

## НЕПРЕРЫВНОЕ КОКСОВАНИЕ УГЛЯ В ШАХТНОЙ ПЕЧИ

*Богданов Алексей Сергеевич, аспирант кафедры ФимЭ ЕТФ КРСУ им. Б.Н. Ельцина, +996(555)92-31-11; 720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44, e-mail: [dedushka79@mail.ru](mailto:dedushka79@mail.ru)*

*Токарев Андреан Валентинович, к.ф.-м.н, зав.лаборатории «Плазменных Технологий» кафедры ФимЭ ЕТФ КРСУ им. Б.Н. Ельцина; + 996(555) 73-89-1, 720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44, e-mail: [tokarev\\_andrean@mail.ru](mailto:tokarev_andrean@mail.ru)*

*Юданов Вячеслав Александрович, инженер лаборатории «Плазменных технологий» кафедры ФимЭ ЕТФ КРСУ им. Б.Н. Ельцина, + 996(312) 36-02-87 720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44, e-mail: [slaesa57@mail.ru](mailto:slaesa57@mail.ru)*

Рассматривается способ получения кокса и коксового газа. В технологии минимизированы потери тепла с горячим коксом, который охлаждают водой или азотом в традиционной технологии. В устройстве практически вся энергия химических реакций горения затрачивается на синтез и нагрев горючего газа. Горючий газ и его высокотемпературное тепло можно полезно использовать в химических технологиях, для целей теплофикации или выработки электроэнергии.

**Ключевые слова:** угли, горение, коксование, горючий газ, рекуперация тепла.

## CONTINUOUS COKING COAL IN THE SHAFT FURNANCE

*Bogdanov Aleksei.S – of the KRSU, NTF, P&ME- chair graduate student , 44, Kiev. str., Bishkek, 720000, e-mail: [dedushka79@mail.ru](mailto:dedushka79@mail.ru)*

*Tokarev Andrean V., (PhD), of the KRSU, NTF, P&ME - chair, head of “Plasma technology” laboratory, 44, Kiev. str., Bishkek, 720000, e-mail: [tokarev\\_andrean@mail.ru](mailto:tokarev_andrean@mail.ru)*

*Yudanov Vjacheslav A. a “Plasma technology” laboratory engineer, 44, Kiev. str., Bishkek, 720000, e-mail: [slaesa57@mail.ru](mailto:slaesa57@mail.ru)*

The producing coke and oven coke gas. The heat losses are minimized technology hot coke, which is cooled with water in the conventional technique or nitrogen. The device practically all the energy of chemical reactions, combustion synthesis is spent on heating and fuel gas. Combustible gas and high temperature heat can be useful in chemical technology for power generation or industrial heating purposes.

**Keywords:** coal, combustion, coking, fuel gas, heat recovery.

**Введение:** Коксование угля известно с 18 века и используется для получения искусственно созданного ценного топлива - кокса и углеродных сорбентов для очистки жидкостей, а также получения летучих веществ, часть из которых конденсируется в виде ценных химических соединений, а часть используется как горючий коксовый газ. Коксование угля может происходить без доступа воздуха при его постепенном нагреве в печах через теплопроводную стенку в течение 14 - 16 часов до температуры 900 - 1050 °С и дальнейшем охлаждении полученного кокса водой или азотом. При этом масса кокса составляет 75-78 % от массы исходного угля. Очищенный коксовый газ составляет 14 - 15% от массы угля. Около 9 - 12% приходится на надсмольную воду в сосав которой входят аммиак, фенолы и пиридиновые основания. Остальную часть, а это 3 - 4% от массы исходного угля, в которую входит более чем 500 различных химических соединений, объединили под названием "каменноугольная смола". Все получаемые при коксовании

