

УДК 622.271.1

Васюта Алексей Дмитриевич

аспирант, младший научный сотрудник,
лаборатория разработки россыпных
месторождений,
Хабаровский федеральный
исследовательский центр ДВО РАН,
680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева 51
e-mail: vasyuta.aleksey.igd@gmail.com

Журавлев Кирилл Аркадьевич

аспирант, инженер, лаборатория разработки
россыпных месторождений,
Хабаровский федеральный
исследовательский центр ДВО РАН

**АНАЛИЗ РАБОТЫ ШЛЮЗОВЫХ
ПРОМЫВочНЫХ ПРИБОРОВ
И ОЦЕНКА ИХ ЭНЕРГОЕМКОСТИ***Аннотация:*

В настоящее время недропользователи для сохранения и наращивания объемов добычи металла вынуждены вовлекать в отработку труднообогатимые, а также техногенные россыпи, содержащие в основном золото мелких классов и требующие для его извлечения более эффективные обогатительные аппараты.

Процесс обогащения на россыпных месторождениях сопровождается перекачкой больших объемов технологической воды. В среднем при обогащении песков на промприборах отношение Т:Ж составляет от 1:10 до 1:20, поэтому подача воды на промприбор является самым энергоемким звеном при обогащении золотосодержащих песков и составляет от 60 до 100 % всей энергоемкости работы прибора.

Разработаны и внедрены высокоэффективные промприборы скрубберно-бочечного типа, которые могут снизить энергоемкость промывки песков и увеличить извлечение золота за счет автоматизации процесса обогащения на шлюзах.

Ключевые слова: энергоемкость, обогащение, шлюзы мелкого наполнения, увеличение извлечения золота, технология, промывочный прибор, самородкоуловитель.

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.02.032

Vasyuta Aleksey D.

Postgraduate Student, Junior Researcher,
Laboratory for the development
of alluvial deposits,
Khabarovsk Federal Research Center,
Far-East Branch of RAS,
680000 Khabarovsk, 51 Turgenev Str.
e-mail: ileshaaaaaa@gmail.com

Zhuravlev Kirill A.

Postgraduate Student, Engineer,
Laboratory for the development
of alluvial deposits,
Khabarovsk Federal Research Center,
Far-East Branch of RAS

**OPERATION ANALYSIS OF LOCK
FLUSHING DEVICES AND EVALUATION
OF THEIR ENERGY INTENSITY***Abstract:*

Currently, subsoil users, in order to maintain and increase the volume of metal production, are forced to involve in the development of refractory, as well as technogenic placers, containing mainly gold of small grades and requiring the use of more efficient concentrating apparatus for its extraction.

The process of enrichment of alluvial deposits is accompanied by the injection of large volumes of process water. On average, when enriching sands on industrial devices, the ratio of T:L is from 1:10 to 1:20, so the water supply to an industrial device is the most energy-intensive element in the enrichment of gold-bearing sands, ranging from 60 to 100% of the entire energy intensity of the device.

High-efficiency drum-scrubber-type industrial devices have been developed and introduced, which can reduce the energy intensity of sand washing and increase gold recovery by automating the enrichment process at locks.

Key words: energy intensity, enrichment, small-scale sluice, increase in gold recovery, technology, flushing device, nugget trap.

Введение

Дальний Восток России располагает богатыми и разнообразными природными ресурсами, поэтому горнодобывающая промышленность в этом регионе широко развита. В ряде субъектов Дальневосточного Федерального Округа (ДФО) добыча полезных ископаемых является практически единственной отраслью народного хозяйства. Основными видами полезных ископаемых, добыча которых осуществляется в ДФО, являются золото, платина, серебро, алмазы, олово, свинец и цинк, вольфрам, уголь, нефть, газ и др.

Доля добычи золота из россыпей в общем объеме добычи золота в России составляла в конце двадцатого века 70 – 75 %, однако в начале третьего тысячелетия наметился

определенный спад, обусловленный как отработкой легкодоступных и богатых россыпей и уменьшением объемов геологоразведочных работ, так и более активным вовлечением в эксплуатацию рудных месторождений [1 – 3].

