

К ВОПРОСУ ПЕРЕРАБОТКИ КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ФУСОВ

А.В. Масалимов, М.Н. Степанова

Новотроицкий филиал ФГАОУ ВО НИТУ «МИСИС», г. Новотроицк

Коксохимическое производство остается важным технологическим комплексом черной металлургии, однако является источником высокой экологической нагрузки на окружающую среду. Особую проблему представляют высокотоксичные отходы, одним из которых являются каменноугольные фусы – вязкий остаток отчистки каменноугольной смолы. Их накопление и хранение экологически опасно, а существующие методы их утилизации, такие как возврат в неподготовленном виде в угольную шихту снижают качество кокса. Работа обусловлена необходимостью разработки эффективного и экономичного способа переработки фусов, соответствующего принципам ресурсосбережения и замкнутых производственных циклов. Предметом исследования являются физико-химические свойства каменноугольных фусов и возможность их использования в качестве технологического компонента. Цель работы – разработать и экспериментально обосновать метод грануляции каменноугольных фусов с угольной пылью. Методология работы включала комплексный анализ свойств фусов: определение зольности и содержание общей серы, а также перегонку под атмосферным давлением для оценки состава смеси. Основным методом работы является экспериментальный метод. Было проведено опытное изготовление гранул в лабораторных условиях из смеси угольной пыли и каменноугольных фусов в различных пропорциях с последующей оценкой их характеристик. Исследование показало принципиальную возможность эффективного использования каменноугольных фусов в качестве связующего компонента для грануляции угольной пыли. Данный метод утилизации позволит в дальнейшем разработать и осуществить ресурсосберегающую технологию утилизации токсичных отходов коксохимического производства, исключив их негативное влияние на качество металлургического кокса и окружающую среду.

Ключевые слова: каменноугольные фусы, грануляция, отходы, кокс, угольная шихта.

ВВЕДЕНИЕ

Функционирование металлургического производства, на сегодняшний день не представляется возможным без использования каменноугольного кокса, производимого коксохимическими предприятиями (КХП). Основным потребителем металлургического кокса является доменное производство. Несмотря на развитие современных технологий коксохимическое производство остается одним из самых экологически неблагоприятных. Это связано, как, непосредственно, с технологическими факторами, так и со значительным количеством побочных продуктов коксования. Некоторые из продуктов коксования, как каменноугольный пек, нафталин, бензол, толуол, ксилол находят свое применение в других производствах, либо используются непосредственно на КХП – коксовый газ, поглотительное масло. Помимо ценных продуктов коксования, имеется также ряд высокотоксичных остатков. Примером таких отходов являются каменноугольные фусы.

Современные тенденции развития производства направлены на создание замкнутых технологических циклов, снижение техногенной нагрузки на окружающую среду, а также обеспечение наиболее полного и эффективного ресурсопользования, что особенно важно ввиду недостатка на рынке коксующихся углей [1].

Одним из самых отходов, образующихся в значительном количестве (0,1-0,2% от массы загруженной шихты), а также одним из самых опасных

и токсичных являются каменноугольные фусы. Они представляют собой тяжелый вязкий остаток, накапливающийся в первичных отстойниках, и представляют собой смесь каменноугольной смолы, воды, угольных и коксовых частиц, частиц золы. В них содержится значительное количество токсичных и канцерогенных веществ, что делает их хранение и утилизацию технически сложной и дорогостоящей. На сегодняшний день, не разработано эффективной, безопасной и простой технологии переработки каменноугольных фусов, что приводит к необходимости их складирования. Альтернативой складированию, на современных предприятиях, выбирают их прямой возврат в угольную шихту, что негативно сказывается, как непосредственно на качестве кокса, так и на качестве иных продуктов коксования.

В работах [2-4] представлены способы переработки каменноугольных фусов, направленные на их разложение или возврат в угольную шихту. Возврат каменноугольных фусов в шихту коксования является самым простым и наименее затратным способом утилизации каменноугольных фусов, однако он имеет ряд недостатков, связанных с ухудшением качества получаемого кокса по показателям M25 и M10, повышением его зольности, повышенным расходом тепла на коксование, а также ухудшением качества каменноугольной смолы, что снижает эффективность ее дальнейшей переработки.

Газификация, так же, как и пиролиз фусов и других отходов коксования позволяет получить в рамках коксохимического производства дополнительные

количества тепловой энергии и пара. Однако оба эти метода достаточно сложны в аппаратурном оформлении.

