

## ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОГО ФЕРРОХРОМА ИЗ МЕТАЛЛОКОНЦЕНТРАТА ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОГО ФЕРРОХРОМА (МФХ) В УСЛОВИЯХ АКТЮБИНСКОГО ЗАВОДА ФЕРРОСПЛАВОВ

БИСЕНБИН М.А. , ШАБАНОВ Е.Ж. , ЖУМАГАЛИЕВ Е.У. ,  
УРАЗГАЛИЕВА А.Н. 

\*Бисенбин Малик Алматович – Магистрант, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова», г. Ақтөбе, Қазақстан

E-mail: [Malik.Bisenbin@erg.kz](mailto:Malik.Bisenbin@erg.kz), <https://orcid.org/0009-0007-1706-7542>

Шабанов Ербол Жақсылықұлы - PhD, ассоциированный профессор, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Ақтөбе, Қазақстан

E-mail: [yshabanov@zhubanov.edu.kz](mailto:yshabanov@zhubanov.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0001-6902-1211>

Жумағалиев Ерлан Уланович - Кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, г. Ақтөбе, Қазақстан

E-mail: [yzhumagaliyev@zhubanov.edu.kz](mailto:yzhumagaliyev@zhubanov.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-2227-0661>

Уразғалиева Асель Нурғалиевна - Лаборант, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова», г. Ақтөбе, Қазақстан

E-mail: [a.urazgaliyeva@zhubanov.edu.kz](mailto:a.urazgaliyeva@zhubanov.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0008-2989-9327>

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема накопления шламов с высоким содержанием хрома (до 12%) на территории Актюбинского завода ферросплавов (АктЗФ), что создает экологические и производственные риски. Предлагается решение в виде переработки шламов на оборудовании отсадочного комплекса КПФШ-50 для получения металлоконцентрата с содержанием хрома не менее 40%. Проведены опытно-промышленные испытания (ОПИ) по переплаву металлоконцентрата высокоуглеродистого феррохрома (МФХ) в плавильном цехе №1 на печи №39. В ходе испытаний было переплавлено 398 тонн МФХ, что позволило получить 223,26 тонны товарного высокоуглеродистого феррохрома (ВУФХ) с извлечением хрома в металл более 92%. Представлены материальные балансы переплава для различных исходных содержаний хрома в МФХ, а также ключевые технологические показатели, включая удельные расходы электроэнергии, электродов, огнеупоров, сырья и материалов. Анализ данных показал наличие резервов для повышения эффективности процесса за счет минимизации простоев и потерь мощности печи, а также оптимизации шихтовых составов и режимов плавки. Результаты исследования подтверждают возможность промышленного внедрения технологии переработки шламов для получения ВУФХ, что способствует экологической и экономической оптимизации производства.

**Ключевые слова:** высокоуглеродистый феррохром, металлоконцентрат, шламы, переплав, отходы, переработка.

### Введение

На территории Актюбинского завода ферросплавов (далее АктЗФ) накоплено значительное количество отходов в виде шламов, образовавшихся в результате работы отсадочных комплексов цеха переработки шлаков (далее ЦПШл). Общий объем этих отходов составляет около 250 000 тонн, при этом содержание хрома в них достигает 12%. Увеличение объемов таких отходов создает серьезные экологические и производственные проблемы: требуется выделение дополнительных площадей для их складирования, что негативно сказывается на окружающей среде, а также существует риск наложения штрафных санкций со стороны государственных органов в случае отсутствия мероприятий по их утилизации [1-5].

Для решения данной проблемы предлагается переработка накопленных шламов с содержанием хрома 11-12% на существующем оборудовании отсадочного комплекса КПФШ-50, расположенного в цехе переработки шлаков АктЗФ. Этот процесс позволит извлечь металлоконцентрат с содержанием хрома не менее 40%, который в дальнейшем будет направлен на переплавку в плавильные цеха предприятия. Планируемая производительность переработки составляет до 1000 тонн исходного материала в сутки, что позволит получать

ориентировочно 160-170 тонн готового металлоконцентрата ежедневно.

Целью настоящей работы является получение высокоуглеродистого феррохрома из металлоконцентрата высокоуглеродистого феррохрома (МФХ) в условиях АктЗФ. Исходя из вышеизложенного, планируется подтвердить проведением опытно-промышленных испытаний (далее ОПИ) в плавильном цеху №1 на печи №39.