вещества используются как топливо или химическое сырье более ценное, чем исходный уголь.[1] Также имеются технологии коксования угля в потоке окислителя, при котором часть топлива сгорает и тепло химической реакции горения непосредственно прогревает частички угля и испаряет из них летучие компоненты. При этом также получается кокс и коксовый газ[2,5]. Например, в [3] процесс коксования производится в блоке из пары цилиндрических газификаторов шахтного типа. В газификаторы загружают твердое углеродсодержащее сырье и осуществляют подачу окислителя последовательно в каждый из них. Розжиг этого сырья производится со стороны противоположной подаче окислителя и отслеживается движение фронта горения топлива. Розжиг ведут в одном из газификаторов, при подаче окислителя  $100-350 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \text{ ч})$ . Как только фронт горения проходит более  $2/3$  высоты газификатора, расход окислителя увеличивают в 1,5 - 2 раза. После этого производят розжиг топлива во втором газификаторе. Причем при этом в первом газификаторе уменьшают расход окислителя, а во втором увеличивают. Но, периодичность загрузки - разгрузки газификаторов твердого углеродсодержащего сырья, необходимости отслеживать движение фронта горения и необходимости постоянно согласовывать работу двух аппаратов – являются недостатками такого способа. В известной технологии получения кокса [4] при которой в вертикальную шахтную печь периодически загружают твердое углеродсодержащее топливо, разжигаемое с перемещением фронта горения навстречу потоку окислителя. При этом во фронте горения топлива достигается температура  $700 - 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ . После прохода фронта горения на всю высоту шахтной печи горячий кокс охлаждают за счет подачи окислителя. Причем, в указанной шахтной печи может быть наружная или осевая камера сгорания, а коксовый газ, получаемый в данном процессе, смешивают с окислителем и подают затем в наружную или осевую камеры сгорания. Однако охлаждение кокса после прекращения его горения в печи путем пропуска через кокс окислителя затягивает по времени технологический цикл, ограничивает производительность печи и потому увеличивает себестоимость кокса. Кроме того тепло отбираемое от нагретого кокса при его охлаждении теряется бесполезно.

Создание шахтной печи непрерывного получения кокса во фронте горения за счет частичного выгорания летучих компонентов самого угля с максимальным использованием теплоты горения топлива для получения кокса и горючего газа и конденсирующихся компонентов из него является задачей данной научной работы.

**Рассматриваемая установка:** Техническое решение сводится к тому, что уголь извне непрерывно шнеком вводится внутрь в верхнюю часть печи, проходит сушку на контактном теплообменнике, подогреваемым счет тепла отходящих газов, затем уголь ссыпается в шахту печи, прогревается еще больше за счет подогретого окислителя проходящего сверху вниз по шахте печи, проходит зону горения, где из него выделяются летучие компоненты и он превращается в кокс, который затем опускается в зону эндотермических реакций, где его температура снижается за счет разложения продуктов горения, т.е. углекислого газа и паров воды на раскаленном коксе и превращения их в горючий газ, который затем выводится из печи потребителю, а его тепло используется для сушки вновь вводимого угля, затем кокс проходит шлюзы и попадает в зону эндотермических реакций за счет разложения вводимых в это место паров воды и его температура снижается еще больше, далее кокс проходит зону охлаждения окислителем и выводится шнеком в нижней части шахты из печи, а окислитель, пройдя через слой кокса и отняв от него тепло, направляется в зону горения и вносит туда это тепло, а газ, образующийся при разложении паров воды в зоне эндотермических реакций направляется в зону горения либо потребителю. За период прохода по высоте шахты уголь превращается в кокс, а тепло горения максимально полно рекуперировано для подогрева входящего угля и получения горючего газа.

Устройство (печь) для непрерывно коксования угля состоит из вертикально расположенного теплоизолированного корпуса - шахты 1, рис. 1, цилиндрической или слегка расширяющейся вниз конусообразной формы, чтобы уголь мог свободнее и не застревая просыпаться сверху вниз. В верхней части шахты расположена зона сушки и первичного

подогрева угля I. Ниже расположена зона вторичного подогрева угля окислителем II. Еще ниже расположена зона горения угля III. Далее расположена зона эндотермических реакций продуктов горения IV. После нее зона эндотермических реакций за счет паров воды V. В самой нижней части расположена зона охлаждения кокса окислителем VI. В качестве окислителя может быть использован воздух, воздух обогащенный кислородом или технический кислород с естественной или специально повышенной влажностью. Направление движения угля или кокса на рис. 1 показывается белыми стрелками. Направление движения окислителя или горючего газа показывается черными стрелками.

