



## К ЮБИЛЕЙНЫМ ДАТАМ

УДК 338.32.053.4

<https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-1-125-136>



# Опыт работы Иркутского завода тяжелого машиностроения на рынке горно-обогатительного оборудования

Я.В. Мовшович<sup>а</sup>, А.В. Кулешов<sup>б</sup>, А.Е. Бурдонов<sup>с</sup>, Ю.В. Новиков<sup>д</sup>

<sup>а,б</sup>ООО «ИЗТМ-Инжиниринг», г. Иркутск, Россия

<sup>с,д</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

**Резюме.** Статья посвящена опыту работы Иркутского завода тяжелого машиностроения (ИЗТМ, ныне ООО «ИЗТМ-Инжиниринг») в честь его 115-летия. За это время ИЗТМ прошел путь от мастерской для снабжения армии, сельскохозяйственного и механического завода до одного из крупнейших машиностроительных заводов России с полным циклом производства на территории Содружества Независимых Государств. Развитие на предприятии научной базы позволяет автоматизировать однотипные задачи, а также модернизировать оборудование с целью повышения его технологических показателей. В работе проанализированы результаты деятельности предприятия. Рассмотрена линейка производимого оборудования, пути его совершенствования и модернизации. Отличительной особенностью ИЗТМ является наличие мощностей литейного производства. В литейных цехах проводят плавку, формовку и термообработку продукции. Ключевым звеном, способствующим развитию предприятия, является конструкторское бюро, постоянно находящееся в поиске новых решений, которые наилучшим образом удовлетворяют потребности заказчиков в отношении промышленной и экономической эффективности, безопасности, надежности и срока службы проектируемого оборудования. Конструкторское бюро ИЗТМ использует современные средства конструирования оборудования и моделирования технологических процессов для последующего расчета технико-конструкционных параметров сгустительного оборудования, обеспечивающего высокую производительность, а также безопасную и эффективную эксплуатацию. На сегодняшний день на предприятии налажен серийный выпуск горно-обогатительного, шахтного и металлургического оборудования. Оборудование ИЗТМ работает более чем в 20 странах мира. Заказчиками завода являются крупнейшие компании, занятые на территории Российской Федерации в сфере горного дела, металлургии и нефтедобывающего производства.

**Ключевые слова:** Иркутский завод тяжелого машиностроения, обогащение, оборудование, машиностроение, сгущение, радиальный сгуститель, моделирование

**Для цитирования:** Мовшович Я.В., Кулешов А.В., Бурдонов А.Е., Новиков Ю.В. Опыт работы Иркутского завода тяжелого машиностроения на рынке горно-обогатительного оборудования // Науки о Земле и недропользование. 2023. Т. 46. № 1. С. 125–136. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-1-125-136>.

## ANNIVERSARIES

# Irkutsk heavy engineering plant experience in the market of mining and processing equipment

Yan V. Movshovich<sup>а</sup>, Aleksey V. Kuleshov<sup>б</sup>, Alexander E. Burdonov<sup>с</sup>, Yury V. Novikov<sup>д</sup>

<sup>а,б</sup>Industrial Association "Irkutsk Heavy Machinery Plant", Irkutsk, Russia

<sup>с,д</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

**Abstract.** The article celebrates the 115<sup>th</sup> anniversary of the Irkutsk heavy engineering plant (IHEP) and describes its operation experience. During this time, IHEP worked its way up from a workshop supplying the army, an agricultural and mechanical plant to one of the largest Russian machine-building plants with a full production cycle in the Commonwealth of Independent States. The scientific base developed at the enterprise makes it possible to automate the same type tasks, as well as to upgrade equipment in order to improve its technological performance. The article analyzes the operation results of the enterprise. A consideration is given to the line of manufactured equipment, its improvement and modernization methods. A distinctive feature of IHEP is the availability of foundry facilities, which carry out melting, molding and heat treatment of products. A key element contributing to the development of the enterprise is the design office, which is constantly in search of new solutions that best meet the needs of customers in terms of industrial and economic efficiency,

© Мовшович Я.В., Кулешов А.В., Бурдонов А.Е., Новиков Ю.В., 2023



safety, reliability and service life of the designed equipment. The IHEP Design Bureau uses modern tools for equipment design and flow processes modeling for subsequent calculation of the technical and design parameters of thickening equipment, which ensures high performance, as well as safe and efficient operation. Today, the enterprise has launched a serial production of mining and processing equipment, as well as mine machinery and metallurgical equipment. IHEP equipment is supplied to more than 20 countries around the world. The plant's customers are the largest companies of the Russian Federation, which operate in the field of mining, metallurgy and oil production.

**Keywords:** Irkutsk heavy engineering plant, concentration, equipment, machine-building, thickening, radial thickener, simulation

**For citation:** Movshovich Ya.V., Kuleshov A.V., Burdonov A.E., Novikov Yu.V. Irkutsk heavy engineering plant experience in the market of mining and processing equipment. *Nauki o Zemle i nedropol'zovanie = Earth sciences and subsoil use*. 2023;46(1):125-136. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-1-125-136>.

## Введение

Отрасль по производству горно-обогачительного оборудования включает широкий спектр машин, используемых при разработке и обогащении руд цветных и благородных металлов [1, 2], углей [3] и химического сырья. На сегодняшний день на территории Российской Федерации расположено более 20 крупных предприятий по производству обогачительного оборудования. Крупнейшими производителями являются такие компании, как ОАО «Машиностроительный завод Труд», ЗАО «ИТОМАК», НПК «Механобр-техника», ООО «ПКФ Тульские машины», ООО УК «УЗТМ-КАРТЭКС», АО «Тяжмаш», ООО «ИЗТМ-Инжиниринг» (Иркутский завод тяжелого машиностроения, ИЗТМ), ЗАО «Дробмаш» и другие [4–7]. Лидером же производства за 2020 г. считается Южный федеральный округ, на долю которого в тот период приходилось около 80 % от общего произведенного объема.

