективность обогащения резко увеличивается с повышением плотности тяжелого минерала. Для оценки эффективности процесса винтовой сепарации предложен критерий разделения:

$$M = \rho - \rho_l / \rho_l - 1$$

Где ρ , ρ_l – плотность соответствующего исходного продукта и легких минералов.

При $M > 1$ разделение проходит эффективно, при $M = 0,75 - 1$ разделение еще возможно, а при $M < 0,75$ разделение не происходит.

Крупность зерен. Верхний предел обогащаемых зерен кварца для сепараторов промышленного размера составляет 6-12 мм, а для зерен тяжелых минералов с плотностью $\rho_T = 4000-7000 \text{ кг/м}^3$ снижается до 2-3 мм.

Нижний предел крупности извлекаемых зерен определяется условиями взвешивания их в наклонном потоке. Для более тяжелых минералов этот предел составляет 0,074-0,1 мм.

Тонкие зерна эффективнее улавливаются на винтовых шлюзах, где создаются меньшие турбулентности потоков. На винтовых шлюзах нижний предел крупности извлекаемых зерен может быть снижен до 0,03 (0,02) мм.

Различные классы крупности извлекаются на винтовых сепараторах с различной эффективностью.

Форма зерна. С увеличением коэффициента сферичности тяжелых зерен они оказываются все более смещенными из зоны концентрата в зону хвостов.

Содержание тяжелых минералов в обогащаемом материале на винтовых сепараторах может быть от долей до десятков процентов. Экспериментально установлено, что бедные (до 10% фракции) продукты эффективнее обогащаются на сепараторах с малым шагом (порядка 0,5-0,7 м). Богатые (более 10%) продукты эффективнее обогащать на сепараторах с большим шагом (от 0,7 до 1 м).

Подготовка материала перед обогащением на винтовых сепараторах состоит в его **классификации и обесшламливании**. Предварительная классификация может происходить как на ситах, так и в гидравлических классификаторах. В последнем случае результаты обогащения лучше. При этом возрастает и производительность сепаратора (до 20%).

Винтовые сепараторы могут работать и на неклассифицированных продуктах, но если они содержат до 30-40% класса -0,074 мм, то их предварительно надо обесшламливать.

Разжижение (плотность) пульпы. При обогащении руд и песков, различающихся вещественным составом, в среднем оптимальная плотность исходной пульпы составляет от 10 до 35% твердого, для песков россыпных месторождений – 15-25% твердого, а для измельченных железных руд с высоким содержанием тяжелой фракции – 25-35% твердого.

Высокое содержание твердого в пульпе нарушает процесс расслоения, материал движется сплошной массой. При чрезмерном разжижении (менее 10% твердого) и при сохранении производительности по твердому винтовой желоб переполняется. В тех же случаях, когда нагрузка по твердому на сепараторе мала (а расход воды велик), то и тяжелые, и легкие зерна движутся у внутреннего борта, не обеспечивая хорошего веера (табл. 4).

Таблица 4. Извлечение минералов разной плотности на промышленном винтовом сепараторе, %

минерал	плотность $\rho, \text{ кг/м}^3$	класс крупности					
		+2	-2+1	-1+0,5	-0,5+0,25	-0,25+0,15	-0,1
касситерит	6800-7100	87,8	93,5	95	97,1	95,2	87,8
ильменит	3700-4200	79,8	93,3	87,2	80,6	73,7	66,3

Источник: данные научно-технической литературы [2]

Обычный расход смывной воды находится в пределах 0,1-0,3 л/с для одного желоба сепаратора диаметром 600 мм.

Винтовые сепараторы имеют высокую удельную производительность, которая определяется размерами желоба и характеристикой обогащаемого материала. По этой причине один и тот же аппарат имеет примерно в 2-3 раза большую производительность при обогащении россыпного материала, чем при обогащении измельченных руд.

Например, шлюз с диаметром витка имеет удельную производительность 0,9-2,5 т/ч на 1 м² занимаемой площади.

В данной работе не рассматриваются струйные и вибрационные концентраторы, поскольку это мало применяемые в настоящее время гравитационные аппараты.

1.6. Обогащение на центробежных концентраторах

Разработка и применение центробежных концентраторов для гравитационного обогащения минерального сырья связана с необходимостью более полного извлечения ценных компонентов из мелких и тонких классов, содержание которых, например в золотосодержащих россыпях, составляет 40-60%, а иногда 80-90%. Извлечение частиц золота крупностью 0,1-0,5 мм на традиционных аппаратах в гравитационном поле составляет 70-80%, а класса менее 0,1 мм снижается до 30%. Это обусловлено низкой скоростью осаждения мелких и тонких частиц в среде с высокой для них вязкостью, сложностью классификации тонких частиц в соответствии с коэффициентом равнопадаемости (равноскоростности) и т.д.

Центробежные концентраторы начали применяться в золотодобыче в начале прошлого века, однако широкое распространение они получили только в последние 25 лет благодаря усилиям и изобретениям, которые сделал Байрон Нелсон.

