

**ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРУПНОСТИ И
ПРОЧНОСТИ ДОМЕННОГО КОКСА ПРИ
ТРАНСПОРТИРОВКЕ К ПОТРЕБИТЕЛЮ**

**CHANGES IN SIZE AND STRENGTH
CHARACTERISTICS OF THE BLAST COKE DURING IT
TRANSPORTING TO THE CONSUMER**

© 2014 Донской Д.Ф., к.т.н.
(НТУ «ХПИ»),

Золотарев И.В., к.т.н., Яценко Ю.В.
(ЧАО «МАКЕЕВКОКС»),

Торяник Э.И., к.т.н. Кубрак С.С.
(ГП «УХИН»)

Donskoy D.F., PhD in technical sciences
(NTU "KHPI"),

Zolotarev I.V., PhD in technical sciences,
Yatsenko Yu.V. (PJSC "MAKEEVKOKS"),

Toryanik E.I., PhD in technical sciences,
Kubrak S.S. (SE "UKHIN")

В статье изложены результаты исследований изменения показателей физико-механических свойств доменного кокса при транспортировке к потребителю с определением степени его разрушения в процессе его транспортировки в железнодорожных вагонах, разгрузки в порту, складирования, хранения, перегрузки и погрузки в морской транспорт. Полученные результаты могут быть использованы для прогноза изменения количественных и качественных показателей экспортного кокса у зарубежного потребителя, а также для разработки рекомендаций по сокращению потерь крупных классов, возникающих при перегрузках кокса.

The article presents the results of studies of changes in indicators of physical and mechanical properties of coke during transportation to the customer to determine the degree of destruction of metallurgical coke in the process of transportation in railway wagons, unloading at the port, warehousing, storage, handling and loading in sea transport. The results can be used to predict changes of the quantitative and qualitative indicators of coke, which is exported from foreign sources, and to develop recommendations to reduce losses of major classes, arising from the overload of coke.

Ключевые слова: кокс, показатели, прочность, крупность, транспортировка, перегрузки, экология.
Keywords: coke, indicators, strength, partrale size distribution, transportation, handling, and ecology.

Известно, что кокс является хрупким материалом, физико-механические свойства которого с одной стороны, определяются качеством исходной шихты, режимами коксования и тушения, а с другой – зависят от

величины разрушающих усилий, действующих в процессе его транспортировки [1]. Поэтому в процессе транспортировки происходит постоянное изменение показателей кокса в зависимости от его исходной прочности и работы разрушения на тракте транспортирования [2].

Целью настоящей работы является исследование результатов изменения показателей физико-механических свойств доменного кокса при транспортировке к потребителю с определением степени разрушения в процессе транспортирования его в железнодорожных вагонах, разгрузки, складирования, хранения в порту и погрузки в морской транспорт. Исследования проводились в Керченском и Мариупольском торговых портах и на коксохимических предприятиях.

Погруженный в железнодорожные вагоны кокс от производителя транспортируется в Керченский морской торговый порт (МТП), в котором может разгружаться по разным схемам в зависимости от наличия в нем транспорта потребителя (судна).

Кокс из вагонов может разгружаться на площадках хранения, расположенных на разных расстояниях от причала порта. Часть маршрутов с коксом, поданных к причалу, могут (при наличии судна) разгружаться прямо в трюм. Для разгрузки и хранения другой части маршрутов на участке формируется общий штабель, включающий тыловой и кордонный штабеля.

При погрузке из штабеля в трюм судна иногда происходит подрывание бульдозером части разгруженного кокса на участок возле причала, откуда его грузят краном в трюм судна. По ходу погрузки происходит также зачистка бульдозером отведенного участка в направлении причала.

Зачистка вагонов происходит по мере их разгрузки с участием механизированных средств (погрузчик, бульдозер). Как правило, это происходит на железнодорожных путях.

Общая технологическая схема поставки партии кокса в порт построена исходя из минимизации затрат на его хранение в порту и не учитывает значительное количество перегрузок, которые создают дополнительную работу разрушения кокса, приводящую к его измельчению. Анализ схемы размещения партии груза кокса в Керченском МТП показал:

– из всего объема поступившего кокса (8000 т) только 3000 т (37,5 %) было разгружено вблизи причалов;

– 1000 т кокса (12,5 %) подверглись нескольким перегрузкам по схеме «вагон – грейфер – штабель – ковшовый погрузчик – грузовой автотранспорт – штабель».