На протяжении последних нескольких лет наблюдается как спад, так и подъем производства машин для сортировки, грохочения, сепарации или промывки грунта, камня, руды и прочих минеральных веществ. В 2020 г. в России было произведено около 7000 машин для предприятий по переработке минеральных веществ, что на 5,3 % меньше объема производства предыдущего года.

Существующая динамика обусловлена последствиями распространения новой коронавирусной инфекции (COVID-19) в силу вводимых карантинных мероприятий, временного снижения инвестиционной активности, увеличения сроков проработки проектов, логистических проблем из-за закрытия международных границ [8, 9].

Следует отметить, что в 2021 г. отложенная деловая активность была реализована

наращиванием объемов производства, вследствие чего наблюдалось значительное увеличение спроса на машиностроительную продукцию до 30 % по сравнению с предшествующим периодом. Данный факт обусловлен ограничением поставок из-за рубежа, в частности из Китая, в связи с закрытием международных границ, вводом в эксплуатацию новых месторождений, а также уходом с рынка части иностранных производителей.

На основании анализа данных из открытых источников установлено, что доля импортной продукции на российском рынке составляет около 27 %. Доля экспорта в объеме внутреннего производства на рынке производства составляет не более 10 %.

Учитывая значительный спектр производимого обогачительного оборудования, каждое из указанных выше предприятий имеет свои особенности и уникальный ассортимент выпускаемой продукции. На основе анализа их деятельности направления, в которых работают данные организации, можно классифицировать по следующим позициям:

- оборудование для дробления и измельчения минерального сырья [10];
- оборудование для гравитационного обогащения [11, 12];
- флотационное оборудование [13];
- оборудование для сгущения пульп и осветления сточных вод [14];
- иное оборудование.

Значительную долю рынка из представленного перечня составляет оборудование для сгущения пульп и осветления сточных вод. Основными производителями в данном сегменте являются ООО «ИЗТМ-инжиниринг» (г. Иркутск) и ОАО «Машиностроительный завод Труд» (г. Новосибирск). Среди иностранных производителей можно выделить компании



Metso Outotec Oyj (Финляндия) и FLSmidth & Co. A/S (Дания) [15, 16].

В данной работе представлен опыт ИЗТМ в области конструирования, производства и автоматизации радиальных сгустителей, а также иного обогатительного оборудования.

### История предприятия

Исторически машиностроительное направление Иркутской области производило около 11 % продукции для общероссийского рынка. Более 90 % выпускаемой продукции вывозилось за пределы области, и лишь несколько заводов региона были ориентированы на собственные нужды. Именно таковым предприятием являлся ИЗТМ [17].

Первые сведения о деятельности ИЗТМ относятся к 1 января 1907 г. [18]. В тот год в Иркутске открылись механические обозные мастерские, основной деятельностью которых являлось снабжение российской армии. В 1912 г. к мастерским присоединили частный завод по литью чугуна. В 1920 г. предприятие было передано из военного ведомства в Иркутский губернский совет народного хозяйства, по инициативе которого 16 марта 1920 г. оно было переименовано в Сельскохозяйственный завод и стало наряду с продукцией для военного ведомства выпускать сельхозинвентарь.

2 ноября 1928 г. мастерские постановили передать обществу «Добролет» с целью оборудования авиаремонтных мастерских. Правда, всего через несколько месяцев, 14 марта 1929 г., между обществом «Добролет» и акционерным обществом «Союззолото» был заключен договор, по которому мастерские переходили в ведение «Союззолота». Чуть позже, 6 апреля того же года, было принято постановление об организации «...завода на основе самостоятельной производственной единицы «Союззолото», работающей на хозрасчете и под непосредственным подчинением правлению «Союззолото»». Вскоре после этого акционерным обществом было принято положение об Иркутском механическом заводе<sup>1</sup>.

После вхождения в систему «Союззолото» предприятие сосредоточилось на выпуске оборудования для золотодобывающей промышленности, что и определило дальнейший вектор его развития. Завод строился быстрыми темпами: открывались новые цеха, вводились в эксплуатацию новые корпуса. В 1930 г. Иркутскому механическому заводу было присвоено имя выдающегося государственного и партийного деятеля В.В. Куйбышева. На тот момент на предприятии начался выпуск различного бурового оборудования, скреперов, мониторов, труб и гидравлических устройств. Кроме того, в задачу завода входило капитальное устройство компрессоров перфораторов и рудничных механизмов<sup>2</sup> [18].

Главной продукцией завода всегда было и по сей день остается дражное оборудование. В 1930 г. в эксплуатацию был введен механический цех и завод приступил к выпуску паровых драг емкостью 150 литров, в связи с чем прирост продукции предприятия увеличился на 15,3 % [8].

25 октября 1941 г. завод перешел в ведение Народного комиссариата тяжелого машиностроения СССР и получил новое название – Иркутский завод тяжелого машиностроения имени В.В. Куйбышева<sup>3</sup>. В годы войны завод, как и большинство предприятий страны, был ориентирован на снабжение армии и флота. В ноябре этого же года на предприятие прибыло оборудование Старокраматорского завода тяжелого машиностроения, эвакуированного из Донбасса.

В первые послевоенные годы предприятие занималось разработкой и выпуском новых типов драг, намоточных аппаратов, волочильных станков, двухленточной разливной машины, грохотов типа «Джайрекс». Дальнейшее развитие предприятия сопровождалось производством новых электрических драг, классификаторов, сгустителей, перекидных систем для мартеновских печей, прокатного и металлургического оборудования, а также различных гидромеханизмов. Значительная часть производимой продукции была усовершенствована и производится по сей день.

<sup>1</sup> История // Иркутский завод тяжелого машиностроения [Электронный ресурс]. URL: <http://iztm.ru/about/istoriya/> (30.05.2022).

<sup>2</sup> Там же.

<sup>3</sup> Там же.



В 1960–1980-е гг. на предприятии строились новых цеха и происходила модернизация производства. Сложившаяся в отрасли машиностроения специализация завода в основном сохранялась и была представлена производством машин для горного дела, черной и цветной металлургии.