В настоящее время недропользователи для сохранения и наращивания объемов добычи металла вынуждены вовлекать в отработку труднообогатимые, а также техногенные россыпи [4 – 9], содержащие в основном золото мелких классов и требующие для его извлечения более эффективные обогатительные аппараты.

В ряду проблем, с которыми в последнее время сталкиваются недропользователи при освоении россыпных месторождений (постоянно растущая стоимость топлива, нехватка специалистов на местах, большие трудности при оформлении всех разрешительных документов), вопросы извлечения золота остаются одними из самых важных, сильно влияющих на экономические показатели предприятия в целом. Несмотря на наличие отсадочных машин, центробежных концентраторов, винтовых сепараторов, шлюзовые комплексы по-прежнему остаются основным обогатительным узлом промприборов не только в России, но и за рубежом [10 – 13]. При постоянно растущей стоимости топлива вопросы энергоемкости промывки песков становятся все более актуальными, так как сильно влияют на эффективность отработки всего месторождения в целом.

Цель исследований: произвести анализ основных типов приборов, используемых при отработке золота, оценить их энергоемкость.

Задачи: разработать и внедрить высокоэффективные промприборы скрубберно-бочечного типа, которые могут снизить энергоемкость промывки песков и увеличить извлечение золота за счет автоматизации процесса обогащения на шлюзах.

Процесс обогащения на россыпных месторождениях сопровождается перекачкой больших объемов технологической воды. В среднем при обогащении песков на промприборах отношение Т:Ж составляет от 1:10 до 1:20, поэтому подача воды на промприбор является самым энергоемким звеном при обогащении золотосодержащих песков и составляет от 60 до 100 % всей энергоемкости работы прибора.

Наиболее энергоемкими считаются два типа промывочных приборов:

- Элеваторные приборы ПГШ-50, ПГШ-75, где, как правило, используется насос 1Д-1250-63, потребляющий 290 кВт. При использовании дизельного привода суточный расход дизельного топлива составляет около 1000 л. Приборы ПГШ остаются еще довольно распространенными (есть предприятия, где парк таких приборов составляет 12 - 15 шт.), но из-за высокой энергоемкости (высокой стоимости дизельного топлива), а также низкой производительности доля их в россыпной золотодобыче постоянно снижается.

- Землесосные приборы ПЗШ-100, ПЗШ-130. Для подачи воды на ПЗШ-100 используется один, а на ПЗШ-130 – два насоса 1250-63, потребляющих 290 кВт каждый. Приборы ПЗШ хоть и являются довольно энергоемкими, но при этом обеспечивают подъем песков по пульпопроводу и транспортировку их на большие расстояния, а также хорошие показатели эффективности дезинтеграции по сравнению с большинством используемых приборов и сопоставимы со скруббер-бутарами. Высокие эксплуатационные расходы связаны, как правило, с заменой дорогих импортных землесосов, двигателей привода, пульпопроводов.

На скрубберно-бочечном приборе производительностью 100 м³/ч расход технологической воды составляет 400 – 500 м³/ч, используется насос 1Д630-90б мощностью 130 кВт. Приборы на базе скруббер-бутара (ПБШ, СБ) являются наиболее универсальными, так как обеспечивают высокую производительность и хорошую дезинтеграцию для среднепромывистых песков, имеют невысокий удельный расход топлива (порядка 0,3 кг/м³).

Приборы на базе пластинчатого грохота типа «дерокер» имеют тоже высокие показатели энергоемкости, так как используются насосы 1Д-1250-63 для прибора ППМ-5 и

насос 1Д-800-56 для прибора ГГМ-3. Приборы этого типа имеют высокие эксплуатационные расходы, связанные с высокой стоимостью сильно изнашиваемых лент. На таких приборах часто случаются поломки, такие как облом краев лент, обрыв шлангов гидроцилиндров и т.д. Данные приборы имеют очень узкую область применения (валунистые месторождения со средним и крупным золотом), и использование их на месторождениях даже с небольшим содержанием глины в песках приводит к резкому росту потерь золота, но на практике наблюдается картина повсеместного их использования даже на месторождениях с мелким золотом. Снижение потерь металла возможно за счет модернизации заводских шлюзовых приставок.

