

DOI 10.52351/00232815_2025_10_45
УДК 62-663.7

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕХАНИЗМА АВАРИЙНОГО ВЫТАСКИВАНИЯ ПЛАНИРНОЙ ШТАНГИ КОКСОВЫТАЛКИВАТЕЛЯ АО «УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ»

Дмитрий Рудольфович Ганин¹, канд. техн. наук (dmrgan@mail.ru)
Павел Васильевич Штифанов² (p.shtifanov@uralsteel.com)

¹ Новотроицкий филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет МИСИС», г. Новотроицк, 462359. Россия

² АО «Уральская Сталь», г. Новотроицк, 462353. Россия

Аннотация. В коксовыталкивателе, обслуживающем печи коксовых батарей (КБ) № 1, 3, 4, 6 коксового цеха АО «Уральская Сталь», при поломке механизма основного привода планирная штанга из печи выводится ручной лебедкой, установленной рядом с основным приводом. При аварии это делают два рабочих в течение одного часа. Для автоматизации и ускорения вытаскивания планирной штанги коксовыталкивателя, повышения надежности механизма аварийного вытаскивания предложена замена ручного привода лебедки на электромеханический привод. Модернизация механизма аварийного вытаскивания планирной штанги позволит снизить время внеплановых простоев оборудования и себестоимость кокса, увеличить рентабельность и объем производства продукции, отказаться от ручного труда при небольшом сроке окупаемости дополнительных капитальных вложений на модернизацию оборудования.

Ключевые слова: коксовыталкиватель, загрузка угольной шихты, планирное устройство, планирная штанга, аварийный привод, лебедка, модернизация

MODERNIZATION OF THE EMERGENCY PULLING OUT MECHANISM OF THE COKE PUSHER PLANNER AT JSC «URAL STEEL»

Dmitriy R. Ganin¹; **Pavel V. Shtifanov**²

¹ Novotroitsk branch of the National University of Science and Technology «MISIS», Novotroitsk. Russia

² JSC «Ural Steel», Novotroitsk. Russia

Abstract. In the coke pusher servicing the furnaces of coke batteries (CB) № 1, 3, 4, 6, coke shop of JSC «Ural Steel», if the main drive mechanism breaks down, the leveling rod is pulled out of the furnace by a manual winch installed next to the main drive. In case of an accident, this is done by two workers within one hour. To automate and speed up the pulling out of the coke pusher leveling rod, to increase the reliability of the emergency pulling out mechanism, it is proposed to replace the manual winch drive with an electromechanical drive. Modernization of the emergency pulling out mechanism of the leveling rod will reduce the time of unscheduled equipment downtime and the cost of coke, increase profitability and production volume, and eliminate manual labor with a short payback period for additional capital investments in equipment modernization.

Keywords: coke pusher, coal charge loading, leveling device, leveling rod, emergency drive, winch, modernization

В состав коксохимического производства (КХП) АО «Уральская Сталь», основная продукция которого – кокс металлургического класса >25 мм, коксовый орешек 10–25 мм, коксовая мелочь ≤10 мм, входит коксовый цех с КБ № 1, 3, 4, 6 [1, 2]. КБ № 1, 3, 4 содержат по 61 камере коксования, имеют производительность по коксу 6%-ной влажности 426 тыс. т/год каждая; КБ № 6 содержит 65 камер коксования, имеет производительность по коксу

6%-ной влажности 690 тыс. т/год [2]. Параллельно расположенные печные камеры КБ № 1, 3, 4, 6 с машинной стороны обслуживаются коксовыталкивателями, обеспечивающими комплекс операций по выдаче кокса из камеры коксования и загрузке в нее угольной шихты [3].

В период загрузки печных камер шихтой коксовыталкиватель специальным планирным устройством одновременно разравнивает (пла-

нирует) верх угольной загрузки в камере коксования для свободного прохода парогазовых продуктов к газоотводящим люкам. От качества планирования угольной загрузки и конструкции планира зависят величина загрузки печных камер и условия обогрева их верхней зоны. Повышение плотности угольной загрузки позволяет увеличить в шихте для коксования долю газовых

и слабоспекающихся углей и повысить производительность коксовых батарей.