С 1971 г. стала возрастать роль обогатительного оборудования, выпуск которого в то время получил мощный импульс. Происходила модернизация продукции, были созданы новые типы специализированных классификаторов для нерудной промышленности. Типаж сгустителей увеличился с 6 типоразмеров до 19. Основное внимание при разработке обогатительного оборудования уделялось увеличению производительности, усилению надежности и упрощению кинематических схем.

В течение следующих 30 лет предприятие являлось одним из важнейших поставщиков горно-обогатительного и металлургического оборудования в стране. В 1992 г. оно было преобразовано в ОАО «Иркутский завод тяжелого машиностроения». Вследствие экономической нестабильности в стране на предприятии была остановлена значительная часть производства. Тем не менее оно вело активную деятельность и с 1997 г. поставило на рынок более двух десятков обогатительных приборов КОУ 1200 «Ромашка». В 2012 г. им был получен первый заказ на изготовление металлоконструкций для космодрома «Восточный»<sup>4</sup>.

На сегодняшний день ООО «ИЗТМ-Инжиниринг» является одним из крупнейших машиностроительных предприятий Российской Федерации. В 2022 г. ему исполнилось 115 лет.

### Продукция

В настоящее время производственные мощности в Иркутске позволяют изготавливать более 7000 т продукции в год<sup>5</sup>. Сфера деятельности рассматриваемого предприятия охватывает полный цикл создания в первую очередь горно-обогатительного, металлургического и шахтного оборудования: это разработка проектной документации, выбор техно-

логий, изготовление, контроль качества, а также поставка и пуско-наладочные работы. На сегодняшний день ИЗТМ выпускается более 50 видов различного оборудования для горно-обогатительной и металлургической отраслей<sup>6</sup>:

- дражное оборудование;
- промывочное оборудование;
- горно-обогатительное оборудование (радиальные и пластинчатые сгустители, спиральные классификаторы, контактные чаны, зумпфы и питатели) (рис. 1);
- оборудование для металлургии и коксохимического производства (доменное оборудование, сталеплавильное, разливные машины, затворы, специальный рельсовый транспорт и др.).

Помимо непосредственного производства оборудования предприятие имеет мощности литейного производства. В литейных цехах проводят плавку, формовку и термообработку продукции.

### Развитие производства

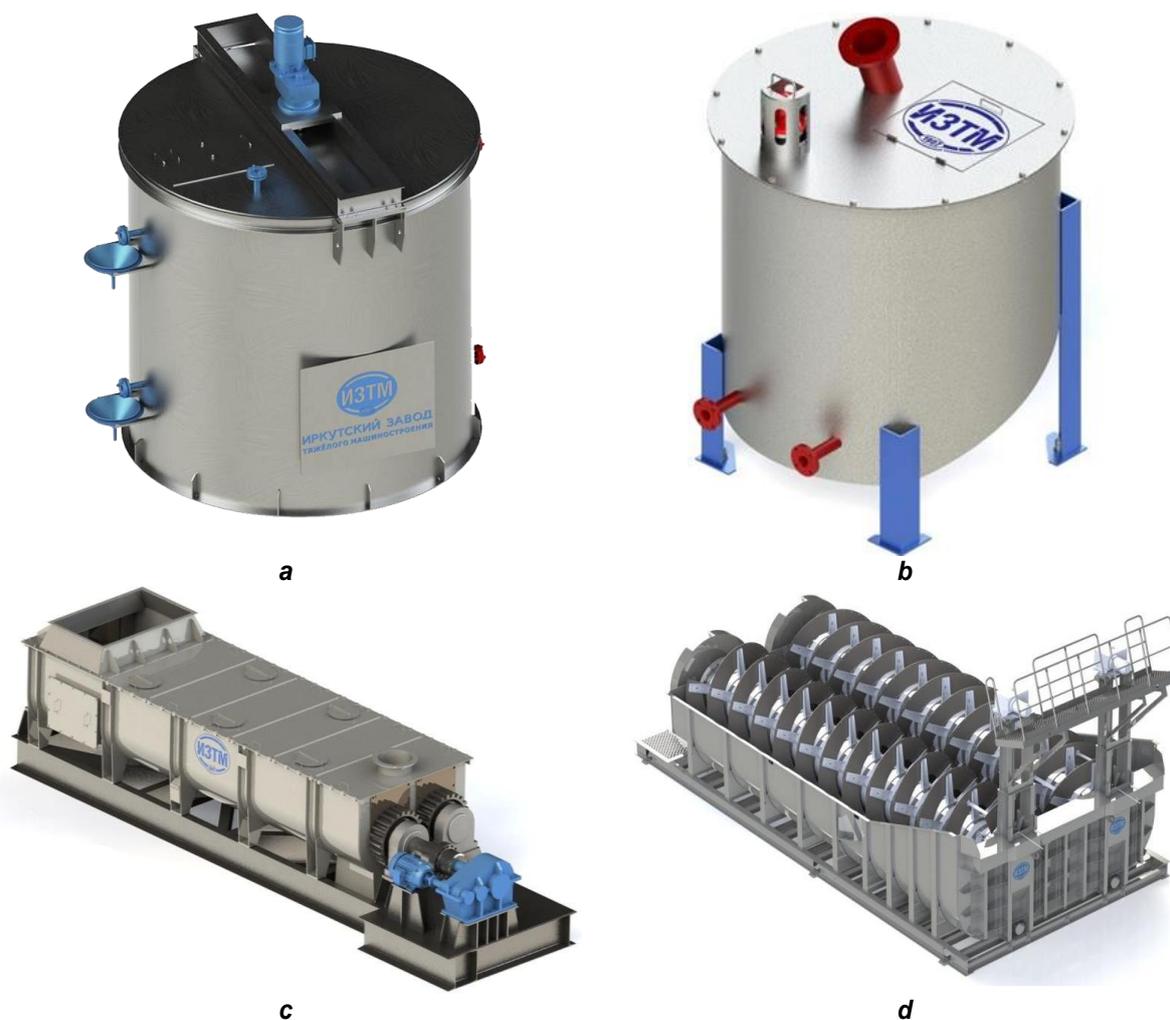
На данный момент общая численность ИЗТМ составляет около 600 человек, из них 60 сотрудников, в том числе около 30 конструкторов, относятся к инженерному персоналу.