Наименее энергоемкими приборами, применяемыми в россыпной золотодобыче, являются приборы на базе виброгрохота ГИТ-42, ГИТ-52 и ГИТ-62, у которых при производительности до 100 м³/ч расход технологической воды составляет, как правило, 300 - 350 м³/ч, а энергоемкость 50 – 90 кВт.

В табл. 1 представлен укрупненный расчет энергоемкости промывки песков и эксплуатационных затрат для наиболее часто используемых в россыпной золотодобыче шлюзовых промывочных приборов.

Из данных табл. 1 видно, что наибольший удельный расход топлива у приборов элеваторного типа ПГШ-50 и землесосного ПЗШ-100 (более 1 кг/м³). Но применение землесосных приборов за счет подъема пульпы на высоту до 30 м в большинстве случаев позволит отказаться от транспортной схемы подвоза песков. Наименьший показатель удельного расхода топлива у приборов на базе виброгрохота – порядка 0,2 кг/м³, для приборов ПБШ и ППМ – 0,28 и 0,36 кг/м³, соответственно.

Характерной особенностью почти для всех типов приборов является то, что основная энергия (от 60 % и выше), затрачиваемая при промывке песков, приходится на подачу воды. Приборы ПГШ используют насос для подачи песков эрлифтом, поэтому вся энергия насоса тратится для размыва, подачи песков на прибор и обогащения их на шлюзах.

Таблица 1

Эксплуатационные показатели промывочных приборов

Наименование	Ед. измерения	ППМ-5	ГИТ-52	ПГШ-50	ПЗШ-100	ПБШ-100
1	2	3	4	5	6	7
Производительность паспортная	м ³ /час	100	200	50	100	100
Производительность фактическая	м ³ /час	70	100	40	90	90
Установленная мощность привода	кВт	45	18	0	368	55
Марка используемого насоса, обороты насоса	об/мин	1Д-1250-63, 980	1Д-630-90, 1000	1Д-1250-63, 1500	1Д-1250-63, 1500	1Д-630-90, 1000
Установленная мощность насоса	кВт	90	80	290	290	80
Суммарная установочная мощность	кВт	135	98	290	658	135
Суммарный суточный расход диз. топлива	т	0,51	0,39	1,04	2,12	0,50
Масса прибора	т	36,4	17	25	35	22
Стоимость прибора без НДС	млн руб.	9	5,5	3,7	12	7

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
Годовые эксплуатационные затраты	млн руб.	3,5	0,5	0,8	5	1
Сезонная производительность, работа 20 ч/сут, 150 дней/г.	тыс. м ³	210	300	120	270	270
Сезонный расход топлива, 150 сут	т	76,5	58,3	155,3	317,6	74,7
Сезонные расходы (ГСМ 50 тыс. руб./т, запчасти, амортизация 20 %)	млн руб	9,1	4,5	9,3	23,3	6,1
Удельный расход топлива	кг/м ³	0,36	0,19	1,29	1,18	0,28
Удельные затраты работы прибора на 1 м ³ песков	руб	43	15	78	86	23
Энергоемкость подачи воды от общей энергоемкости	%	66,7	81,6	100,0	44,1	59,3

В 2022 г. сотрудниками Института горного дела ДВО РАН был разработан и изготовлен промывочный прибор ПБШ-100 (рис. 1). Прибор предназначен для хорошо и среднепромывистых песков. За счет применения полиуретановых сит обеспечивается высокая производительность промывки (для хорошо промывистых песков до 150 м³/ч), эффективный их рассев происходит по классу крупности 7 – 20 мм, благодаря чему возможно применение шлюзов мелкого наполнения без дополнительной классификации. В табл. 2 представлены основные технические характеристики прибора.