– 4000 т кокса (50 % от всего поступившего груза) было расположено на дальних от причала площадках, что предполагает операцию по его двойной (как минимум) перегрузке с последующей зачисткой грейферным погрузчиком и бульдозером всей площади отведенного участка хранения.

Общая площадь участка складирования половины груза составила около 9000 м².

Погрузка всего количества груза на судно предполагает проведение технологической операции «штабель – ковшовый погрузчик – грузовой автотранспорт – штабель у кордона – грейфер – трюм судна». Кокс из вагонов выгружается порталными кранами, оснащенными грейферами. Операции по забору кокса в грейфер из вагона повторяются до 30-ти раз, в зависимости от индивидуальных навыков крановщика и могут производиться по двум разным схемам (табл. 1).

Таблица 1

Количество операций по забору кокса в ковш грейфера при выгрузке из вагона

	Вариант	№ ковша при разгрузке												Всего операций
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Максимальное количество операций по набору ковша	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	4	6	7	30
	2	1	1	2	1	1	2	1	2	4	4	-	-	19

Как видно из данных табл. 1, разгрузка из вагона по первому варианту производится за 30 наборов кокса ковшом, в то время как по второму варианту – за 19 наборов. Поэтому в первом варианте кокс измельчается в большей степени, чем во втором из-за разрушения фракций вследствие многократных операций по набору кокса в ковш грейферного крана при разгрузке вагона.

Для оценки изменения показателей физико-механических свойств доменного кокса при транспор-

тировании, выгрузке, складировании, хранении и отплавке потребителю груза кокса в Керченском МТП были проведены отборы проб кокса с последующим определением его ситового состава, механической прочности и технического анализа. Отбор производился:

- при погрузке кокса в вагоны на заводе;
- при разгрузке кокса из вагонов по приходу в порт;
- из штабеля после его формирования;
- из штабеля при погрузке кокса на судно.

Испытывалась партия кокса, состоящая из 44 вагонов. Отбор проб производился из 5-ти вагонов по 7-ми точкам, предусмотренным ДСТУ 322-12-3-95 п.5.3.2. после снятия верхнего слоя кокса. Из каждого вагона отбиралось по 100 кг кокса порциями по 40 и 60 кг, из которых были сформированы пробы для определения показателей качества.

В порту из пяти выгруженных вагонов был сформирован штабель, из которого с 20-ти точек в соответствии с требованиями ISO 2309, п.7.9.1. были отобраны пробы. Пробы кокса были подвергнуты рассеиванию только на ситах с отверстиями диаметром 80, 40 и 25 мм. Результаты анализов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Ситовый состав и механическая прочность кокса крупнее 40 мм на разных участках транспортирования в Керченский торговый морской порт

№	Место отбора пробы	Гранулометрический состав, %						Механическая прочность, %		Технический анализ, %			
		+80	60-80	40-60	+40	25-40	0-25	M40	M10	W ^r	A ^a	S _t ^a	V ^a
1	Погрузка на заводе	9,9	45,3	38,2	93,4	5,1	1,5	76,5	7,1	5,4	11,0	0,7	0,7
2	С верха вагона в порту	-	-	-	86,6	11,4	2,0	77,8	7,2	5,2	11,1	0,7	0,8
3	Средняя проба со штабеля после выгрузки вагонов	-	-	-	83,9	12,0	4,1	81,4	7,2	5,0	11,0	0,7	0,7

Анализ приведенных в табл. 2 данных показывает изменение ситового состава кокса при транспортировке, разгрузке и формировании штабеля перед погрузкой на судно. Так, наблюдается уменьшение содержания фракции крупнее 80 мм, причем часть фракции разрушается в процессе транспортировки (с 9,9 до 6,9 %), а часть – в процессе формирования штабеля (с 6,9 до 4,7 %). При этом происходит уменьшение содержания фракции крупнее 40 мм (с 93,4 до 85,8 %) по прибытии в порт с дальнейшим уменьшением до 84,6 % при разгрузке вагонов и до 84,1 % после формирования штабеля. Соответственно, наблюдается увеличение содержания фракции 25-40 мм и возрастание количества мелочи (фракция менее 25 мм), что свидетельствует о наличии ударных и истирающих усилий при разгрузке кокса из вагонов и формировании штабеля.