Ключевым звеном, способствующим развитию предприятия, является конструкторское бюро, постоянно находящееся в поиске новых решений, которые наилучшим образом удовлетворяют потребности заказчиков в отношении промышленной и экономической эффективности, безопасности, надежности и срока службы проектируемого оборудования. На сегодняшний день конструкторское бюро ИЗТМ использует современные средства конструирования оборудования и моделирования технологических процессов с целью последующего расчета технико-конструкционных параметров сгустительного оборудования, обеспечивающего высокую производительность, а также безопасную и эффективную эксплуатацию (рис. 2).

<sup>4</sup> История // Иркутский завод тяжелого машиностроения [Электронный ресурс]. URL: <http://iztm.ru/about/istoriya/> (30.05.2022).

<sup>5</sup> Новости // Иркутский завод тяжелого машиностроения [Электронный ресурс]. URL: <http://iztm.ru/press-tsentr/novosti/> (30.05.2022).

<sup>6</sup> Там же.



**Рис. 1. Модели оборудования для горно-обогатительной индустрии:**

*a – контактный чан; b – зумпф; c – шнековый смеситель; d – двуспиральный классификатор*

**Fig. 1. Equipment designs for mining and processing industry:**

*a – conditioning tank; b – sump; c – screw mixer; d – double-spiral classifier*

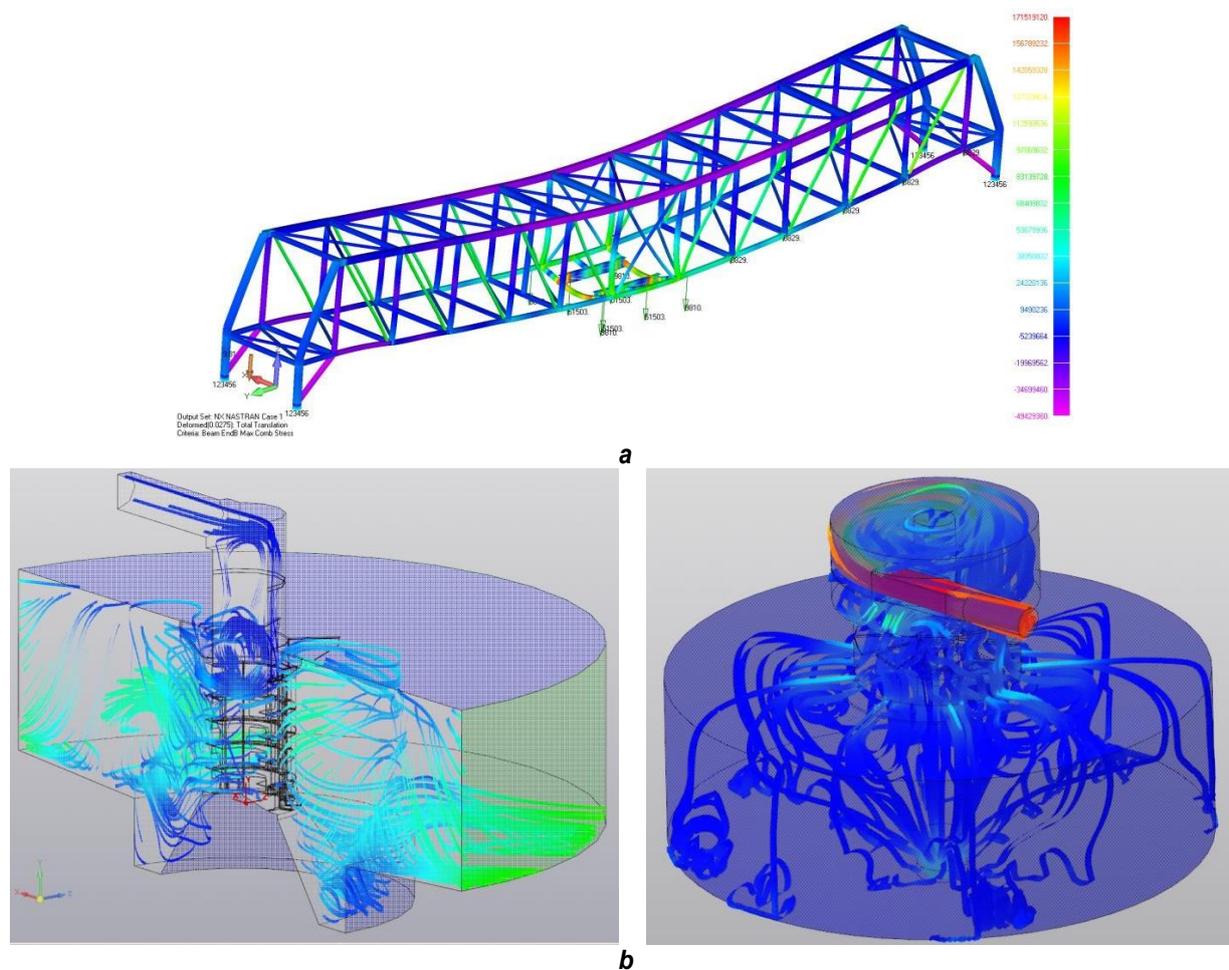
Предприятие активно взаимодействует с Иркутским национальным исследовательским техническим университетом (ИРНИТУ). Студенты университета, обучающиеся на самых различных специальностях, регулярно проходят на ИЗТМ ознакомительную и производственную практику. Часть обучающихся после окончания университета трудоустраивается на предприятии.

В ИРНИТУ, в том числе при поддержке ИЗТМ, в настоящее время реализуется программа дополнительной подготовки «Инженер-конструктор». Данная программа позволит получить подготовленных специалистов с учетом специфики предприятия, а также покрыть кадровые запросы компании в связи с увеличением объемов производства.