На рис. 1 обозначено: 1 - корпус шахты; 2 - бункер с углем; 3 - шнек, вталкивающий уголь в печь; 4 - наклонная плоскость - контактный теплообменник; 5 - газопровод отходящих газов; 6 - газопровод подогретого окислителя; 7 - кольцевой ввод подогретого окислителя; 8 - кольцевой вывод продуктов горения; 9 и 10 - дозирующее устройство в виде цилиндрических валков с лопастями, вращающихся навстречу друг другу; 11 - нижняя плоскость шлюзов; 12 - верхняя плоскость шлюзов; 13 - горка кокса, накопленная на нижней плоскости шлюзов; 14 - выступ стены шахты; 15 - паропровод; 16 - вентилятор высокого давления паров воды; 17 - вентиль ввода - вывода паров воды; 18 - кольцевой ввод паров воды; 19 - окно вывода синтез - газа; 20 - газопровод синтез - газа; 21 - трехходовой кран; 22 - вентилятор высокого давления холодного окислителя; 23 - кольцевой ввод холодного окислителя; 24 - кольцевой вывод подогретого окислителя; 25 - дифференциальный манометр; 26 - шнек вывода кокса из шахты печи.

**Принцип действия:** предварительно раздробленный, просеянный для получения монодисперсного размера уголь засыпается в бункер 2 и с помощью шнека 3 вводится внутрь шахты 1, где он попадает в зону сушки и первичного подогрева угля I на наклонную плоскость 4 с углом наклона менее угла естественного скатывания угля. Частицы угля, скользя по наклонной плоскости 4 за счет толкания их вновь вводимыми порциями угля постепенно перемещаются до края этой наклонной плоскости 4 и далее ссыпаются внутрь шахты 1. Наклонная плоскость 4 представляет собой контактный теплообменник, который подогревается с нижней стороны образующимися при коксовании угля высокотемпературными газами, поступающими по газопроводу отходящих газов 5. Далее горючий газ отдает свое остаточное тепло потребителю тепла в теплообменнике, который на рис. 1 не указан. При этом из коксового газа традиционным способом выделяются и удаляются конденсирующиеся компоненты. Далее очищенный коксовый газ направляется потребителю. Таким образом, на контактном теплообменнике 4 уголь предварительно подогревается и сушится.