Рис. 1. Промывочный прибор ПБШ-100 на месторождении руч. Хребтовый Хабаровского края

Таблица 2

Технические характеристики ПБШ-100 со шлюзовой приставкой

Средняя производительность по пескам, м ³ /час	100
Масса прибора, т	23
Суммарная установленная мощность привода скруббер-бутары, кВт (об./мин)	60 (1500)
Регулируемая частота вращения скруббер-бутары, об. /мин	9,5 – 14
Габаритные размеры прибора в сборе, Д×Ш×В, мм	13000×2400×4200
Габаритные размеры несущей рамы - саней, Д×Ш, мм	10500×2400
Длина бочки скруббер-бутары, мм	9300
Диаметр входного отверстия скруббер-бутары, мм	900
Диаметр скруббер-бутары, мм	1900
Длина дезинтегрирующего става, мм	3500
Длина сеющего става, мм	4500
Внутренняя поверхность дезинтегрирующего става футерована полиуретановыми лифтерами-дезинтеграторами, шт.	120
Приемный бункер (загрузочная часть) Д×Ш, мм	2400×2400
Труба оросительная завалочного бункера, диаметр, мм	50
Труба оросительная скруббер-бутары, диаметр, мм	159
Сита полиуретановые с защитными ребрами, шт.	168
Размер отверстий полиуретановых сит, м	7 – 20
Шлюзы мелкого наполнения 4 шт. Д×Ш, мм	7000×750
Высота трафаретов лестничных, мм	25 мм
Ковры дражные, м ²	21
Производительность насоса 1Д-800-56б, м ³ /час.	500
Напор, развиваемый насосом, м	32

Привод скруббер-бутары осуществляется от 4 мотор-редукторов специальной конструкции, позволяющих воспринимать большие осевые нагрузки. Такое решение позволило убрать из конструкции прибора муфты и валы для переброски крутящих моментов от редукторов до колес. Установка колес осуществляется непосредственно на сам редуктор. Привод скруббер-бутары выполнен на базе пневматических колес от вилочного погрузчика, рассчитанных на большие нагрузки. Прибор оснащен шкафом управления, оборудованным частотным преобразователем, который помимо изменения частоты вращения в процессе работы позволяет оперативно получать информацию о нагрузке привода вращения прибора посредством соответствующих сигнальных ламп. Внутренняя поверхность скруббер-бутары полностью футерована полиуретановыми плитами – лифтерами-дезинтеграторами, срок службы которых составляет до 4 лет, и полностью предотвращает износ несущей поверхности скруббер-бутары. Обогащение происходит на 4-х ШМН (шлюзах мелкого наполнения) длиной по 7 и шириной 0,75 м каждый.

Шкаф управления может работать в двух режимах – через частотный преобразователь и через байпасный режим (прямой пуск через магнитный контактор). В режиме частотного регулирования на световой колонне – индикация для машиниста экскаватора о загруженности промприбора: зеленая – режим холостого хода, желтая – рабочий режим под нагрузкой и красная – перегрузка или авария.

На данном приборе реализована схема обогащения по двум классам: -20 мм и -70+20 мм. Пески крупностью -70+20 мм подаются на шлюз самородкоуловитель, на котором установлен шлюз среднего наполнения с металлическими трафаретами высотой 50 мм.

После запуска промприбора в сентябре 2022 г. на месторождении руч. Хребтовый была произведена оценка эффективности его работы по таким параметрам:

- оценка Т:Ж на ШМН;
- оценка производительности и расхода топлива (определение удельного расхода топлива);
- оценка эффективности грохочения по классу крупности -20 и -70 мм.

Оценка соотношения Т:Ж в пульпе на ШМН осуществлялась по следующей методике:

– на сливе каждого шлюза производился отбор пульпы в 12-литровое ведро. Жидкая фракция сливалась, затем рулеткой замерялся уровень остатка твердой части (от края ведра). Каждое измерение производилось 3 раза, результаты заносились в журнал наблюдений;

- время наполнения ведра фиксировалось секундомером;
- измерение скорости потока пульпы на шлюзах производилось с использованием куска вспененного полистирола и секундомера.