Сравнительно высокая эффективность обогащения мелких классов минеральных частиц достигается в центробежных концентраторах, где фактор разделения в сравнении с гравитационным полем увеличивается до ста и более раз, что аналогично соответствующему «кажущемуся укрупнению» частиц. Однако этот эффект «укрупнения» частиц в центробежном поле реализуется только частично. При вращении пульпы (среды) пропорционально ускорению уплотняется твердая фаза (естественная постель) и, соответственно, возрастает ее псевдовязкость, затрудняя относительное перемещение частиц различной плотности и их транспортирование. [24].

Центробежное поле в концентраторах создается вращением ротора. Линейная скорость вращения придонного слоя пульпы в роторе практически совпадает со скоростью его движения. Вышележащие слои и свободная поверхность пульпы отстают от придонного слоя. Фактор разделения в

центробежных концентраторах достигает **100 и более. Выход концентрата в этих аппаратах существенно меньше, и потому выше степень концентрации тяжелых фракций.**

Одна из главных технических проблем центробежных концентраторов заключается в том, что центробежные силы **осаждают в рифли не только золото, но и прессуют частицы других минералов и пород.** Если не принимать никаких мер, то рифли быстро заполняются породой, стенки чаши становятся практически гладкими, и процесс накопления тяжелых минералов прекращается.

Для рыхления постели между рифлями придуманы разные способы. В одной из ранних моделей «Орокон» постель рыхлилась неподвижными металлическими пальцами.

Нельсон (Кнельсон) предложил рыхление постели струями воды, поступающими из стенок чаши. В чаше между рифлями сделаны мелкие отверстия, через которые под давлением подается вода. **Сейчас этот способ рыхления постели является наиболее распространенным и применяется в концентраторах «Кнельсон», «Falkon», «Итомак».**

Главным недостатком этих концентраторов являются высокие требования к чистоте воды, чтобы не забивались отверстия в чаше. Именно поэтому аппараты с плавающей постелью не используются в старательских артелях и в местах, удаленных от чистой воды.

Также, по мнению ЗАО «Механобр-Инжиниринг» и ОАО «Иргиредмет», концентраторы с «плавающей постелью» **не могут одновременно улавливать зерна тяжелых минералов разных классов крупности и формы**, т.к. настройка давления во внутренней водяной «рубашке» разрыхляющей воды необходима на каждый класс.[35, 36]. Это объясняется тем, что в улавливающих канавках чаши концентраторов классифицирующего типа минеральная постель под действием струек встречной разрыхляющей воды загрубляется, ее гранулометрический состав постепенно меняется за счет вымывания тонких, мелких и плоских частиц.

В концентраторах других типов для рыхления постели чаша колеблется (ротационные сепараторы «РС» и «бегущая волна») или вибрирует (сегрегационные: центробежно-вибрационные концентраторы ЦВК, ЦВКП) и др.

В сегрегационных концентраторах разделение происходит в результате взаимодействия на каждую частицу центробежных сил от раскручивания пульпы и высокочастотных вибраций чаши, регулируемых как по частоте, так и по амплитуде колебаний, создающих эффект отсадки. В результате сегрегации «эффект отсадки» создаются условия для проникновения мелких и тонких тяжелых частиц через зазоры между крупными легкими частицами и вытеснения последних из канавок чаши. Более подробно этот механизм рассмотрен в разделе 2.1.3.

В данном разделе марки концентраторов приведены по алфавиту.

CCFB - Flexy-Bowl – центробежный концентратор с плавающей постелью (рис. 1) производства Alluvial Pacific (Австралия).

Разрыхление материала обеспечивается благодаря давлению роликов на чашу из эластичного материала, которая из-за контакта с роликами постоянно меняет свою форму.

Концентратор с таким принципом разрыхления материала был изготовлен и испытан ранее фирмой ОАО «Полиметалл» (см. далее ЦКПП-центробежный концентратор с плавающей постелью).

По сути *CCFB - Flexy-Bowl* – это старательская модель. Технические характеристики аппарата представлены в *Приложении 4*.

Рисунок 1. Внешний вид центробежного концентратора с плавающей постелью *CCFB - Flexy-Bowl*



Источник: данные компании

Falcon – центробежные концентраторы канадской фирмы Serpo

Falcon – второй по популярности использования в России импортный центробежный концентратор (рис.2).

Разрыхление постели производится напорными струями воды, поступающими из отверстий в стенках чаши. Выпускается несколько типов (серий) концентраторов:

Falcon серии С – центробежный концентратор для извлечения минеральных частиц крупностью до 10 микрон, центробежное поле – до 300 G.

Falcon серии SB – это машины полупериодического действия, так как питание во время цикла работы подается в них постоянно, однако выпуск концентрата осуществляется периодически, во время цикла промывки.

Рисунок 2. Центробежные концентраторы Falcon в сборочном цехе завода Serpo в Канаде



Источник: данные предприятия

Falcon серии UF – основная задача концентратора – это улавливание ультратонких минеральных частиц (до 3 мкм за счет центробежной силы до 600 G), которые обычно теряются вместе со шламами фабрики. Концентратор серии UF лучше работает на потоках с низким содержанием твердого на материале крупностью менее 100 мкм, стандартно таким условиям соответствует слив обесшламливающего гидроциклона.

iCON – центробежный концентратор небольшой производительности для индивидуального пользования (Individual Concentrator) (*технические характеристики см. Приложение 6.*)