#### Материалы и методы исследования

Для переплава был использован МФХ фракцией 0-5 мм. По данным приложенного сертификата качества поставленный МФХ содержал 40,7 % хрома металлического. Усредненный химический состав представлен в таблице 1

Таблица 1. Химический состав МФХ

Наименование	Кол-во, т.	$C_{гмет}$	C	Si	S	P	W
МФХ	703	40,0	5,28	6,4	0,08	0,019	0,04**

Промышленные испытания по переплаву МФХ с получением ВУФХ на печи №39 ПЦ-1 АктЗФ.

Первоначально планировалось переплавлять по 9 т МФХ за плавку с загрузкой печи в три операции - завалка (4 т МФХ) и две подвалки (3 и 2 т МФХ соответственно) с перегревом расплава феррохрома перед выпуском до 1780°C. Однако малая емкость ковша по феррохрому, а также увеличение количества не расплавленного материала в ванне печи привела к необходимости снизить количество МФХ, переплавляемого за одну плавку, до 7-8 т при штатной плавке со снижением количества операций загрузки печи до двух – завалка и подвалка по 4 т МФХ.

За время работы было выполнено 59 плавков, переплавлено 398 т МФХ, выплавлено 223,26 т товарного феррохрома. Общая длительность компании составила 19 660 минут, из них чистое время на плавку 10 111 минут.

Ориентировочный материальный баланс переплава МФХ по 59 плавкам приведен в таблицах 2 и 3 для двух вариантов - исходного содержания хрома металлического в МФХ 41,7% по сертификату АксЗФ и исходного содержания хрома металлического в МФХ 39,97 %. Последняя величина определена как среднее содержание хрома металлического в трех параллельных пробах от объединенной пробы МФХ. Объединенная проба МФХ, как отмечалось выше, отбиралась при выгрузке МФХ из МКР в загрузочный короб примерно по 100 г с каждого МКР.

Таблица 2. Ориентировочный материальный баланс переплава МФХ по 59 плавкам при исходном содержании  $C_{гмет}$  в МФХ 39,97 %

Приход			Расход		
Наименование материалов	Масса, кг	В них хрома, кг	Наименование продуктов	Масса, кг	В них хрома, кг
Металлоконцентрат	390 108,60	155 926,41	ВУФХ	226 340,00	154 522,32
Отсевы ФХ	14 850,00	10 320,75	Шлак	177 480,00	4 857,35
Коксовый орешек	9 390,23		Пыли газоочистки	9 400,00	141,00
Отсевы спецкокса	2 867,70		Мелочь ВУФХ		
Известь	1 963,50		Гарнисаж	3 623,00	123,94
Магнезит	25 551,00		Угар углерода кокса и мелочи спецкокса	10 790,58	
Итого	444 731,03	166 247,16		427 633,58	159 644,61
Невязка, кг	17 097,45	6 602,55			
Невязка, % от исходного	3,84	3,97			

Извлечение хрома в металл, %		92,95			
------------------------------	--	-------	--	--	--

### Результаты и их обсуждение

Основной целью проводимых испытаний являлось объективное определение технических показателей процесса переплава для последующей его экономической оценки. Основными технологическими показателями, определяющими затратность передела переплава МФХ, и оценить которые планировалось на данном этапе испытаний, являются удельные расходы электроэнергии, электродов, огнеупоров, сырья и материалов, производительность печи.

Таблица 3. Ориентировочный материальный баланс переплава МФХ по 59 плавкам при исходном содержании  $C_{гмет}$  в МФХ 41,7%

Приход			Расход		
Наименование материалов	Масса, кг	В них хрома, кг	Наименование продуктов	Масса, кг	В них хрома, кг
Металлоконцентрат	390 108,60	162 675,29	ВУФХ	226 340,00	154 522,32
Отсевы ФХ	14 850,00	10 320,75	Шлак	177 480,00	4 857,35
Коксовый орешек	9 390,23		Пыли газоочистки	9 400,00	141,00
Отсевы спецкокса	2 867,70		Мелочь ВУФХ		
Известь	1 963,50		Гарнисаж	3 623,00	123,94
Магнезит	25 551,00		Угар углерода кокса и мелочи спецкокса	10 790,58	
Итого	444 731,03	172 996,04		427 633,58	159 644,61
Невязка, кг	17 097,45	13 351,43			
Невязка, % от исходного	3,84	7,72			
Извлечение хрома в металл, %		89,32			

Показатели переплава также, как и баланс приведены в таблице 3. На рисунке 1 представлена зависимость расхода электроэнергии на плавку в зависимости от количества, загруженного МФХ (в пересчете на сухой вес).