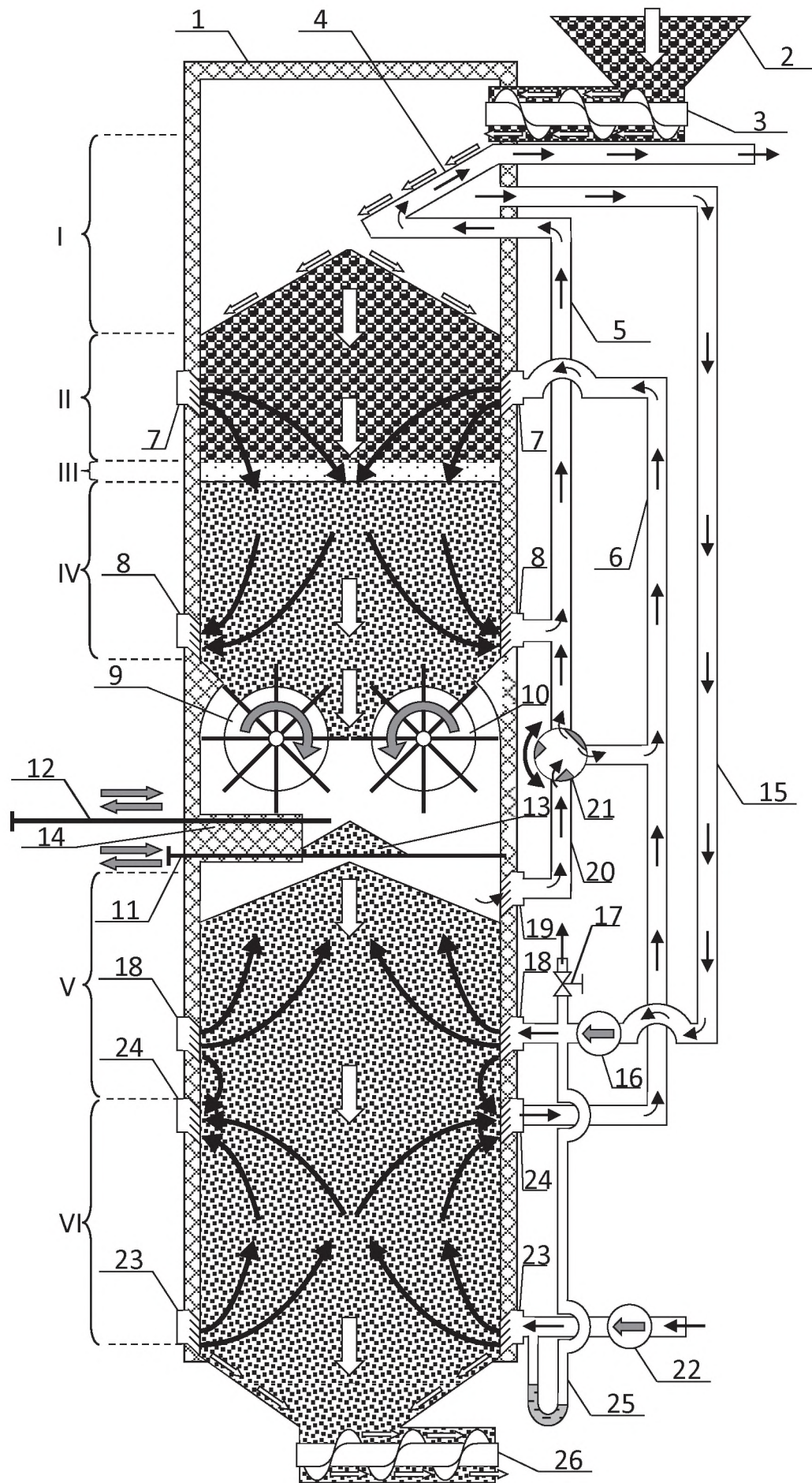


Рис. 1. Устройство для экономичного и непрерывно коксования угля.

Далее постепенно опускаясь частицы газа попадают в зону горения III, где они воспламеняются и за счет сильного прогрева из них выделяются летучие компоненты разложения угля, которые частично окисляются до углекислого газа и паров воды, а частично выносятся из зоны горения без окисления. Как только весь окислитель вблизи частиц угля поглощается и превращается в продукты горения процесс горения заканчивается. При этом, чем крупнее размер частиц угля, тем дольше эти частицы прогреваются и выделяют из себя продукты пиролиза и превращаются в кокс, тем медленнее должен проходить уголь зону горения. С другой стороны при этом и размер пустот в промежутке между частицами угля также больше и поэтому больше окислителя с меньшим гидравлическим сопротивлением может протекать через зону горения в единицу времени и потому шире будет зона горения. Поэтому в зависимости от размеров частиц и качества угля скорость прохода угля через шахту 1 должна меняться. При этом скорость движения фронта горения по углю, направленная навстречу движения окислителя, т.е. снизу вверх, должна совпадать со средней скоростью просыпания угля и кокса, направленная сверху вниз. Поэтому с точки зрения внешнего наблюдателя плоскость фронта горения стоит в шахте неподвижно.

Опускаясь ниже зоны горения, кокс оказывается в зоне эндотермических реакций продуктов горения IV. В этой зоне на раскаленном коксе идут эндотермические реакции:



За счет этих реакций температура кокса снижается, а возникающие газы поступают в кольцевой вывод газов 8 и далее в газопровод 5. Опускаясь ниже частицы кокса проходят через дозирующее устройство в виде, например двух цилиндрических валков с лопастями 9 и 10, вращающимися навстречу друг другу. Либо в виде бункера 2 со шнеком 3. Пройдя дозирующее устройство, кокс попадает на нижнюю плоскость шлюзов 11. Как только объем этого кокса достигнет желаемой величины, верхняя плоскость шлюзов 12 вдвигается в шахту по рис. 1 слева направо и перекрывает ее для прохода газов, а затем нижняя плоскость шлюзов 11 выдвигается из шахты в противоположную сторону. При этом горка кокса 13, накопленная на поверхности нижней плоскости шлюзов 11 при его движении упирается в выступ стены шахты 14 и с его помощью сгребается с нее. Освободившись от кокса, нижняя плоскость шлюзов 11 перемещается в свое исходное положение слева направо. Затем верхняя плоскость шлюзов 12 возвращается в свое исходное положение, двигаясь справа налево. На период движения плоскостей шлюзов туда и обратно дозирующее устройство отключается, а далее опять включается.