Таким образом, вопрос эффективной утилизации каменноугольных фусов является актуальным. Прекращение использования каменноугольных фусов в качестве непосредственного компонента шихты без переработки позволит снизить содержание золы и влаги в шихте коксования, вносимых туда фусами, что благоприятно скажется на качестве кокса и производительности коксовых батарей.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Каменноугольные фусы (рис. 1) — это опасные и токсичные отходы коксохимического производства. Они представляют собой пластическую массу от коричневого до черного цвета, состоящую из мелких твердых частиц угольно-коксового материала, воды и каменноугольной смолы. В составе фусов обнаружено более 10 тысяч различных компонентов, из которых идентифицировано около 500, в том числе индол и его производные, хинолины, фенолы, фуран и его производные полициклические и полиароматические углеводороды [5].



Рис. 1. Каменноугольные фусы

В ходе исследований, каменноугольные фусы были проанализированы и с целью определения наиболее эффективного способа их переработки.

Анализ на зольность проводится в соответствии с требованиями ГОСТ 11022–95 «Методы определения зольности». Зольность аналитической пробы А, % по массе вычисляют по формуле (1). Результаты расчетов представлены в табл. 1.

$$A = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где m_1 – масса тигля, г; m_2 – масса тигля с пробой, г; m_3 – масса тигля с золой, г.

Табл. 1. Результаты анализа на зольность

№	m (тигля), г	m (тигля + фусы), г	m (фусы), г	m (тегель+ зола), г	m (золы), г	A, % масс
1	20,33	21,3	0,97	20,41	0,08	8,25
2	17,79	18,77	0,98	17,85	0,06	6,12
3	19,02	20	0,98	19,12	0,1	10,20
4	20,55	21,57	1,02	20,64	0,09	8,82
5	21,19	22,22	1,03	21,3	0,11	10,68
Среднее значение:					0,088	8,82

Исходя из расчетов средняя зольность каменноугольных фусов составляет 8,82% масс. По данным производственной лаборатории зольность готового кокса, производства составляет 9,6% масс, а зольность шихты коксования составляет 7,0% масс. Таким образом, зольность каменноугольных фусов на 1,82% выше зольности шихты коксования.

Содержание серы в фусах определялось в соответствии с требованиями ГОСТ 8606–2015 «Топливо твердое минеральное. Определение общей серы. Метод Эшка». Массовую долю общей серы в аналитической пробе, выраженную в процентах, вычисляют по формуле (2). Результаты анализа представлены в табл.2.

$$S_t^a = \frac{13,74 \cdot (m_2 - m_3)}{m_1}, \quad (2)$$

где m_1 – масса навески топлива, взятой для анализа, г; m_2 – масса сульфата бария, полученная при анализе пробы, г; m_3 – масса сульфата бария, полученная в холостом опыте, г.

Табл. 2. Содержание общей серы в каменноугольных фусах

№	m(пробы), г	m (BaSO4), г	m (BaSO4) _{хол.} , г	S _t ^a , %
1	1	0,0604	0,0474	0,1793
2	1	0,0656		0,2508
3	1	0,0629		0,2137

Помимо этого, каменноугольные фусы были подвергнуты перегонке под атмосферным давлением для выделения легких фракций и анализа их содержания. Максимальная температура фусов, достигнутая в процессе перегонки, составляла 200 °С. Для этого образец каменноугольных фусов был подвергнут нагреву в круглодонной колбе на песчаной бане в течение 4 часов. Сбор продуктов разгонки каменноугольных фусов велся в различные сосуды, что позволило разделить основные продукты.

В процессе перегонки фусы сначала размягчились и перешли в пластическое, а затем часть фусов перешла в жидкое состояние с твердыми включениями золы и угольных частиц.

Завершение перегонки произошло по истечению 2 часов нагрева. В процессе перегонки была получена легкая фракция, которая имела желтый цвет с характерным запахом. Кроме того, был получен водный раствор, содержащий смесь фенолов. Нафталин в процессе перегонки осаждался на стенках и был получен в виде кристаллического осадка. Более тяжелые компоненты отогнаны не были из-за недостаточно высокой температуры. Результаты перегонки отражены в табл.3.

Табл. 3. Результаты разгонки фусов

Показатель	Значение
Масса фусов взятая для разгонки, г	187,41
Масса легкой фракции, г	0,96
Масса тяжелого остатка, г	172,18
Масса нафталина, г	2,75
Масса воды, г	11,52

Таким образом, основная масса в составе фусов представлена твердыми угольными и зольными частицами и тяжелыми фракциями каменноугольной смолы.