Планирное устройство, установленное на верхней площадке коксовытакивателя, состоит из планирной штанги, вспомогательных металлоконструкций, рабочего привода управления штангой, натяжного устройства, привода аварийного вытаскивания, опорно-упорных стоек, привода открывания люка для планирования.

Планирная штанга вводится в камеру коксования через открытый планирный лючок двери с машинной стороны практически на всю длину камеры и совершает длинные и короткие возвратно-поступательные движения, в результате которых происходит разравнивание шихты. Она передвигается по опорным роликам, установленным в опорных стойках, с помощью реверсивно работающего канатного привода, состоящего из электродвигателя, редуктора, барабана с тросом и тормоза. Фиксируют штангу верхние упорные ролики. Управление планирным устройством осуществляется из кабины машиниста (электросхемой предусмотрена работа планира в автоматическом и ручном режимах). При поломке механизма основного привода планир из печи выводится ручной лебедкой, установленной рядом с основным приводом. Двое рабочих извлекают планирную штангу с помощью ручной лебедки за один час.

Цель работы – модернизация механизма аварийного вытаскивания планирной штанги.

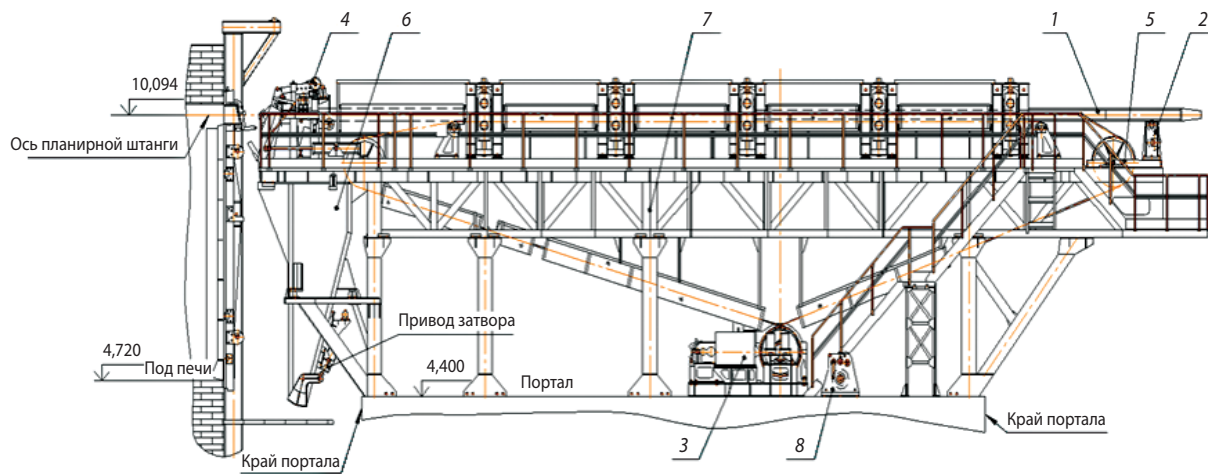
Основная часть

Модернизацию механизма аварийного вытаскивания планирной штанги рассмотрим на примере эксплуатируемого в КХП коксовытакивателя КВ 30,3, обслуживающего КБ № 6. Его техническая характеристика приведена в таблице.

Основное оборудование коксовытакивателя расположено на рабочих площадках металлокон-

Техническая характеристика коксовытакивателя

Показатели	Значение
Производительность по обслуживанию, циклов/ч	5–7
Время цикла основных операций, с	480
Число установок в цикле, шт.	2
Скорость движения, м/с:	
маршевая	1,64
при установке на обслуживание	0,01–0,05
вытакивающей штанги	0,5 ± 0,03
рабочих органов скребков на механизмах чистки рамы и двери	≤0,35
Рабочий ход, мм:	
вытакивающей штанги	20227
планирной штанги	16150
дверьсъемы на снятие двери	2000
дверьсъемы на чистку двери	900
механизма срыва двери	130
Габариты коксовытакивателя, мм:	
длина	24380
ширина	12700
высота	10930
Усилие max, кН:	
вытакивания кокса	300
процесса загрузки шихты	30
срыва двери	120
установки дверей на камеру	45
Диаметр опорных колес, мм	800
Число опорных колес, шт.:	
общее	8
приводных	4
Колея, мм	10000
База, мм	7600
Суммарная установленная мощность, кВт	355
Расход электроэнергии, кВт·ч/цикл	6–8
Число электроприводов, шт.	18
Масса, т	228