Таким образом, кокс, пройдя через шлюзы, оказывается в зоне эндотермических реакций за счет паров воды V. В эту зону пары воды поступают от высушенного угля по паропроводу 15 за счет работы вентилятора высокого давления паров воды 16. Если исходный уголь изначально излишне влажный, то излишние пары воды удаляются через вентиль ввода - вывода паров воды 17 в атмосферу. Если же исходный уголь достаточно сухой и паров воды не хватает для проведения эндотермических реакций и потому кокс на выходе оказывается излишне горячим и при этом теряется бесполезно тепло, то через вентиль 17 подаются необходимое количество паров воды от парогенератора, источником энергии для которого служат горячие отходящие газы. (На рис. 1 парогенератор не указан) Пройдя через кольцевой ввод паров воды 18 пары воды проходят через горячий кокс и реагируя по реакции (2) снижают его температуру до 480 - 500 °С, ниже которой реакция (2) перестает происходить. Однако от высоты расположения изотермы 480 - 500 °С в коксе до высоты расположения кольцевого ввода паров воды 18 температура кокса снижается еще сильнее за счет отдачи тепла проходящим парам воды. Это позволяет максимально использовать теплоту нагретого кокса для синтез - газа.

Образующийся по реакции (2) синтез - газ также отнимает тепло от кокса и удаляется из зоны эндотермических реакций за счет паров воды V через окно вывода синтез - газа 19 по трубопроводу синтез - газа 20 и попадают на трехходовой кран 21. Этот кран изображен на рис. 1 в положении, когда через него газы из газопровода синтез - газа 20 могут одновременно попадать и в газопровод отходящих газов 5, чтобы вывести их потребителю и

в газопровод подогретого окислителя 6 чтобы сжечь эти газы, если используется низкосортный уголь и необходимо поднять температуру в зоне горения. Регулируя угол поворота трехходового крана 21 можно также при необходимости либо весь синтез - газ направлять потребителю, либо весь его сжигать в зоне горения III. Этим достигается плавная регулировка температуры в зоне горения III и всей технологии получения кокса в зависимости от качества исходного угля. При этом важно, чтобы в процессе смешивания горючего газа, поступающего из зоны эндотермических реакций V с окислителем, поступающим по газопроводу 6, не достигался нижний предел воспламенения газа. Опускаясь еще ниже, кокс попадает в зону охлаждения кокса окислителем VI, где его температура уже должна быть ниже температуры самовоспламенения. Окислитель, нагнетаемый вентилятором высокого давления холодного окислителя 22, вводится вблизи нижнего уровня шахты 1 по кольцевому вводу холодного окислителя 23. Пройдя слой кокса, окислитель отнимает от него тепло и через кольцевой вывод газов 24 попадает в газопровод подогретого окислителя 6. Таким образом, тепло выходящего из печи кокса возвращается в зону горения. При этом важно, чтобы давление от вентилятора высокого давления паров воды 16 несколько превышало давление от вентилятора высокого давления холодного окислителя 22. Это приведет к тому, что некоторая незначительная часть паров воды, пройдя кольцевой ввод паров воды 18 попадет в кольцевой вывод подогретого окислителя 24 и в конечном итоге окажется в зоне горения. И в этом нет ничего страшного. Однако если давление от вентилятора высокого давления холодного окислителя 22 превысит давление от вентилятора высокого давления паров воды 16, то окислитель начнет проникать в зону эндотермических реакций V. При этом в области, где температура кокса превышает температуру его горения начнется процесс горения и он будет продолжаться и усиливаться по мере его опускания. В конечном итоге шнек вывода кокса из печи 26 на выходе из шахты 1, будет выталкивать раскаленный кокс, который необходимо тушить водой, что приведет к бесполезным тепловым потерям и ухудшению качества кокса. Для сравнения давлений между вентиляторами высокого давления паров воды 16 и вентилятора высокого давления холодного окислителя 22 служит дифференциальный манометр 25.

Если же технология не нарушается и давление от вентилятора высокого давления паров воды 16 несколько превышает давление от вентилятора высокого давления холодного окислителя 22, то на выходе шнек вывода кокса из печи 26 будет выталкивать охлажденный кокс с температурой существенно меньшей его температуры горения.

В данной конструкции для ввода вывода газов используются кольцевые щелевые каналы, и этот вариант подходит для коксовых печей относительно малых размеров, либо относительно крупных размеров частиц угля. Для коксовых печей относительно крупных размеров вместо щелевых каналов необходимо использовать трубчатые перфорированные с нижней стороны решетки пересекающие все сечение шахты. Через отверстия в нижней части этих трубчатых решеток газ может свободно входить и выходить по всему сечению шахты. В то же время частицы угля, просыпающиеся сверху вниз вблизи этих трубчатых решеток, не могут попасть в эти трубы и забить отверстия.