Далее данные, занесенные в журнал наблюдений, были обработаны, и на их основе выведены отношения Т:Ж в пульпе, а также рассчитаны объемы выхода пульпы и горной массы на ШМН на шлюзах (табл. 3).

Таблица 3

Значение Т:Ж по каждому шлюзу

Наименование	Шлюз №1	Шлюз №2	Шлюз №3	Шлюз №4
Отношение Т:Ж	1:10	1:12	1:15	1:11
Скорость потока	1,8	1,9	2,1	1,8

Показатели суточного расхода дизтоплива составили 370 л, производительность прибора за сутки – 2200 м³. Удельный расход топлива при работе промприбора составил всего 168 гр/м³ промытых песков.

Эффективность грохочения оценивалась отбором проб в 12-литровое ведро и отсевом пробы по данному классу крупности. В галечном отвале по классу крупности -70 эффективность грохочения составила 80 – 90 %, а по классу крупности -20 мм – более 97%, что является очень хорошим показателем.

На промприборе реализованы следующие инновационные технические решения:

- конструкция распределителя в питании ШМН позволяет добиться хороших показателей Т:Ж на ШМН;
- применен новый тип привода ведущих колес, позволяющий повысить КПД прибора и уменьшить количество деталей привода;
- установлен шлюз самородкоуловитель, что позволяет прибору извлекать не только мелкое и среднее золото, но и самородки размером до 70 мм;
- внедрена световая колонна, позволяющая оперативно получать информацию о загрузке прибора и снижать возможные простои.

Заключение

Спроектирован, изготовлен и введен в эксплуатацию на россыпном месторождении золота руч. Хребтовый (Хабаровский край) промывочный прибор ПБШ-100 производительностью 100 м³/ч, который показал величину удельного расхода топлива в количестве 168 г/м³, что почти в 6 раз меньше показателя, полученного при работе на данном участке элеваторного прибора ПГШ-50.

Список литературы

1. Беневольский Б.И., 2002. *Золото России. Проблемы использования и воспроизводства минерально-сырьевой базы*. Москва: Геоинформцентр, 464 с.
2. *Добыча золота в регионах России за 2017 и 2018 г.* URL: <https://zolotodb.ru/article/12047> (дата обращения: 5.07.19).
3. *Обзор золотодобывающей отрасли в 2018 году. Золото и технологии*, 2019, № 1. С. 6 – 20.
4. Литвинцев В.С., 2013. О ресурсном потенциале техногенных золотороссыпных месторождений. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*, № 1, С. 97 – 104.
5. Мирзеханов Г.С., Мирзеханова З.Г., 2013. *Ресурсный потенциал техногенных образований россыпных месторождений золота*. Москва: МАКС Пресс, 288 с.
6. MacFarlane K.E., Nordling M.G., 2014. *Yukon Exploration and Geology Overview 2013*. Whitehorse, Canada (Yukon Geological Survey), 80 p.
7. Алексеев В.С., Серый Р.С., Соболев А.А., 2019. Повышение извлечения мелкого золота на промывочном приборе шлюзового типа. *Обогащение руд*, № 5, С. 13 – 18. DOI: 10.17580/or.2019.05.03
8. Банщикова Т.С., Леоненко Н.А., Алексеев В.С., 2017. Физико-химические способы извлечения тонкодисперсного золота из техногенных россыпей Приамурья. *Обогащение руд*, № 6, С. 32 – 37.
9. Алексеев В.С., 2012. *Обоснование рациональной технологии формирования продуктивной зоны при открытой разработке техногенных россыпей Приамурья*: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Хабаровск, 22 с.
10. LeBarge W.P., Nordling M.G., 2011. *Yukon Placer Mining Industry 2007-2009*. Whitehorse, Canada (Yukon Geological Survey), 151 p.
11. Van Loon S., Bond J.D., 2014. *Yukon Placer Mining Industry Report 2010-2014*. Whitehorse, Canada (Yukon Geological Survey), 230 p.
12. Серый Р.С., Алексеев В.С., Сас П.П., 2015. Оценка эффективности работы шлюзовых промывочных приборов при отработке месторождений с мелким и пластинчатым золотом. *Золото и технологии*, № 1, С. 104 – 107.
13. Litvitsev V., Alexeev V., Kradenykh I., 2018. The technology of development of residue objects of precious metals placer deposits. *E3S Web of Conferences*, Vol. 56. DOI: 10.1051/e3sconf/20185601005