Р и с. 1. Устройство планирное:

1 – планирная штанга; 2 – стойки с опорными роликами; 3 – привод; 4 – механизм открывания и закрывания планирного люка; 5 – натяжное устройство; 6 – бункер; 7 – металлоконструкция; 8 – аварийный привод

струкции: на нижней площадке – компрессорная станция, воздухосборники, кабина пускорегулирующей аппаратуры; на специальной площадке у нижнего пояса опорных балок – механизм передвижения; на средней площадке – выталкивающее и планирное устройства, двересъем с механизмами чистки рам броней и дверей коксовых печей, привод планирного устройства (рис. 1), бункера планирного выгреба и обезграфичивающее устройство; на верхней площадке – планирная штанга, механизм открывания и закрывания планирной дверцы, механизм сталкивания шихты и кабина машиниста [4]. Для уплотнения верхней части угольной загрузки в печной камере и заполнения межлюкового пространства шихтой планирная штанга коксовытальщика оборудована «утюжками», установленными в следующем порядке: первый – на носке планира, второй и третий – на расстоянии соответственно 2,2 и 3,3 м от носка планира.

Планирная штанга подается в печь после полного опорожнения крайних бункеров углезагрузочного вагона и насадки среднего бункера на «пробку» по команде машиниста загрузочного вагона [2]. Планирование выполняется в автоматическом режиме до появления угольной шихты в планирном окне. При появлении шихты в планирном окне машинист коксовытальщика подает машинисту углезагрузочного вагона сигнал на закрытие шибера на среднем бункере вагона. После этого планирование переводится на ручное управление и делаются 3–5 «ходов» длиной 8,5–9,0 м. Подача планира производится до оси газотводящего стояка коксовой стороны.

На планирной штанге каждого коксовытальщика установлены риски максимального захода штанги в камеру коксования короткого и длинно-

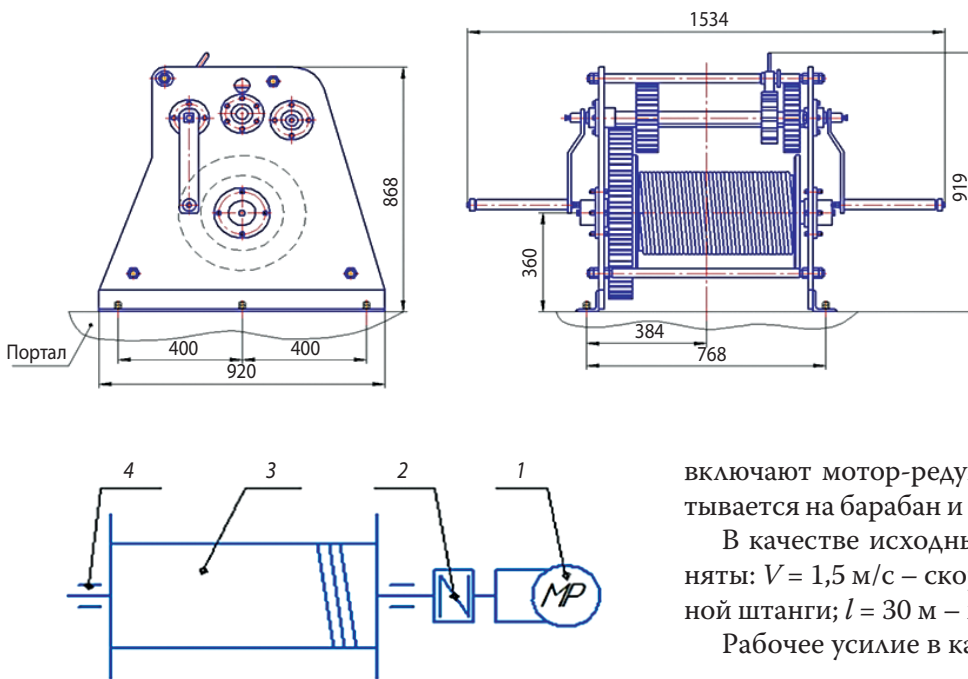
го «ходов». Положение планирной штанги относительно свода печи регулируется, а конструкция и ролики планирной штанги обеспечивают провисание конца штанги при подаче ее на всю длину загружаемой печи не более 250 мм. После окончания планирования в автоматическом режиме или по команде машиниста вагона при работе без автоматики планир выводится из печи в транспортное положение, машинист коксовытальщика закрывает крышку планирного люка, уплотняет ее и верх двери специальной промазкой, перегоняет коксовытальщик на следующую печь [2].