Показатели механической прочности, определяемые в малом барабане, также изменяются. В процессе транспортирования и проведения погрузочно-разгрузочных работ в порту наблюдается рост показателя дробности (M40) с 76,5 % при погрузке на заводе до 77,8 % по прибытию в порт и до 81,4 % после формирования штабеля. Показатель, характеризующий истираемость кокса (M10), в процессе транспортировки существенно не меняется.

Таким образом, при транспортировке кокса в вагонах до Керченского порта происходит изменение его ситового состава кокса за счет полного разрушения класса крупнее 80 мм, уменьшения содержания классов крупнее 40 мм в среднем на 7 %, в то время как, содержание класса крупнее 25 мм снижается на 0,5 %.

Выгрузка кокса из вагона грейфером и формирование штабеля приводит к дальнейшему снижению содержания классов крупнее 40 и 25 мм на 2-3 %. При этом показатель механической прочности M40 увеличивается на 1 % после разгрузки и на 2 % после формирования штабеля. Истираемость (M10) и показатели технического анализа при транспортировке и разгрузке кокса практически не изменились.

Анализ полученных данных позволяет оценить уровень изменения выхода крупных и мелких фракций кокса в процессе транспортировки, разгрузки и складирования его в Керченском порту путем сопоставления показателей крупности и прочности кокса, определенных в порту, с соответствующими показателями этого же кокса, определенными на кохозимическом предприятии-изготовителе (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика изменения по фракциям	Наименование операции				Суммарное изменение
	транспортировка по жел. дороге	разгрузка вагонов грейфером		формирование штабеля	
		разгрузка	зачистка		
Уменьшение фракции +40 мм	6,8	2,1	0,8	0,5	10,2
Увеличение фракции 25-40 мм	6,3	1,0	-	0,2	7,5
Увеличение фракции 0-25 мм	0,5	1,1	0,8	0,3	2,7

Изменение содержания классов кокса при транспортировании, разгрузке и складировании в Керченском МТП, %

Поставка кокса в Мариупольский порт, как и в Керченский, осуществляется железнодорожным транспортом. Однако технологические схемы приема, разгрузки, размещения и погрузки на судно различаются не только расстоянием, но и степенью механизации. В Мариупольском порту железнодорожные вагоны с коксом разгружаются роторным вагоноопрокидывателем, после чего системой транспортеров подаются на поля склада в штабеля или в трюм судна.

Система транспортеров со скоростью движения ленты более 2 м/с включает в себя три перепада общей высотой 7 м:

- роторный вагоноопрокидыватель – транспортер – 1,5 м;
- перегрузочная станция ПС-1 – 2,5 м;
- передвижной конвейер – склад – 3,0 м.

При этом на каждой перегрузке и особенно при штабелировании кокса на склад передвижным конвейером происходит дополнительное измельчение крупных классов кокса с образованием мелочи, а также его истирание с образованием пыли.

Погрузка кокса на судно может производиться по двум схемам. Схема № 1 включает: склад – механизированный заборник – система транспортеров – углепогрузочный комплекс (УПК), оснащенный штабелером – трюм судна. В данной схеме при механизированном заборе кокса со склада из штабеля происходит его значительное измельчение – в основном за счет работы роторного механизма, а также за счет перепадов кокса при перегрузках.

Далее кокс системой транспортеров (общая длина более 850 м; скорость движения ленты более 2 м/с) проходит три перегрузочные станции с высотой перепада 2 м каждая, подается на УПК и затем через загрузочную трубу с высоты более 8 м поступает в трюм судна.

Схема № 2 включает разгрузку вагонов с коксом грейферным краном и формирование штабеля вблизи причала с последующей погрузкой этим краном в трюм. При погрузке на судно из данного штабеля, как правило, образуется значительное количество мелких классов кокса, получившихся не только при зачистке вагонов и причала, но и при перемещении части груза по площади склада перед погрузкой.

Испытания проводились с партией кокса, состоящей из 40 вагонов.

По 1-й схеме было поставлено и разгружено 6000 т кокса (лот 1, 2, 3).

По 2-й схеме было поставлено и разгружено 4000 т кокса (лот 4, 5).