Таблица 4. Основные показатели переплава МФХ

№ п.п	Показатель	Единица измерения	Значение
1	Удельный расход МФХ (на влажную массу)	т/т ВУФХ	1,89
2	Удельный расход технологической э/энергии	кВт*час/т ВУФХ	2381
3	Удельный расход вспомогательной э/энергии	кВт*час/т ВУФХ	761
4	Удельный расход электродов	кг/т ВУФХ	27,57
5	Среднее время плавки (включая подготовительные операции)	мин.	299
6	Средняя масса выплавленного ВУФХ за плавку	т ВУФХ	3,64
7	Удельный расход извести	кг/т ВУФХ	7,93
8	Удельный расход коксового орешка	кг/т ВУФХ	43,17
9	Удельный расход мелочи спецкокса	кг/т ВУФХ	20,77

10	Удельный расход магнетита на заправку ванны	кг/т ВУФХ	134,1
11	Удельный расход кирпичей ШКУ на ковши	кг/т ВУФХ	39,94
12	Удельный выход шлака	т/т ВУФХ	0,79

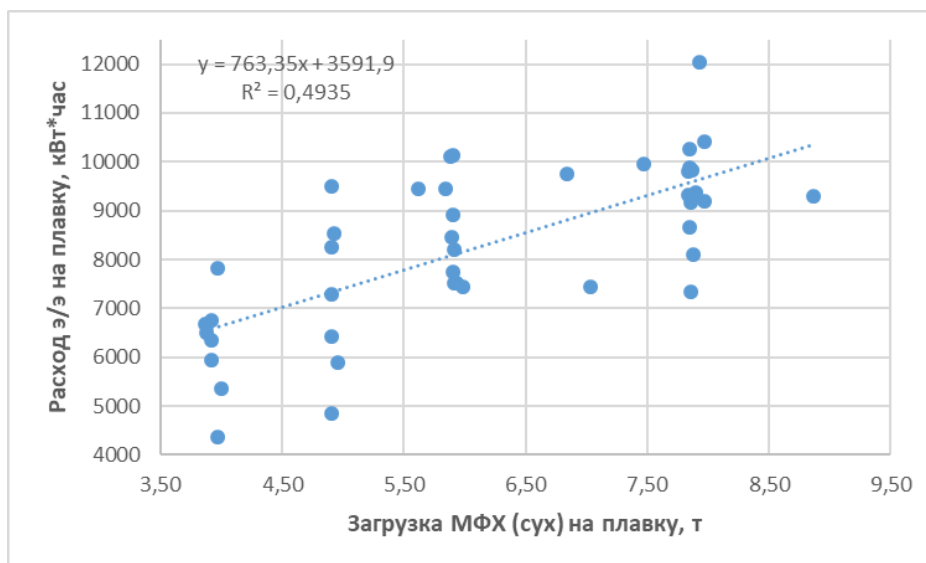


Рисунок 1. Зависимость расхода электроэнергии на плавку от количества, загруженного МФХ

На рисунке 1 наблюдается большой разброс данных, что характерно для случаев влияния неучтенных значимых факторов (разные время простоя перед плавкой, количество добавляемых на плавку материалов (корки, известь), время работы на разных ступенях трансформатора и положение регулятора мощности, простои во время плавки, количество операций по заправке коксовым орешком для розжига печи и т.д.). Однако, характер полученной зависимости позволяет оценить удельный расход электроэнергии с точностью достаточной для оценки затратности передела. В таблице 5 приведен расчет расхода электроэнергии на плавку, удельных расходов э/энергии на переплав 1 т МФХ и выплавку 1 т ВУФХ при разном количестве загружаемого на плавку МФХ, рассчитанный по уравнению, приведенному на рисунке 1.

Таблица 5. Расчетные показатели по затратам э/энергии на переплав МФХ

Загрузка МФХ, т	Расход э/э на плавку, кВт*час	Уд-й расход э/э на т МФХ, кВт*час	Уд-й расход на т ВУФХ, кВт*час
9	10 462,1	1 162,5	2 140,5
8	9 698,7	1 212,3	2 232,4
7	8 935,4	1 276,5	2 350,5
6	8 172,0	1 362,0	2 508,0
5	7 408,7	1 481,7	2 728,5
4	6 645,3	1 661,3	3 059,2
3	5 882,0	1 960,7	3 610,3

### Заклучение

Все цели ОПИ были достигнуты и, в целом, проведены на удовлетворительном уровне с получением положительных технологических показателей (извлечение хрома более 92,0%), но имеются резервы по повышению эффективности переплава, т.к. за период ОПИ были зафиксированы значительные простои и потери мощности печи.