Текущие ремонты коксовытальщика продолжительностью 8 ч, во время которых проводят ревизию и ремонт ходовых колес, редукторов, других механизмов, бригада из пяти человек осуществляет раз в месяц. Капитальные ремонты коксовытальщика длительностью в двое суток, во время которых восстанавливают металлоконструкции и ремонтируют механизмы машины, бригада из десяти человек осуществляет раз в три года.

При поломке механизма привода аварийного вытаскивания штанги ее можно вывести из печи с помощью лебедки ручной барабанной ТЛ-5А (рис. 2), имеющей следующие технические характеристики:

Тяговое усилие в канате, кН	50
Диаметр каната, мм	21
Канатоемкость барабана (не менее), м	75
Максимальное усилие на одной рукоятке, кг	12

Модернизация механизма аварийного вытаскивания планирной штанги коксовытальщика КХП АО «Уральская Сталь» заключается в замене лебедки ручной барабанной ТЛ-5А на лебедку с



Р и с. 3. Кинематическая схема модернизированного механизма аварийного вытаскивания планирной штанги:

1 – мотор-редуктор; 2 – муфта упругая втулочно-пальцевая; 3 – барабан; 4 – подшипниковая опора

электроприводом. Кинематическая схема модернизированного механизма аварийного вытаскивания планирной штанги показана на рис. 3.

Лебедка с мотор-редуктором, к преимуществам которого относятся блочная конструкция, низкий уровень шума и простота обслуживания, установлена на сварной раме. На стойках, приваренных к раме, установлены подшипниковые опоры барабана лебедки. Вал мотора-редуктора соединен с валом барабана лебедки муфтой упругой втулочно-пальцевой (МУВП), закрытой защитным кожухом, прикрепленным к раме с помощью болтов (рис. 4).

При поломке основного привода планирного устройства планирная штанга остается в печи. Для вытаскивания штанги канат, закрепленный на барабане лебедки, крепят к носку штанги, а затем

включают мотор-редуктор. Канат при этом наматывается на барабан и вытаскивает из печи штангу.

В качестве исходных данных для расчета приняты: $V = 1,5$ м/с – скорость перемещения планирной штанги; $l = 30$ м – максимальная длина каната.

Рабочее усилие в канате:

$$S = (mg)/\eta = (2677 \cdot 9,81)/0,98 = 26797,3 \text{ Н},$$

где $m = 2677$ кг – масса планирной штанги; $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения; $\eta = 0,98$ – коэффициент полезного действия (КПД) обводного блока.

Допускаемое разрывное усилие каната [5]:

$$F_0 \geq Z_p S = 3,15 \cdot 26797,3 = 84411,5 \text{ Н},$$

где $Z_p = 3,15$ – минимальный коэффициент использования каната (коэффициент запаса прочности), определяемый в зависимости от группы классификации механизма по ИСО 4301/1 (в нашем случае при режиме работы М1).

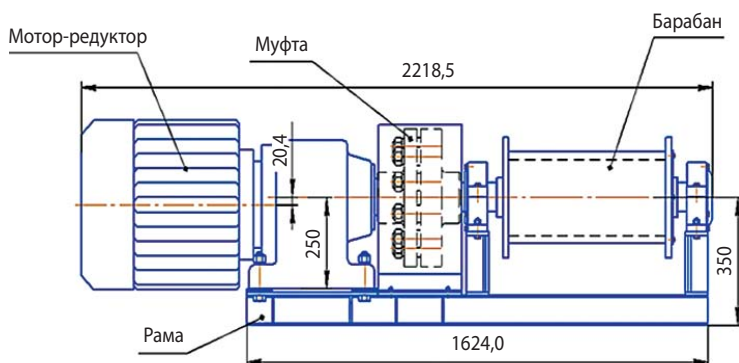
В соответствии с ГОСТ 2688–80 выбран канат диам. 13 мм маркировочной группы 1770 Н/мм² (180 кгс/мм²) с суммарным разрывным усилием всех проволок в канате 107500 Н и разрывным усилием каната в целом не менее 89000 Н [6].