На сегодняшний день ИЗТМ занимается

разработкой новых видов оборудования, а также совершенствованием существующего оборудования с использованием систем моделирования (модернизация загрузочного коллодца сгустителя). Особое внимание уделяется разработке электромеханического привода радиального сгустителя с изготовлением более 90 % узлов на собственных мощностях, а также интеграцией в сложные автоматизированные системы управления.

Оборудование ИЗТМ применяется на производственных площадках крупнейших горно-обогатительных и металлургических предприятий, таких как ПАО «ГМК «Норильский никель»», ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», международная компания EVRAZ plc, АО «РУСАЛ», АК «АЛРОСА», ПАО «Лензолото», АО «СУСУМАНЗОЛОТО», ПАО «Мечел» и др.



**Рис. 2. Примеры использования программных комплексов:**

- a* – моделирование напряженно-деформированного состояния конструкций сгустителя;  
*b* – моделирование процессов гидродинамики в загрузочном колодце сгустителя

**Fig. 2. Examples of using software systems:**

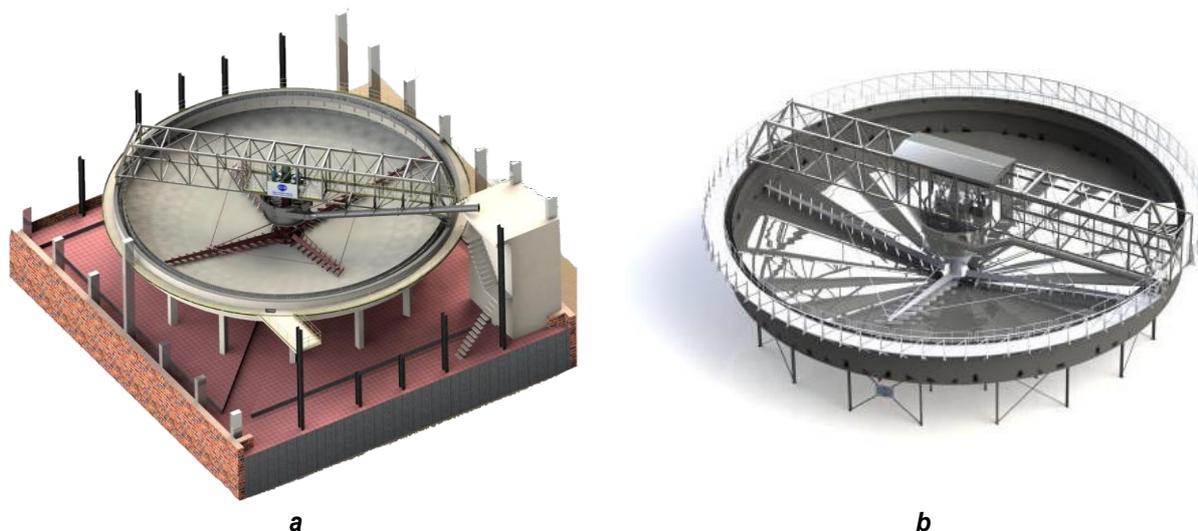
- a* – simulation of the stress-strain state of thickener designs;  
*b* – simulation of hydrodynamic processes in the thickener feedwell

### Производство сгустителей

Более 20 % всей выпускаемой продукции ИЗТМ приходится на производство сгустителей. В данный класс оборудования входят сгустители и отстойники как с центральным, так и с периферическим приводом. Диаметр радиальных сгустителей, выпускаемых предприятием, варьирует от 3 до 100 м (рис. 3). Для рациональной и эффективной работы сгустителей в процессе их эксплуатации на предприятии производится индивидуальный подбор оборудования под каждый вид материала. Ко всему прочему, ИЗТМ осуществляет полное сопровождение проектов в области сгущения пульпы и осветления сточных вод различных отраслей промышленности (обогащение, металлургия, химическая промышленность).

С 2017 г. на предприятии производится успешная глубокая модернизация действующего

обогащительного оборудования, а именно радиальных сгустителей. В основе модернизации предусмотрено принципиальное изменение типа привода (с периферического на центральный) и установка нового комплекта всех механических узлов с высокой степенью производительности. Это и улучшенная система загрузочного колодца, и эффективная приводная часть, оснащенная не только системами вращения, но и механизмами подъема перегребающего устройства. Это также интеграция оборудования сгустителя в автоматизированную систему управления технологическим процессом фабрик и контроль технологических параметров в автоматическом режиме. В результате модернизации производственные показатели увеличиваются на объемы, составляющие до 30–50 % от первоначальных.



**а** **б**  
**Рис. 3. Модели радиальных сгустителей:**  
*а – с железобетонным чаном; б – с металлическим чаном*  
**Fig. 3. Radial thickener models:**  
*а – with a reinforced concrete tank; б – with a metal tank*

ИЗТМ в своем оборудовании использует не только редукторы собственного производства, но также и современные планетарные мотор-редукторы отечественного и зарубежного производства (Италия). Данные комплектующие отличаются более высоким коэффициентом полезного действия и лучшей энергоэффективностью.