Для повышения технологической эффективности переплава должны быть внедрены предлагаемые мероприятия с потенциально высоким эффектом.

### Список литературы

1. Острецова И.С. Влияние состава и свойств шлаков углеродистого феррохрома на степень извлечения хрома. Хромистые ферросплавы: сб. науч. тр. МЧМ, НИИ металлургии. Москва, 1986. с.48-53.
2. Кадарметов Х.Н. Шлаки углеродистого феррохрома и ферросиликохрома. Производство ферросплавов: сб. науч. Тр. МЧМ, «Металлургия». М., 1978. с.89-99.
3. Чернякова Р.М., Кайынбаева Р.А., Султанбаева Г.Ш., Джусипбеков У.Ж., Кожобекова Н.Н. Извлечение хрома из шлаков феррохромного производства сернокислотным методом. Химический журнал Казахстана. 2024, №2. с. 5-14.
4. Джундибаев М.К. Мырзағалиев А.А. Обзор методов окускования хромсодержащих пылей и шлама газоочисток при выплавке феррохрома. Вестник Актюбинского регионального университета имени К. Жубанова. 2025, том 79, №1. с. 325-241.
5. Tastanov Y., Serzhanova N., Ultarakova A., Sadykov N., Yerzhanova Z., Tastanova A. Recycling of Chrome-Containing Waste from a Mining and Processing Plant to Produce Industrial Products. Processes 2023, 11(6), 1659.

### References

1. Ostrecova I.S. Vliyanie sostava i svojstv shlakov uglerodistogo ferrohroma na stepen' izvlecheniya hroma. Hromistye ferrosplavy: sb.nauch. tr. MCHM, NII metallurgii. Moskva, 1986. s.48-53.
2. Kadarmetov H.N. Shlaki uglerodistogo ferrohroma i ferrosilikohroma. Proizvodstvo ferrosplavov: sb. науч. Тр. МЧМ, «Металлургия». М., 1978. s.89-99.
3. Chernyakova R.M., Kajynbaeva R.A., Sultanbaeva G.SH., Dzhusipbekov U.ZH., Kozhabekova N.N. Izvlechenie hroma iz shlakov ferrohromnogo proizvodstva sernokislotnym metodom. Himicheskij zhurnal Kazahstana. 2024, №2. s. 5-14.
4. Dzhundibaev M.K. Myrzaǵaliev A.A. Obzor metodov okuskovaniya hromsoderzhashchih pylej i shlama gazoochistok pri vyplavke ferrohroma. Vestnik Aktyubinskogo regional'nogo universiteta imeni K. ZHubanova. 2025, tom 79, №1. s. 325-241.
5. Tastanov Y., Serzhanova N., Ultarakova A., Sadykov N., Yerzhanova Z., Tastanova A. Recycling of Chrome-Containing Waste from a Mining and Processing Plant to Produce Industrial Products. Processes 2023, 11(6), 1659.

## АҚТӨБЕ ФЕРРОҚОРЫТПА ЗАУЫТЫ ЖАҒДАЙЫНДА ЖОҒАРЫ КӨМІРТЕКТІ ФЕРРОХРОМ МЕТАЛЛОКОНЦЕНТРАТЫНАН (МФХ) ЖОҒАРЫ КӨМІРТЕКТІ ФЕРРОХРОМ АЛУ

**БИСЕНБИН М.А.** , **ШАБАНОВ Е.Ж.** , **ЖУМАГАЛИЕВ Е.У.** ,  
**УРАЗГАЛИЕВА А.Н.** 

\*Бисенбин Малик Алматович – Магистрант, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

Е-mail: [Malik.Bisenbin@erg.kz](mailto:Malik.Bisenbin@erg.kz), <https://orcid.org/0009-0007-1706-7542>

Шабанов Ербол Жақсылықұлы - PhD, қауымдастырылған профессор, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

Е-mail: [yshabanov@zhubanov.edu.kz](mailto:yshabanov@zhubanov.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0001-6902-1211>

Жумағалиев Ерлан Уланович - Техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

Е-mail: [yzhumagaliyev@zhubanov.edu.kz](mailto:yzhumagaliyev@zhubanov.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-2227-0661>

Уразғалиева Асель Нурғалиевна - Зертханашы, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан

Е-mail: [a.urazgaliyeva@zhubanov.edu.kz](mailto:a.urazgaliyeva@zhubanov.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0008-2989-9327>

**Аңдатпа.** Мақалада Ақтөбе феррокорытпа зауыты аумағында құрамында хром мөлшері жоғары (12%-ға дейін) шламдардың жиналу мәселесі қарастырылады, бұл экологиялық және өндірістік тәуекелдер туындатады. Мәселені шешу ретінде шламдарды КПФШ-50 отырғызу кешенінің жабдығында қайта өңдеу арқылы құрамында кемінде 40% хромы бар металлоконцентрат алу ұсынылады.