Диаметр гладкого барабана лебедки, выполненного сварным из стали марки Ст3 ГОСТ 380–2005 [7], согласно расчетам составит $D_B = 250$ мм, а длина $L_B = 552$ мм. Толщина стенки барабана равна $\delta = 20$ мм, а диаметр его ребора $D_p = 330$ мм.

КПД модернизированного привода механизма аварийного вытаскивания штанги:

$$\eta_{\text{пр}} = \eta_{\text{м-р}} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{п.к}} = 0,88 \cdot 0,98 \cdot 0,99 = 0,85.$$

Здесь $\eta_{\text{м-р}} = 0,88$ – КПД мотор-редуктора; $\eta_{\text{м}} = 0,98$ – КПД муфты; $\eta_{\text{п.к}} = 0,99$ – КПД одной пары подшипников качения.



Р и с. 4. Лебедка с электроприводом

Мощность, необходимая для вытаскивания штанги:

$$N = (S V_k) / (1000 \eta_{пр}) = \\ = (26797 \cdot 1,0) / (1000 \cdot 0,85) = 31,5 \text{ кВт},$$

где S – максимальное рабочее усилие в канате лебедки, Н; V_k – скорость навивки каната на барабан, м/с (примем $V_k = 1,0$ м/с); $\eta_{пр} = 0,85$ – КПД модернизированного привода механизма аварийного вытаскивания штанги.

Частота вращения барабана n_6 , мин⁻¹:

$$n_6 = \frac{1000 \cdot 60 V_k}{\pi [D_6 + d_k]} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 1,0}{3,14 \cdot [250 + 13]} = 72,7 \text{ мин}^{-1},$$

где $d_k = 13$ мм – диаметр каната.

Согласно расчету выбран цилиндрический соосный мотор-редуктор RC107 с относительно высоким КПД, невысокой стоимостью, длительным сроком службы и следующей технической характеристикой: мощность 37 кВт; КПД электродвигателя 92,7 %; тип электродвигателя АИС-225-S4; номинальный вращающий момент выходного вала 4820 Н·м; частота вращения выходного вала 73 мин⁻¹; передаточное число 20,07.

В качестве опор вала барабана выбраны два подшипника качения роликовых сферических двухрядных с ассиметричными роликами – Подшипник 3614 ГОСТ 5721–2022 (импортный аналог имеет обозначение 22314), рассчитанные на грузоподъемность и долговечность.

Для соединения вала барабана лебедки с выходным валом мотор-редуктора по диаметру вала и величине расчетного момента выбрана муфта – МУВП 8000-70-1 ГОСТ 21424–93:

$$T_p = k \cdot T_{ном} = 1,25 \cdot 4820 = 6025 \text{ Н·м},$$

где $k = 1,25$ – коэффициент режима работы; $T_{ном} = 4820$ Н·м – номинальный (или наибольший из длительно действующих) момент.

Муфта МУВП компенсирует радиальные смещения валов 0,2–0,4 мм, осевые – до 5 мм, угловые – до 1,5° [8]. Работоспособность МУВП определяется прочностью резиновых втулок, критерием оценки которой является значение давления в контакте втулки и пальца:

$$p = \frac{2T_p \cdot 1000}{z l_b d_n D_m} = \frac{2 \cdot 6025 \cdot 1000}{10 \cdot 71 \cdot 38 \cdot 280} = \\ = 1,6 \text{ МПа} \leq [p] = 3 \text{ МПа}.$$

Здесь $T_p = 6025$ Н·м – расчетный момент муфты; $z = 10$ – число втулок; $d_n = 38$ мм – диаметр пальцев под резиновой втулкой; $l_b = 71$ мм – длина резиновой втулки; $D_m = 280$ мм – диаметр окружности расположения центров пальцев; $[p] = 3$ МПа –

допускаемое удельное давление между пальцами и втулкой.