Определение показателей ситового состава и механической прочности партии производилось при погрузке кокса на заводе-изготовителе и при погрузке на судно. В табл. 4 приведены результаты определения этих показателей партии кокса, поставленной в Мариупольский морской торговый порт и отправленной потребителю по схемам №№ 1 и 2.

Анализ полученных данных показывает следующее.

Исходное качество кокса данной партии при погрузке у поставщика соответствует нормативным показателям технических условий. Ситовый состав кокса, привезенного в порт, изменяется в направлении уменьшения содержания фракций крупнее 40 и 25 мм за счет увеличения содержания фракций 25-40 и менее 25 мм. Абсолютные величины уменьшения этих показателей различаются в зависимости от способа погрузки кокса в трюм судна. Механическая прочность кокса при транспортировании и перегрузках увеличивается по показателю М40 с 76,5 до 82,0 %, а показатель М10 уменьшается с 7,1 до 5,6 %.

Таблица 4

Ситовый состав и механическая прочность кокса, отгруженного потребителю Мариупольским торговым портом по различным схемам

№	Место отбора пробы	Гранулометрический состав, %					Механическая прочность, %		
		+80	60-80	40-60	+40	25-40	0-25	М40	М10
1	Погрузка на заводе	9,0	50	34,8	93,8	4,7	1,5	77,1	7,3
2	Погрузка на судно в порту (лот 1, 2, 3), схема погрузки № 1	1,60	-	-	68,4	17,50	12,5	-	-
3	Погрузка на судно в порту (лот 4, 5), схема погрузки № 2	2,70	72,3	-	75,0	17,7	7,3	82,0	5,6

Сопоставление показателей качества проб кокса, погруженного на судно по схеме №1 (лот 1, 2, 3), с показателями качества кокса, погруженного по схеме №2 (лот 4, 5), свидетельствует о существенном влиянии

технологии, применяемой в Мариупольском порту при выгрузке кокса из вагонов и погрузке его на судно, на изменение ситового состава и механической прочности кокса.

Таблица 5

Показатели качества кокса на разных участках его транспортирования, разгрузки и погрузки на судно в Мариупольском торговом порту

№	Место отбора пробы	Ситовый состав, %, по классам, мм				Прочность, %		Технический анализ, %			
		+80	40-80	25-40	0-25	M40	M10	W ^f	A ^d	S _t ^d	V ^d
1	При погрузке на заводе	7,4	84,6	6,0	2,0	77,5	7,0	5,6	11,1	1,2	0,8
2	При разгрузке из вагонов в порту (прямой погрузке на судно)	6,0	83,0	8,7	2,3	78,1	7,1	5,3	11,0	1,0	0,8
3	При погрузке на судно из штабеля	3,8	79,5	12,3	4,4	81,2	6,9	5,0	11,2	1,1	0,7

При этом необходимо отметить, что изменение показателей крупности и прочности кокса у производителя и при погрузке в порту свидетельствует о принципиальной возможности использования методики, моделирующей процесс разрушения исходного кокса в барабане, для прогноза величины изменения показателей его качества в результате транспортировки и складирования у потребителя [3]. Однако следует иметь в виду, что речь идет о суммарном вкладе отдельных технологических операций в процессы разрушения кусков кокса, поскольку трудно отобрать представительные пробы кокса на разных этапах его транспортировки потребителю, что затрудняет документальную оценку влияния отдельных операций на изменение крупности транспортируемого кокса.

Для выработки рекомендаций по использованию оптимальных типоразмеров грейферов для проведения разгрузочно-погрузочных работ необходимо уточнить характеристики используемых механизмов, а также технологическую схему организации работ в порту применительно к коксу с проведением дополнительных исследований влияния отдельных технологических операций на процессы разрушения кокса [4].

Таким образом, анализ показателей качества отдельных партий кокса, отправленных и погруженных потребителю через Мариупольский МТП по различным схемам, позволяет оценить и в какой-то мере спрогнозировать изменения крупности и прочности кокса при транспортировке и перегрузках. Результаты прогноза приведены в табл. 5.