Таким образом, каменноугольные фусы могут быть применены для изготовления гранул с использованием в качестве связующего каменноугольных фусов. В качестве второго компонента гранул был использован уголь марки Краснокаменская КО, измельченный до фракции 0-1 мм. Опыты по получению и спеканию гранул производились при соотношениях фусы:уголь равными 1:1, 1:2, 1:3. Результаты тестовых спеканий представлены на рис. 2.

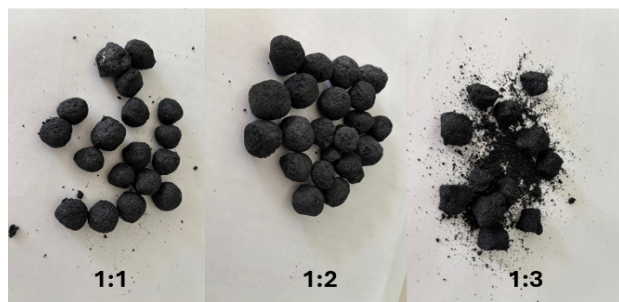


Рис. 2. Гранулы, полученные с использованием каменноугольных фусов и угольной пыли

Оптимальным соотношением было определено соотношение фусы: уголь составляющее 1:2. Гранулы, полученные при использовании соотношения 1:1 имели повышенный выход летучих веществ, а также легко теряли форму в процессе спекания – переходили в пластическое состояние и прилипали к форме. Гранулы, полученные при использовании соотношения 1:3 имели хрупкую структуру и рассыпались на части при небольших усилиях. Это говорит о недостатке связующего.

Полученные при использовании соотношения фусы: уголь равный 1:2 гранулы были подвергнуты исследованию состава с целью определения

возможной области их использования. Результаты технического анализа гранул представлены в табл. 4.

Табл. 4. Химический анализ гранул

Параллель	A, % масс	V ^a , %	S _f ^a , %
1	7,00	23,76	0,30
2	7,00	25,74	0,58
3	8,91	24,75	-
Среднее значение	7,64	24,75	0,44

Определение механической истираемости гранул производилось во вращающемся барабане с решеткой с отверстиями 10 мм, обычно используемый для испытания кокса на показатель M10. Гранулы массой 200 граммов были загружены в барабан и вращались 400 полных оборотов. Большой процент фракции 0-10 мм объясняется тем, что диаметр гранул при их изготовлении составляет 15–20 мм и многие гранулы после уменьшения диаметра проваливались целиком. Результаты испытания представлены в табл. 5.

Табл. 5. Истираемость гранул

№ опыта	m _{пробы} , г	m _{фр>10мм} , г	m _{фр<10мм} , г	M10, %
1	200,00	79,43	120,57	39,72
2	200,00	73,56	126,44	36,78
3	200,00	78,96	121,04	39,48

Полученная фракция менее 10 мм может быть подвергнута рассеву. Мелкая фракция (0-3 мм) может быть использована повторно для изготовления гранул. Гранулы, которые вследствие уменьшения размера прошли сквозь решетку барабана могут быть использованы для проведения спеканий в качестве компонента угольной шихты вместе с гранулами, не подвергавшимися испытаниям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе исследований был изучен состав фусов, а также показана принципиальная возможность использования их в качестве связующего для производства гранул. Получаемые гранулы имеют достаточную прочность, и могут применяться в качестве топлива либо добавок в кокс. Это открывает возможность ресурсосберегающей утилизации каменноугольных фусов без оказания негативного влияния на качество каменноугольной шихты и кокса, вызываемого прямой добавкой фусов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. К. Истратова Угольный кризис 2025: есть решение? / Истратова К. // Добывающая промышленность №2 (50), 2025 г. URL: <https://dprom.online/mining/ugolnyj-krizis-2025-est-reshenie/?ysclid=mdc89ugpc0865715479#> (дата доступа 20.07.2025)
2. Патент РФ № 2524605, Мочалов С. П., Школлер М. Б., Ивушкин А. А. Способ утилизации химических продуктов пиролиза твердых топлив
3. 94038581/03, 12.10.1994 Яковлев С.В. и др. Очистка производственных сточных вод. - М.: Стройиздат, 1985, с. 310, рис. 7.43. Авторское свидетельство СССР N 1101623, кл F 23 G 7/04, 1984.
4. 2013101888/05, 15.01.2013 Зубицкий Б.Д., Дьяков С.Н., Чимаров В.А. УСТАНОВКА ПОДГОТОВКИ

КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ФУСОВ К УТИЛИЗАЦИИ/ Открытое акционерное общество "Кокс".