Проверочный расчет пальцев МУВП на изгиб:

$$\sigma_{и} = \frac{T_p l_b \cdot 1000}{0,1 z d_n^3 D_m} = \frac{6025 \cdot 71 \cdot 1000}{0,1 \cdot 10 \cdot 38^3 \cdot 280} = \\ = 27,8 \text{ МПа} \leq [\sigma_{и}] = 80 \text{ МПа},$$

где $\sigma_{и}$ – действительное напряжение на изгиб в пальцах, МПа; $[\sigma_{и}]$ – допускаемое напряжение на изгиб в пальцах, МПа.

Для соединения полумуфты и вала барабана лебедки после проверки соблюдения условий прочности на смятие и срез выбрана Шпонка 20×12×125 ГОСТ 23360–78 из материала Сталь 45 ГОСТ 1050–2013.

Планирование угольной шихты положительно влияет на эффективность производства кокса, когда конструкции планирного устройства и штанги учитывают влияние многократных циклических перепадов температур, приводящих к разрушению сварных швов и короблению элементов штанги, требующих затрат на ремонты. Поэтому положительный эффект при планировании также может быть достигнут совершенствованием существующих конструкций планирных штанг для уменьшения обратного выгреба шихты в бункер [4].

Известны различные конструкции планирных штанг:

1) штанга, в которой для устранения выгреба шихты из камеры при планировании и увеличения полезного использования ее объема внутри неподвижного каркаса вмонтирован приводной реверсивный шнековый винт из отдельных секций, соединенных между собой универсальными шарнирами [9];

2) штанга, в которой для ускорения и равномерного разравнивания шихты спереди шарнирно укреплен лопатообразная сдвижка, поддерживаемая во время поступательного движения в приподнятом положении при помощи штока, помещенного в направляющей трубе и приводимого в движение кареткой, в направляющих которой движется ползун, соединенный с одной стороны шарнирно с кареткой, с другой – жестко со штоком [10];

3) штанга, в которой для уплотнения угольной загрузки в печных камерах, установлены электрический вибратор и уплотняющие пластины, а также смонтировано заключенное в герметичный кожух воздушное обдувочное устройство [11];

4) штанга, в которой кроме жестко прикрепленного вибратора установлены два или несколько вибраторов со свободным креплением, обеспечивающим перемещение вибратора в вертикальном направлении [12];

5) штанга, содержащая корпус с упорами, планир и поворотные узлы, закрепленные на осях в корпусе и соединенные с приводом, отличающаяся тем, что для повышения эффективности штанги поворотные узлы соединены с приводом посредством рычажной системы и каретки, смонтированной в планире [13];

6) штанга, состоящая из параллельно расположенных горизонтальных полос, соединенных между собой в передней части перегородками, а в хвостовой части – листами, отличающаяся тем, что с целью повышения сохранности кладки печи путем удаления переуплотненной шихты из зазора между планирной штангой и кладкой, полосы снабжены ножами, закрепленными на их внешней поверхности, клиновидными направляющими, установленными в верхней и нижней частях полос и примыкающими к ножам с двух сторон, и в полосах по обе стороны от ножей выполнены отверстия [14];

7) штанга, состоящая из двух боковых вертикальных параллельных полос, соединенных между собой вертикальными перегородками и горизонтальными стержнями, отличающаяся тем, что с целью повышения производительности она снабжена центральным и боковыми уплотнителями, чередующимися между собой по длине штанги и выполненными в виде двухгранников, направленных углом вверх и ограниченных снизу выпуклой цилиндрической поверхностью, образующей с гранями угол, больший угла естественного откоса угольной шихты, и соединенной торцовыми кромками с нижними кромками вертикальных перегородок, цилиндрическая поверхность уплотнителей перпендикулярна боковым полосам штанги, верхнее ребро грани боковых уплотнителей жестко соединено с верхней кромкой боковой полосы штанги [15];

8) штанга, включающая боковые листы, соединительные перегородки и привод, отличающаяся тем, что для улучшения качества уплотнения шихты и повышения долговечности и надежности конструкции соединительные перегородки выполнены высотой, равной 0,3–0,4 высоты штанги, штанга снабжена установленными шарнирно пластинами переменной высоты и упорами, установленными с возможностью взаимодействия с пластинами, при этом пластины в центральной части штанги выполнены высотой 0,95–1,00 высоты штанги, а пластины, установленные на концах штанги – высотой 0,75–0,80 высоты штанги [16];

9) штанга, в которой для повышения качества кокса, увеличения производительности коксовой печи и уменьшения металлоемкости штанги, вибрационный механизм выполнен в виде трех постоянных одноименно заряженных магнитов, два

из которых изготовлены из прямоугольной полосы и закреплены на двух передних стойках над планирной штангой, а третий выполнен в виде зигзагообразной ленты с равномерно изменяющейся высотой и закреплен на выходном конце планирной штанги, причем направляющие ролики на двух передних стойках выполнены подпружиненными [17].