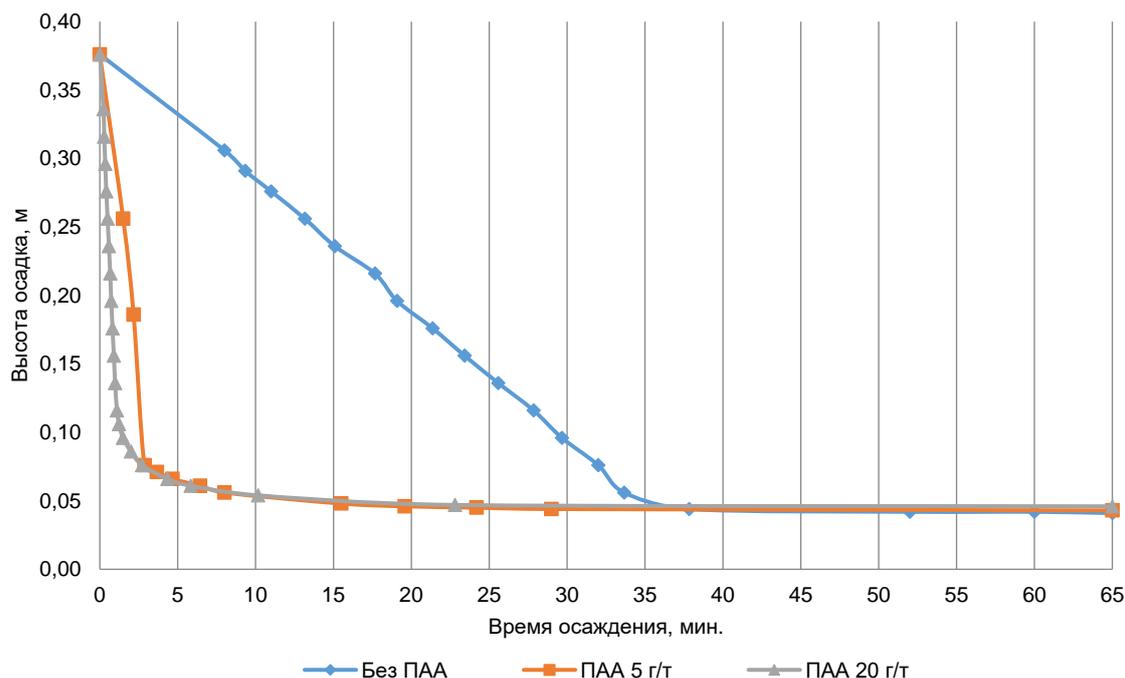
С 2018 г. ИЗТМ совместно с Научно-исследовательским институтом по удобрениям и инсектофунгицидам им. проф. Я.В. Самойлова группы компаний «ФосАгро» изучает возможность внедрения технологии тонкослойного сгущения в радиальных сгустителях (как действующих, так и новых) с целью увеличения площади осаждения, улучшения чистоты слива, а также снижения потребления флокулянтов. В рамках данного сотрудничества было произведено несколько вариантов промышленных установок и проведены эксперименты на фабрике «ФосАгро» в г. Балаково, получены положительные результаты эксперимента. Ведется дальнейшая деятельность по разработке оборудования.

### Исследования

ИЗТМ проводит комплекс лабораторных и полупромышленных исследований с целью подбора типоразмера сгустителя, а также разработки рекомендаций по ведению технологического процесса. В структуру предприятия входит исследовательская лаборатория по

изучению качественно-количественных характеристик концентратов и хвостов. В процессе исследований используется уникальная установка по исследованию процесса сгущения пульпы, сконструированная с учетом особенностей производимого на ИЗТМ оборудования.

В рамках развития производства ИЗТМ также ведет взаимодействие с ИРННТУ. На кафедре обогащения полезных ископаемых и охраны окружающей среды им. С.Б. Леонова ИРННТУ проводятся исследования по эффективности расслоения суспензий в сгустительном оборудовании. В ходе данных исследований осуществляется изучение особенностей гранулометрического состава и формы частиц с использованием лазерного анализатора частиц Analysette-22 NanoTec plus, также с использованием двухлучевого сканирующего микроскопа (многолучевая система) JIB-4500, оснащенного электронной пушкой LaB6, выполняется дальнейший анализ и расчет влияния данных характеристик на процессы осаждения и уплотнения. Помимо прочего, на лабораторных установках ведутся работы по статическому и динамическому сгущению, в том числе подбор реагентного режима с использованием флокулянтов различных производителей (рис. 4). Проводимые исследования позволяют значительно повысить качество подбора технико-технологических параметров проектируемого оборудования.



**Рис. 4. Пример результатов исследований по изучению влияния флокулянта на скорость осаждения твердых частиц**

**Fig. 4. An example of research results on the study of a flocculant effect on solid particle settling rate**

### Выбор основных параметров оборудования

Для расчета конструктивных параметров сгустителей на основании полученных данных используется программное обеспечение «Расчет сгустителя» (свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2022616114)<sup>7</sup>, разработанное совместно сотрудниками ИЗТМ и ИРНТУ.

Разработанная программа (рис. 5) предназначена для облегчения работы инженера-проектировщика при расчете параметров радиальных сгустителей. Данный программный продукт позволяет быстро и качественно производить расчет оптимальных параметров сгустителя. В него заложена база данных исследований по сгущению различных материалов, наработанная организациями, что при отсутствии части входных характеристик материала позволяет выбрать схожий продукт и произвести расчет скорости осаждения. Также в нем имеется функция по расчетному определению скорости осаждения на основе

закона Стокса, при осуществлении которого, как известно, учитываются гранулометрические характеристики материала и гидродинамические и температурные свойства среды, в которой происходит осаждение частиц. В результате происходит формирование отчета с указанием исходных данных по перерабатываемому сырью, включающего полный технологический расчет. В дальнейшем планируется совершенствование программного продукта и добавление в него математической модели осаждения частиц в пристенном слое сгустителя, что повысит точность технологических данных и позволит спроектировать оптимальную конструкцию оборудования.

### Заключение

ИЗТМ имеет непростую, но в то же время очень интересную историю. За 115 лет данное предприятие из мастерской выросло в одну из крупнейших компаний России, и сегодня ООО «ИЗТМ-Инжиниринг» объединяет современные возможности производства и нако-

<sup>7</sup> Бурдонов А.Е., Жошкин В., Лукьянов М.Г., Лукьянов Н.Д., Мовшович Я.В. Расчет сгустителей (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2022616114, 05.04.2022). Заявка № 2022611048 от 26.01.2022.



File Edit View Window Help

Наименование предприятия

Назначение оборудования

Производительность по твердому

 т/ч

Скорость осаждения

Значение по таблице [Выбрать](#)  Произвольное значение  Расчетное по Стоксу

см/с  см/с  см/с

Содержание твердого в питании  г/л

Содержание твердого в сгущенном продукте  г/л

Количество сгустителей  шт.