**Выводы:** В рассматриваемом способе получения кокса и коксового газа минимизированы потери тепла с горячим коксом, который охлаждают водой или азотом в традиционной технологии, т.к. на вход в печь поступает холодный уголь, а на выход поступает не сильно нагретый кокс. При этом практически вся энергия химических реакций горения затрачивается на синтез и нагрев горючего газа. При этом и горючий газ, и его высокотемпературное тепло можно полезно использовать в химических технологиях, для целей теплофикации, или выработки электроэнергии.

#### Список литературы

1. Агроскин А.А. Химия и технология угля /Агроскин А.А.- М.: Недра, 1969 с.125-146
2. Лейбович Р.Е. Технология коксохимического Производства/ Р.Е. Лейбович, А.Б. Филятова, Е.И. Яковлева .- Москва: Металлургия, 1982

3. Общая химическая технология .Часть 2. Под редакцией Мухленова И.П.- стр.145-180
4. Способ получения синтез газа. Патент WO 2013002668 A1.
5. Способ получения кокса. Патент Казахстана (KZ(A) №17760, 15.09.2006, бюл. № 9)

УДК 517.958:5

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА БУРЕНИЯ СКВАЖИН

*Даирбаева Г.М., к.ф.-м.н., доцент, КазНУ им.аль-Фараби, Казахстан, +77273773223, г.Алматы, пр. аль-Фараби 71, e-mail: lazat-dairbayeva@mail.ru*

*Койлубаев Э. С., старший научный сотрудник Лаборатории физико-химических методов обработки ГТП, ТОО "Институт высоких технологии" КазАтомПром, Казахстан, г.Алматы, ул. Богенбай батыра, 168, e-mail: e.koilubaev@iht.kz*

*Кабылжан А.М., магистрант, КазНУ им. Аль-Фараби, Казахстан, г.Алматы, пр. аль-Фараби 71, e-mail: ainura1-93@gmail.com*

### **Аннотация:**

В данной работе рассматривается процесс бурения скважин с использованием аппарата математического моделирования. Для описания процесса бурения применяются математические модели углубления и промывки скважин. Механическая скорость бурения породы долотом описывается уравнением предложенным М.Г. Бингхэмом [2]. Наряду с этим рассматривается полная математическая модель механической скорости бурения с учётом гидравлических параметров, полученная на основе применения метода наименьших квадратов и регрессионного анализа. Разработан вычислительный алгоритм для нахождения параметрических коэффициентов полной модели бурения, что позволяет вычислить механическую скорость для произвольных буровых данных. Проведен сравнительный анализ буровых экспериментальных и вычислительных данных. Рассматривается математическая модель гидравлической промывки скважины, основанная на общей потере давления бурового раствора в отдельных участках скважины. Промывка скважины предназначена не только для очистки забоя от выбуренной породы, но и служит для глинизации (укрепление) стенок скважины, охлаждения и смазки инструмента, которые происходят при движении раствора. Исследуются потери давления на разных участках скважин, зависящие от физических параметров.

**Ключевые слова:** бурение скважин, промывка, скорость бурения долотом, давление, математическая модель, регрессионный анализ.

## MATHEMATICAL MODELING OF PROCESS OF DRILLING WELLS

*Dairbayeva G.M., Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, Kazakhstan, +77273773223, c. Almaty, KazNU named after al-Farabi e-mail: lazat-dairbayeva@mail.ru*

*Koilubay E. S., senior research associate in the Laboratory of physicochemical methods GTR treatment, LLP "Institute of High Technologies"?, KazAtomProm, Kazakhstan, c. Almaty, st. Bogenbai batyra, 168, e-mail: e.koilubaev@iht.kz*

*Kabylzhan A.M., master student, Kazakhstan, c. Almaty, KazNU named after al-Farabi, e-mail: ainura1-93@gmail.com*

**Abstract.** This paper considers the process of drilling wells using mathematical modeling. Mathematical models of deepening and flushing-out of wells are used to describe the drilling process. Mechanical speed of drilling bedrock by drill bit is described by the equation proposed by