Недостатками приведенных конструкций планирных штанг являются их сложность [9–13, 17], недолговечность [12–14, 17], неэффективность работы [12, 15–17]. Они лишь частично решают проблему повышения равномерности и плотности загрузки, а надежность типовых конструкций планирных штанг низка из-за разрушения поперечных перегородок планирных штанг при циклических механических и температурных воздействиях [18].

В более ранних конструкциях, в том числе в коксовыталкивателе АО «Уральская Сталь», штанга – простейшая сварная конструкция равного сопротивления или равного сечения из относительно дешевых марок сталей, имеющая относительно невысокую долговечность [19].

Более перспективными представляются конструкции, рассмотренные в работах [20, 21], позволяющие эффективнее управлять процессами загрузки и планирования шихты, а также сокращать пылегазовые выбросы в атмосферу во время загрузки шихты и коксования, улучшая экологическую обстановку на рабочей площадке.

Конструкция планирной штанги [20] включает параллельные полосы, соединенные поперечными стержнями, планирующие перегородки криволинейной формы, закрепленные на полосах. Для повышения надежности стержни на концах имеют выступы и установлены в отверстиях параллельных полос с зазором, полосы снабжены упорами, закрепленными на их внутренних поверхностях и взаимодействующими с выступами стержней, каждая планирующая перегородка закреплена противоположными торцами на обеих полосах. С целью увеличения разовой загрузки шихты в камеру коксования планирующие перегородки установлены попарно с уклоном к параллельным полосам и образуют между собой в парах угол, раскрытый к верхней кромке полосы [20]. Надежность штанги повышается за счет снижения до безопасного значения величины критических напряжений, возникающих в ее конструкции при воздействии знакопеременных механических нагрузок и температурных ударов, посредством упругой деформации планирующих перегородок.

Планирная штанга [21] включает в себя параллельные полосы, связанные между собой поперечинами, выполненными в виде стержней, закре-

пленных в отверстиях боковых стенок параллельных полос под углом к направлению движения планирной штанги, перегородки шарнирно закреплены на стержнях, на боковых стенках параллельных полос закреплены упоры. Такое крепление позволяет каждой перегородке воздействовать на шихту в направлениях: вниз – для уплотнения шихты, горизонтально к стенке и вдоль камеры – для разравнивания шихты. Данная конструкция более других соответствует необходимым требованиям для уплотнения угольной загрузки и повышает производительность коксовой печи в результате разравнивания и уплотнения верхнего слоя шихты в печной камере при уменьшении обратного выгреба.

Поэтому следующим шагом в модернизации коксовыталкивателя АО «Уральская Сталь» должна стать замена существующей планирной штанги на штангу более эффективной конструкции.

Выводы

1. Проанализированы конструкция и условия работы механизма для аварийного вытаскивания планирной штанги коксовыталкивателя КХП АО «Уральская Сталь».

2. Разработаны основные технические решения модернизации механизма для аварийного вытаскивания планирной штанги, заключающиеся в замене лебедки ручной барабанной ТЛ-5А на лебедку с электроприводом на основе цилиндрического соосного мотор-редуктора RC107.

3. Дополнительные капитальные вложения на модернизацию оборудования составят 553 тыс. руб. и окупятся за 1,02 мес. При этом годовой объем производства кокса увеличится на 0,13 %, себестоимость кокса снизится на 6,1 руб., а рентабельность продукции повысится на 0,04 %.

Список источников

1. Грибанов Е. А., Ганин Д. Р., Фукс А. Ю. Повышение эффективности работы доменного производства АО «Уральская Сталь» за счет уменьшения содержания фракции +80 мм в металлургическом коксе // Черные металлы. 2023. № 11 (1103). С. 4–7. DOI 10.17580/chm. 2023.11.01

2. ТИ-13657842-КХ-02–2022. Производство кокса. Технологическая инструкция. Новотроицк: АО «Уральская Сталь», 2022. 70 с.