References

1. Benevol'skii B.I., 2002. *Zoloto Rossii. Problemy ispol'zovaniya i vosproizvodstva mineral'no-syr'evoi bazy* [Gold of Russia. Problems of use and reproduction of the mineral resource base]. Moscow: Geoinformtsentr, 464 p.
2. *Dobycha zolota v regionakh Rossii za 2017 i 2018 g.* [Gold mining in the regions of Russia for 2017 and 2018] URL: <https://zolotodb.ru/article/12047> (data obrashcheniya: 5.07.19).
3. *Obzor zolotodobyvayushchei otrasli v 2018 godu* [Overview of the gold mining industry in 2018]. *Zoloto i tekhnologii*, 2019, № 1. P. 6 – 20.

4. Litvintsev V.S., 2013. O resursnom potentsiale tekhnogennykh zolotorossypnykh mestorozhdenii [On the resource potential of man-made placer gold deposits]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, № 1, P. 97 – 104.
5. Mirzekhanov G.S., Mirzekhanova Z.G., 2013. Resursnyi potentsial tekhnogennykh obrazovaniy rossypnykh mestorozhdenii zolota [Resource potential of technogenic formations of placer gold deposits]. Moscow: MAKS Press, 288 p.
6. MacFarlane K.E., Nordling M.G., 2014. Yukon Exploration and Geology Overview 2013. Whitehorse, Canada (Yukon Geological Survey), 80 p.
7. Alekseev V.S., Seryi R.S., Sobolev A.A., 2019. Povyshenie izvlecheniya melkogo zolota na promyvochnom pribore shlyuzovogo tipa [Increase in the recovery of fine gold on a sluice-type flushing device]. *Obogashchenie rud*, № 5, P. 13 – 18. DOI: 10.17580/or.2019.05.03
8. Banshchikova T.S., Leonenko N.A., Alekseev V.S., 2017. Fiziko-khimicheskie sposoby izvlecheniya tonkodispersnogo zolota iz tekhnogennykh rossypei Priamur'ya [Physical-and-chemical methods of extraction of fine gold from technogenic placers of the Amur region]. *Obogashchenie rud*, № 6, P. 32 – 37.
9. Alekseev V.S., 2012. Obosnovanie ratsional'noi tekhnologii formirovaniya produktivnoi zony pri otkrytoi razrabotke tekhnogennykh rossypei Priamur'ya [Substantiation of rational technology for the formation of a productive zone in the open development of technogenic placers of the Amur region]: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Khabarovsk, 22 p.
10. LeBarge W.P., Nordling M.G., 2011. *Yukon Placer Mining Industry 2007-2009*. Whitehorse, Canada (Yukon Geological Survey), 151 p.
11. Van Loon S., Bond J.D., 2014. *Yukon Placer Mining Industry Report 2010-2014*. Whitehorse, Canada (Yukon Geological Survey), 230 p.
12. Seryi R.S., Alekseev V.S., Sas P.P., 2015. Otsenka effektivnosti raboty shlyuzovykh promyvochnykh priborov pri otrabotke mestorozhdenii s melkim i pla-stinchatym zolotom [Evaluation of the efficiency of sluice flushing devices when working off deposits with fine and plate gold]. *Zoloto i tekhnologii*, № 1, P. 104 – 107.
13. Litvitsev V., Alexeev V., Kradenykh I., 2018. The technology of development of residue objects of precious metals placer deposits. *E3S Web of Conferences*, Vol. 56. DOI: 10.1051/e3sconf/20185601005