Жоғары көміртекті феррохромның металлоконцентратын (МФХ) балқыту бойынша №1 балқыту цехында №39 пеште тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтар (ТӨС) жүргізілді. Сынақ барысында 398 тонна МФХ балқытылып, нәтижесінде 223,26 тонна тауарлық жоғары көміртекті феррохром (ЖКФХ) алынды, бұл кезде хромның металлға шығымы 92%-дан асты.

МФХ құрамындағы бастапқы хром мөлшеріне байланысты балқыту материалдық баланстары, сондай-ақ электр энергиясының, электродтардың, отқа төзімді материалдардың, шикізат пен қосымша материалдардың меншікті шығындарын қамтитын негізгі технологиялық көрсеткіштер ұсынылған.

Деректерді талдау пештің бос тұрып қалуын және қуат шығындарын азайту арқылы процестің тиімділігін арттыруға мүмкіндік беретін резервтердің бар екенін көрсетті. Зерттеу нәтижелері шламдарды қайта өңдеу технологиясын өнеркәсіптік деңгейде енгізу мүмкіндігін дәлелдейді, бұл өндірістің экологиялық және экономикалық тиімділігін арттыруға ықпал етеді.

**Түйін сөздер:** жоғары көміртекті феррохром, металлоконцентрат, шламдар, балқыту, қалдықтар, қайта өңдеу.

## PRODUCTION OF HIGH-CARBON FERROCHROME FROM HIGH-CARBON FERROCHROME METAL CONCENTRATE (MFC) UNDER THE CONDITIONS OF THE AKTOBE FERROALLOY PLANT

BISENBIN M.A. , SHABANOV E.ZH. , ZHUMAGALIEV E.U. ,  
URAZGALIYEVA A.N. 

\***Bisenbin Malik Almatovich** - Master's degree student, K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan

E-mail: [Malik.Bisenbin@erg.kz](mailto:Malik.Bisenbin@erg.kz), <https://orcid.org/0009-0007-1706-7542>

**Shabanov Yerbol Zhaksylykovich** - PhD, associate professor, K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan

E-mail: [yshabanov@zhubanov.edu.kz](mailto:yshabanov@zhubanov.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0001-6902-1211>

**Zhumagaliev Erlan Ulanovich** - Candidate of technical sciences, associate professor, K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan

E-mail: [yzhumagaliyev@zhubanov.edu.kz](mailto:yzhumagaliyev@zhubanov.edu.kz), <https://orcid.org/0000-0003-2227-0661>

**Urazgaliyeva Asel Nurgaliyevna** - Laboratory assistant, K. Zhubanov Aktobe regional university, Aktobe, Kazakhstan

E-mail: [a.urazgaliyeva@zhubanov.edu.kz](mailto:a.urazgaliyeva@zhubanov.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0008-2989-9327>

**Abstract.** The article addresses the problem of accumulation of high-chromium (up to 12%) sludges at the Aktobe Ferroalloy Plant, which creates environmental and production risks. As a solution, the processing of sludges using the KPFSH-50 jigging complex is proposed to obtain a metal concentrate containing at least 40% chromium. Experimental-industrial tests (EIT) on smelting of high-carbon ferrochrome metal concentrate (MFC) were carried out in smelting shop No. 1 on furnace No. 39. During the tests, 398 tons of MFC were smelted, resulting in 223.26 tons of commercial high-carbon ferrochrome (HCFeCr), with chromium recovery into metal exceeding 92%. Material balances of the smelting process for different initial chromium contents in MFC are presented, along with key technological indicators, including specific consumption of electric energy, electrodes, refractories, raw materials, and auxiliary materials. Data analysis revealed reserves for improving process efficiency through reduction of furnace downtime and power losses. The results confirm the feasibility of industrial implementation of sludge recycling technology, contributing to environmental and economic optimization of production.

**Key words:** high-carbon ferrochrome, metal concentrate, sludges, smelting, waste, recycling.