3. Вегман Е. Ф., Жеребин Б. Н., Похвиснев А. Н. и др. Металлургия чугуна: Учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. / Под ред. Ю. С. Юсфина. М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. 774 с.

4. Кауфман А. Л., Смелянский А. З., Харлампович Г. Д., Браун Н. В. Мастер коксового производства. М.: Металлургия, 1994. 240 с.

5. Котельников В. С., Шишков Н. А. Комментарий к Правилам устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. М.: МЦФЭР, 2007. 716 с.

6. ГОСТ 2688–80. Канат двойной свивки типа ЛК-Р конструкции 6×19 (1+6+6/6)+1 о.с. Сортамент. Государственные стандарты. М.: ИПК «Издательство стандартов», 2002. 9 с.

7. ГОСТ 380–2005. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки. Международный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. М.: Стандартиформ, 2009. 13 с.

8. Гулиа Н. В., Клоков В. Г., Юрков С. А. Детали машин: Учеб. / Под общ. ред. д.т.н., проф. Н. В. Гулиа. СПб.: Изд-во «Лань», 2013. 416 с.

9. А.с. 101895 СССР, МПК C10B 37/02. Планирная штанга / Ф. А. Шевкаленко. Заявл. 05.06.1954; опубл. 1955.

10. А.с. 108375 СССР, МПК C10B 37/02. Планирная штанга / В. Г. Горный, А. А. Логинов, М. И. Новиков. Заявл. 24.12.1956; опубл. 1957.

11. А.с. 121772 СССР, МПК C10B 33/08. Планирная штанга коксовыталкивателя / В. Г. Горный, А. А. Логинов, М. И. Новиков. Заявл. 20.01.1959; опубл. 1959.

12. А.с. 129632 СССР, МПК C10B 37/02. Планирная штанга / Б. К. Кретов. Заявл. 07.12.1959; опубл. 05.1960, Бюл. № 13.

13. А.с. 345183 СССР, МПК C10B 37/02. Планирная штанга / Н. Ф. Громов, А. А. Ушаков, М. В. Самсонов и др. Заявл. 05.08.1967; опубл. 14.07.1972, Бюл. № 22.

14. А.с. 1214711 СССР, МПК C10B 37/02. Планирная штанга / А. Я. Минасов, В. И. Зинченко, В. Я. Дзюба. Заявл. 08.07.1983; опубл. 28.02.1986, Бюл. № 8.

15. А.с. 1370128 СССР, МПК C10B 37/02. Планирная штанга для разравнивания и уплотнения угольной шихты в коксовой печи / А. П. Удовенко, С. В. Щеголев, В. Ф. Шаповалов. Заявл. 26.08.1985; опубл. 30.01.1988, Бюл. № 4.

16. А.с. 1788004 СССР, МПК C10B 37/02. Планирная штанга коксовыталкивателя / А. В. Чамов, В. М. Дяченко. Заявл. 11.12.1989; опубл. 15.01.1993, Бюл. № 2.

17. А.с. 1433967 СССР, МПК C10B 37/02. Устройство для разравнивания и уплотнения шихты в коксовой печи / И. М. Кузьяев, И. И. Начовный, И. Г. Плошенко и др. Заявл. 09.07.1986; опубл. 30.10.1988, Бюл. № 40.

18. Ильченко Д. В., Веретельник С. П. Пути модернизации конструкций планирной штанги // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. «Хімія і хімічна технологія». 2013. № 1 (20). С. 173–178.

19. Лейбович Р. Е., Яковлева Е. И., Филатов А. Б. Технология коксохимического производства. М.: Металлургия, 1982. 360 с.

20. А.с. 1237697 СССР, МКИ C10B 37/02. Планирная штанга / А. С. Парфенюк, Н. А. Хромов, А. А. Булатов и др. Заявл. 26.11.1984; опубл. 15.06.1986, Бюл. № 22.

21. А.с. 1682378 СССР, МПК C10B 37/02. Планирная штанга / А. С. Парфенюк, Ф. И. Москалец, С. П. Веретельник и др. Заявл. 02.06.1989; опубл. 07.10.1991, Бюл. № 37.

Статья поступила в редакцию 29.07.2025;
одобрена после рецензирования 07.09.2025;
принята к публикации 01.10.2025