Анализ технологических схем приема и отгрузки кокса в Мариупольском и Керченском морских портах показывает, что участки приема, разгрузки, складирования и погрузки с использованием грейферных кранов в целом одинаковы для обоих портов. Однако Мариупольский порт оборудован механизированными участками для обработки сыпучих грузов, которые, как показали исследования, не приемлемы для перегрузок кокса и передачи его потребителю из-за высоких потерь крупных, товарных классов кокса

Задача поставки доменного кокса на экспорт через морской порт сводится к оптимизации значения показателей механической прочности и крупности при минимальных потерях поставляемого продукта (из-за образования мелких классов). В этом случае целесообразно использовать механическую обработку у поставщика с целью дополнительного упрочнения товарного кокса, использования мелких классов для своих потребностей и экономии на транспортных перевозках [5].

Как показал анализ приема и погрузки кокса, в морских портах используется нормативная документация, регламентирующая методику разгрузки-погрузки сыпучих грузов, в частности – угля. При этом не учитывается, что кокс является не только сыпучим, но и механически хрупким материалом. Поэтому необходимо разработать нормативную документацию, регламентирующую методику разгрузки-погрузки и хранения кокса, поскольку крупность и прочность доменного кокса являются ценообразующими показателями, обеспечивающими рентабельность торговых операций. Целесообразно рассмотреть возможности применения упаковочной тары в виде пластиковых мешков «биг-бег» большой емкости (до тонны кокса), что существенно упрощает погрузочно-разгрузочные работы и снижает пылеобразование и потери (в виде мелких классов) на всех этапах транспортирования от поставщика к потребителю.

Выводы и рекомендации

1. При транспортировании кокса от производителя к потребителю через Мариупольский и Керченский морские порты показатели, характеризующие его качество, изменяются.

Ситовый состав изменяется в направлении увеличения содержания фракций 25-40 и менее 25 мм за счет уменьшения содержания фракций крупнее 40 и 25 мм. Основным фактором, обуславливающим изменение этих показателей, является величина работы разрушения кокса, возникающая:

– при следовании груза в железнодорожных вагонах;

– при разгрузке из вагонов и формировании штабеля кокса с применением грейферного крана;

– при погрузке кокса на судно грейферным краном или механизированным погрузочным комплексом.

Показатели механической прочности кокса (М40 и М10) при этом улучшаются за счет механической обработки.

2. Влажность кокса, учитывая его транспортирование в открытых вагонах и хранение на открытых площадках, значительно зависит от погодных условий. Поэтому расчет поставок кокса между поставщиком и потребителем должен вестись по сухому весу. При этом следует учесть, что влажность кокса является важным пылеподавляющим фактором, обеспечивающим снижение образования коксовой пыли по пути следования маршрутов и при выгрузке-погрузке в порту.

3. Показатели технического анализа кокса в процессе его транспортирования практически не меняются. Однако при нарушениях в процессе складирования (смешение с углем, коксовой мелочью, коксовым орешком, минеральными веществами и др.) может иметь место некоторое ухудшение этих показателей.

4. Для прогноза изменения показателей крупности, прочности, технического анализа отправляемого на экспорт кокса может быть использована методика определения динамики разрушения исходного кокса в малом барабане. При этом опытным путем необходимо определять уровень изменения этих показателей на

отдельных этапах транспортировки кокса к потребителю.

5. При составлении контрактов на экспортные поставки кокса необходимо оценить уровень механических нагрузок, которым подвергается кокс при транспортировании, разгрузки, складировании и погрузки его потребителю с целью прогноза выхода и качества товарного класса у потребителя методом определения динамики разрушения исходного кокса под действием механических нагрузок.

Библиографический список

1. Мучник Д.А. Сортировка кокса / Д.А.Мучник, Е.Б.Иванов. – М.: Металлургия, 1968. – 292 с.
2. Мучник Д.А. Теория и техника охлаждения кокса / Д.А.Мучник, Ю.С.Постольник. – Киев – Донецк: Вища школа, 1979. – 159 с.
3. Мучник Д.А. Формирование свойств доменного кокса / Д.А.Мучник. – М.: Металлургия, 1983. – 182 с.
4. Доменное производство. Справочник. Т. 1. – М.: Металлургия, 1989. – 496 с.
5. Мучник Д.А. Расчеты и прогнозирование показателей качества металлургического кокса с использованием ПК / Д.А.Мучник, В.М.Гуляев. – Днепропетровск: Изд-во ДГТУ, 2007. – 225 с.

Рукопись поступила в редакцию 12.02.2014