Плотность твердого  г/см<sup>3</sup>

Диаметр сгустителя  м

Высота сгустителя  м



Рис. 5. Интерфейс программного продукта «Расчет сгустителя»  
Fig. 5. Interface of the "Thickener calculation" software product

пленный научно-технический потенциал. В настоящее время предприятие предлагает комплекс технологических решений для реализации проектов в горно-обогатительном кластере, черной и цветной металлургии и смежных отраслях. Показателем развития ИЗТМ

является выпуск нового оборудования и конструкторский решений. Развитие научной базы на заводе позволяет автоматизировать однотипные задачи, а также модернизировать оборудование с целью повышения его технологических показателей.

#### Список источников

1. Fiscor S., Leonida C., Jensen J., Morton J. MIN-Expo is Back: Mining suppliers and service providers plan to showcase the latest in mining and mineral processing equipment and technology // Coal Age. 2021. Vol. 126. Iss. 6. P. 28–39.

2. Li Z., Liu X. Talking about the damage analysis and processing technology improvement method of a coal mining equipment walking mechanism in Shendong coal mine // 2020 International Conference on Artificial Intelligence and Electromechanical Automation. 2020. P. 569–572. <https://doi.org/10.1109/AIEA51086.2020.00127>.

3. Васильева М.А. Тенденции развития насосного оборудования горно-обогатительных предприятий (обзор) // Обогащение руд. 2019. № 1. С. 51–56. <https://doi.org/10.17580/or.2019.01.08>.

4. Алгебраистова Н.К., Макшанин А.В., Бурдакова

Е.А., Самородский П.Н., Маркова А.С. Разработка стадийной гравитационной схемы извлечения благородных металлов // Обогащение руд. 2015. № 2. С. 3–7.

5. Вайсберг Л.А., Коровников А.Н., Трофимов В.А. Модернизация технологических циклов грохочения на основе инновационного оборудования (к 100-летию института «Механообр») // Горный журнал. 2017. № 1. С. 11–17. <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.01.02>.

6. Кулешов А.В., Еремеев В.К. Особенности расчета на прочность литых и сварных несущих конструкций тележки шлаковоза/чугуновоза // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 3. С. 24–31.

7. Плакиткина Л.С., Плакиткин Ю.А., Дьяченко К.И. Оценка производственного потенциала отечественных машиностроительных предприятий для реализации



программы импортозамещения в угольной отрасли // Уголь. 2021. № 1. С. 34–42. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-1-34-42>.

8. Zimmerling A., Chen X. Innovation and possible long-term impact driven by COVID-19: manufacturing, personal protective equipment and digital technologies // *Technology in Society*. 2021. Vol. 65. P. 101541. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101541>.

9. Jain P.K. Impact of lockdown on the mining industry in India // *Mineral Economics*. 2021. Vol. 34. Iss. 2. P. 331–335. <https://doi.org/10.1007/s13563-021-00263-6>.

10. Майоров С.А., Лагунова Ю.А. Достоинства и недостатки мобильных дробилок // Горное оборудование и электромеханика. 2019. № 3. С. 18–26. <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2019-3-18-26>.

11. Пелих В.В., Салов В.М., Бурдонов А.Е., Лукьянов Н.Д. Применение Knelson CVD-технологии для обогащения золото-свинцовой руды // Обогащение руд. 2019. № 1. С. 3–11. <https://doi.org/10.17580/or.2019.01.01>.

12. Сенченко А.Е., Федотов К.В., Федотов П.К., Бурдонов А.Е. Технологическая оценка обогатимости руды гравитационными методами // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. № 4. С. 262–280.

13. Кондратьев С.А., Коваленко К.А. Крупность флотируемых частиц в импеллерных флотомашинах //

Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2021. № 2. С. 106–118. <https://doi.org/10.15372/FTPPI20210212>.

14. Смирнов А.В., Махлай К.А., Левченко О.В. Технологические аспекты работы современных отстойников // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2020. № 3. С. 55–63.

15. Арабаджи Я.Н., Оленников А.С., Курчуков А.М., Лихачева Т.А. Реконструкция оборудования отделения сгущения Талнахской обогатительной фабрики по технологии HRT компании Outotec // Цветные металлы. 2018. № 6. С. 38–43. <https://doi.org/10.17580/tsm.2018.06.05>.

16. Yuan Z.L., Li X.R., Wu D., Ban X.J., Wu N.-Q., Dai H.-N., Wang H. Continuous-time prediction of industrial paste thickener system with differential ODE-net // *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*. 2022. Vol. 9. Iss. 4. P. 686–698. <https://doi.org/10.1109/JAS.2022.105464>.

17. Салаев А.В. О состоянии, проблемах и перспективах минерально-сырьевой базы золота Иркутской области // Золото и технологии. 2017. № 4. С. 92–93.

18. Серебренникова Э.Г., Швец М.Г., Ластовская В.А. [и др.]. Первенец тяжелого машиностроения Восточной Сибири: очерк истории Иркутского Ордена Трудового Красного Знамени завода тяжелого машиностроения имени В.В. Куйбышева. М.: Мысль, 1983. 236 с.

## References

1. Fiscor S., Leonida C., Jensen J., Morton J. MIN-Expo is Back: Mining suppliers and service providers plan to showcase the latest in mining and mineral processing equipment and technology. *Coal Age*. 2021;126(6):28-39.

2. Li Z., Liu X. Talking about the damage analysis and processing technology improvement method of a coal mining equipment walking mechanism in Shendong coal mine. *2020 International Conference on Artificial Intelligence and Electromechanical Automation*. 2020;569-572. <https://doi.org/10.1109/AIEA51086.2020.00127>.

3. Vasilyeva M.A. An overview of development trends for the pumping equipment of mining and processing enterprises. *Obogashchenie rud*. 2019;1:51-56. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/or.2019.01.08>.

4. Algebraistova N.K., Makshanin A.V., Burdakova E.A., Samorodskii P.N., Markova A.S. Development of a stage gravity flowsheet for recovery of noble metals. *Obogashchenie rud*. 2015;2:3-7. (In Russ.).

5. Vaisberg L.A., Korovnikov A.N., Trofimov V.A. Innovative re-equipment of screening circuits (to commemorate the 100th anniversary of the Mekhanobr Institute). *Gornyi zhurnal*. 2017;1:11-17. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.01.02>.