5. Ветошкина, И. С. Получение высокотехнологичных продуктов из каменноугольной смолы / И. С. Ветошкина // Химия и химическая технология: достижения и перспективы : Материалы IV Всероссийской конференции, Кемерово, 27–28 ноября 2018 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2018. – С. 406.1-406.4. – EDN YNXRMD.

Масалимов Алексей Валерьевич – доцент кафедры математики и естествознания, канд. техн. наук, Новотроицкий филиал ФГАОУ ВО НИТУ «МИСИС», г. Новотроицк тел. +79123150439, e-mail: masalimov.av@misis.ru

Степанова Марина Николаевна – старший лаборант кафедры математики и естествознания, Новотроицкий филиал ФГАОУ ВО национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», тел. 89096068455, e-mail: n2107775@edu.misis.ru.

ON THE PROCESSING OF COAL TAR FUS

A.V. Masalimov, M.N. Stepanova

Novotroitsk Branch of the National University of Science and Technology MISIS, Novotroitsk

Coke-chemical production remains a vital technological component of ferrous metallurgy, yet it imposes a significant environmental burden. Highly toxic wastes present a particular challenge, including coal tar fus—the viscous residue from coal tar purification. Their accumulation and storage pose environmental risks, while existing disposal methods, such as returning them unprepared to the coal charge, degrade coke quality. This study addresses the need for an effective and economical processing method for fus that aligns with principles of resource conservation and closed-loop production cycles. The research focuses on the physicochemical properties of coal tar fus and their potential as a technological component. The objective is to develop and experimentally validate a granulation method using coal tar fus combined with coal dust. The methodology involved a comprehensive analysis of fus properties, including ash content and total sulfur determination, as well as atmospheric-pressure distillation to assess the mixture's composition. The primary approach was experimental, with laboratory-scale granule production from mixtures of coal dust and coal tar fus in varying proportions, followed by evaluation of their characteristics. The study demonstrates the feasibility of effectively using coal tar fus as a binding agent for coal dust granulation. This disposal method paves the way for developing and implementing a resource-efficient technology to manage toxic wastes from coke-chemical production, thereby eliminating their adverse effects on metallurgical coke quality and the environment.

Index terms: coal tar fus, granulation, wastes, coke, coal charge.

REFERENCES

1. K. Istratova Coal crisis 2025: is there a solution? / K. Istratova // Mining industry No. 2 (50), 2025 URL: <https://dprom.online/mining/ugolnyj-krisis-2025-est-reshenie/?ysclid=mdc89ugpc0865715479#> (accessed 07/20/2025)
2. Patent of the Russian Federation No. 2524605, Mochalov S., P., Shkoller M. B., Ivushkin A. A. Method of disposal of chemical products of pyrolysis of solid fuels
3. 94038581/03, 12.10.1994 Yakovlev S.V. et al. Industrial wastewater treatment. Moscow: Stroyizdat, 1985, p. 310, fig. 7.43. USSR Copyright Certificate No. 1101623, cl. F 23 G 7/04, 1984.
4. 2013101888/05, 01/15/2013 Zubitsky B.D., Dyakov S.N., Chimarov V.A. COAL ORE PREPARATION PLANT FOR DISPOSAL/ Open Joint Stock Company "Koks".
5. Vetoshkina, I. S. Production of high-tech products from coal tar / I. S. Vetoshkina // Chemistry and Chemical Technology: Achievements and Prospects : Materials of the IV All-Russian Conference, Kemerovo, November 27–28, 2018. – Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, 2018. – Pp. 406.1-406.4. – EDN YNXRMD.

Masalimov Alexey Valerievich – Associate Professor of the Department of Mathematics and Natural Sciences, Candidate of Technical Sciences, Novotroitsk branch of the Federal State Educational Institution of Higher Education NUST MISIS, Novotroitsk tel. +79123150439, e-mail: masalimov.av@misis.ru

Marina Nikolaevna Stepanova – Senior Laboratory Assistant at the Department of Mathematics and Natural Sciences, Novotroitsk Branch of the National Research University of Technology "MISIS", tel. 89096068455, e-mail: n2107775@edu.misis.ru .