6. Kuleshov A.V., Eremeev V.K. Strength calculation features of cast and welded bearing structures of slag-pot and hot-metal transfer carriers. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2016;3:24-31. (In Russ.).

7. Plakitkina L.S., Plakitkin Yu.A., Dyachenko K.I. Assessment of the production potential of domestic machine-

building companies for implementation of the import substitution program in the coal industry. *Ugol' = Russian Coal Journal*. 2021;1:34-42. (In Russ.). <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-1-34-42>.

8. Zimmerling A., Chen X. Innovation and possible long-term impact driven by COVID-19: manufacturing, personal protective equipment and digital technologies. *Technology in Society*. 2021;65:101541. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101541>.

9. Jain P.K. Impact of lockdown on the mining industry in India. *Mineral Economics*. 2021;34(2):331-335. <https://doi.org/10.1007/s13563-021-00263-6>.

10. Mayorov S.A., Lagunova Yu.A. Advantages and disadvantages of mobile crushers. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining Equipment and Electromechanics*. 2019;3:18-26. (In Russ.). <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2019-3-18-26>.

11. Pelikh V.V., Salov V.M., Burdonov A.E., Lukyanov N.D. Application of Knelson CVD technology for beneficiation of gold-lead ore. *Obogashchenie rud*. 2019;1:3-11. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/or.2019.01.01>.

12. Senchenko A.E., Fedotov K.V., Fedotov P.K., Burdonov A.E. Technological evaluation of ore processibility gravitational methods. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2020;4:262-280. (In Russ.).

13. Kondrat'ev S.A., Kovalenko K.A. Coarseness of particles in flotation in impeller-type cells. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2021;2:106-118. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/FTPPI20210212>.



14. Smirnov A.V., Makhlai K.A., Levchenko O.V. Technological aspects of modern thickener operation. *Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya*. 2020;3:55-63. (In Russ.).

15. Arabadzhi Ya.N., Olennikov A.S., Kurchukov A.M., Likhachova T.A. Thickening equipment modernization with supaflo process (Outotec) at Talnakh Concentrator. *Tsvetnye metally*. 2018;6:38-43. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/tsm.2018.06.05>.

16. Yuan Z.L., Li X.R., Wu D., Ban X.J., Wu N.-Q., Dai H.-N., Wang H. Continuous-time prediction of industrial

paste thickener system with differential ODE-net. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*. 2022;9(4):686-698. <https://doi.org/10.1109/JAS.2022.105464>.

17. Salaev A.V. On the state, problems and prospects of the mineral resource base of gold in the Irkutsk region. *Zoloto i tekhnologii*. 2017;4:92-93. (In Russ.).

18. Serebrennikova E.G., Shvets M.G., Lastovskaya V.A., et al. The pioneer of heavy engineering in Eastern Siberia: an essay on the history of the Irkutsk Order of the Red Banner of Labor Heavy Engineering Plant named after V.V. Kuibyshev. Moscow: Mysl'; 1983. 236 p. (In Russ.).

### Информация об авторах / Information about the authors



**Мовшович Ян Вячеславович,**

заместитель коммерческого директора –  
руководитель направлений «Горно-обогатительное оборудование»,  
«Горно-шахтное оборудование», «Металлоконструкции»,  
ООО «ИЗТМ-Инжиниринг»,  
г. Иркутск, Россия,  
[myan@iztm.ru](mailto:myan@iztm.ru)

**Yan V. Movshovich,**

Deputy Commercial Director – Head of directions of "Mining and Processing Equipment", "Mining Equipment", "Metal Structures", Industrial Association "Irkutsk Heavy Machinery Plant", Irkutsk, Russia, [myan@iztm.ru](mailto:myan@iztm.ru)



**Кулешов Алексей Владимирович,**

начальник конструкторского бюро обогатительного оборудования,  
ООО «ИЗТМ-Инжиниринг»,  
г. Иркутск, Россия,  
[kualeksey@iztm.ru](mailto:kualeksey@iztm.ru)

**Aleksey V. Kuleshov,**

Head of the Design Bureau of Processing Equipment, Industrial Association "Irkutsk Heavy Machinery Plant", Irkutsk, Russia, [kualeksey@iztm.ru](mailto:kualeksey@iztm.ru)



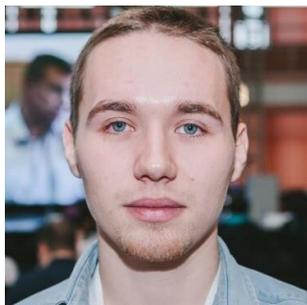
**Бурдонов Александр Евгеньевич,**

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры обогащения полезных ископаемых  
и охраны окружающей среды им. С.Б. Леонова,  
Институт недропользования,  
Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск, Россия,  
[slimbul@inbox.ru](mailto:slimbul@inbox.ru)

<https://orcid.org/0000-0001-5298-445X>

**Alexander E. Burdonov,**

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,  
Associate Professor of the Department of Mineral Processing and Environmental Protection named after S.B. Leonov, Institute of Subsoil Use, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia, [slimbul@inbox.ru](mailto:slimbul@inbox.ru)  
<https://orcid.org/0000-0001-5298-445X>



**Новиков Юрий Витальевич**,  
аспирант,  
Институт недропользования,  
Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск, Россия,  
✉ 89500505553r@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0001-5038-0628>  
**Yury V. Novikov**,  
Postgraduate Student,  
Institute of Subsoil Use,  
Irkutsk National Research Technical University,  
Irkutsk, Russia,  
✉ 89500505553r@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0001-5038-0628>

#### **Вклад авторов / Contribution of the authors**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
The authors contributed equally to this article.

#### **Конфликт интересов / Conflict of interests**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare no conflicts of interests.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*  
*The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.*

#### **Информация о статье / Information about the article**

Статья поступила в редакцию 16.01.2023; одобрена после рецензирования 21.02.2023; принята к публикации 06.03.2023.

The article was submitted 16.01.2023; approved after reviewing 21.02.2023; accepted for publication 06.03.2023.