

УДК 622.233.05

## АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАБОТЫ БУРОШНЕКОВОГО ИНСТРУМЕНТА МАШИН ГОРИЗОНТАЛЬНОГО БУРЕНИЯ

Алиткина О.А., аспирант гр. ГЭаз-191

Научный руководитель: Хорешок А.А., д.т.н., профессор, директор ГИ  
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Кафедрой горные машины и комплексы (ГМиК) накоплен значительный опыт по научному исследованию и испытанию в производственных условиях проходческих комбайнов со стреловидным исполнительным органом [1–6] и бурого оборудования для проведения горизонтальных скважин по грунтам [7–12]. В частности, за время исследований и испытаний в производственных условиях буровых станков и бурошнекового инструмента пробурено 9560 м горизонтальных скважин диаметром от 0,16 м до 1,44 м. При выполнении этих НИР, в результате анализа условий работы бурошнекового инструмента, была выявлена существенная проблема - налипание продуктов разрушения забоя скважины на спирали шнекового бурового става, а также на обсадную трубу и их заштыбовка с образованием плотных пробок. Для исключения этих недостатков и повышения эффективности транспортировки продуктов разрушения из забойной зоны, на кафедре ГМиК разработана конструкция бурошнекового инструмента, представленного на рис. 1 (а.с. 1513090) [10].

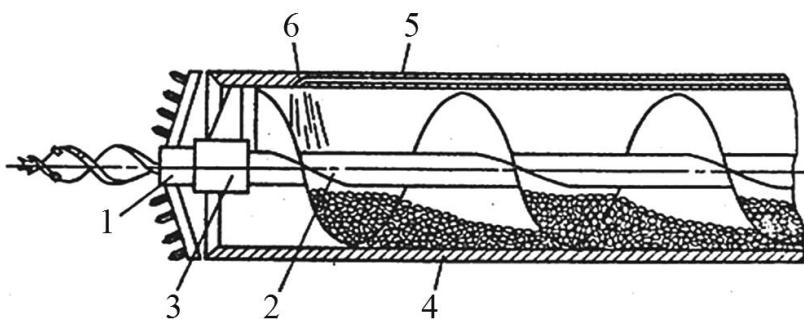


Рис. 1. Схема бурения горизонтальной скважины

Бурошнековый инструмент (рис. 1) включает в себя резцовый расширитель прямого хода 1 с забурником, односпиральный шнековый буровой став 2, опирающийся на подшипниковый узел 3, жестко закрепленный в обсадной трубе 4. В стенке трубы 4 имеется продольный канал 5 с радиальным отверстием 6, по которым от насосной установки под давлением подается смачивающая жидкость. Из отверстия 6 факел жидкости распыляется в межвитковое пространство шнековой спирали и влажность продуктов разрушения повышается. Данные, полученные при промышленных испытаниях, позволили

установить пороговые значения влажности, которые определяют границы текучести продуктов разрушения в виде двухфазной смеси, включающей дисперсный глинистый раствор и дискретные частицы продуктов разрушения. Следует отметить, на кафедре ГМиК разработаны математические модели, описывающие процессы перемещения в обсадной трубе такого двухфазного материала шнековым буровым ставом (рис. 2) [11].

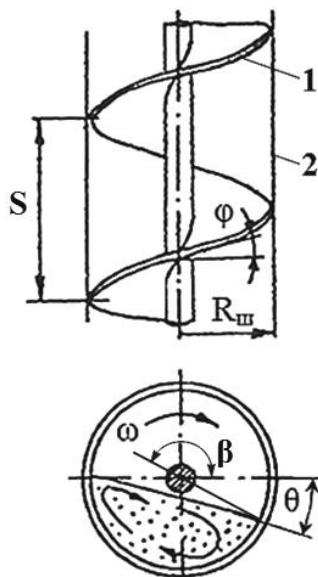


Рис. 2. Модель шнекового бурового става: 1 – шнек; 2 – обсадная труба

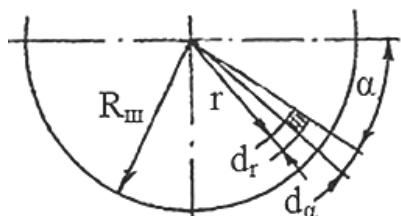


Рис. 3. Схема для определения момента сопротивления вращению шнека

При вращении бурового става с частотой  $\omega$  продукты разрушения в межвитковом пространстве (рис. 2) поворачиваются на угол  $\theta$ .

Уравнение для определения момента сопротивления вращению шнека имеет вид (рис. 3) [11]:

$$dM_{ш} = f_{ш} \rho_{ш} r dF_{ш}, \quad (1)$$

где  $dF_{ш} = r dr d\alpha$  – элементарная площадка на спирали шнека;  $r, \alpha$  – текущие координаты;  $f_{ш}$  – коэффициент сопротивления перемещению материала по поверхности спирали;  $\rho_{ш}$  – боковое давление материала.

Давление на спираль шнека имеет две составляющие:

$\rho_{ш1}$  – давление покоящегося материала;

$\rho_{ш2}$  – давление осевого перемещения материала;

$$\rho_{ш1} = m_{ш} \gamma_o [r (\sin \alpha + t q \theta \cos \alpha) - R_{ш} (\cos \beta / \cos \theta)]; \quad (2)$$

$$\rho_{ш2} = T/F_{ш}, \quad (3)$$

где  $m_{ш}$  – отношение бокового давления к вертикальному;  
 $\gamma_o$  – объемный вес материала;  
 $T$  – сила сопротивления перемещению материала по обсадной трубе;  
 $F_{ш}$  – площадь контакта материала со шнеком;  
 $R_{ш}$  – радиус шнека;  
 $\beta$  – центральный угол сектора заполнения материалом шнека;  
 $\theta$  – угол поворота материала относительно вертикальной оси обсадной трубы.

Усилие сопротивления перемещению материала по обсадной трубе:

$$dT = \rho_t f_t dF_t, \quad (4)$$

где  $dF_t = S_t R_t d\alpha$  – элементарная площадка на обсадной трубе;  
 $f_t$  – коэффициент сопротивления перемещению материала по поверхности обсадной трубы;

$\rho_t$  – давление материала на обсадной трубе;

$R_t$  – радиус участка обсадной трубы;

$S_t$  – ширина участка обсадной трубы.

$$\rho_t = \gamma_o R_t [m_{ш} + (1 - m_{ш}) \sin \alpha] (\sin \alpha + t \cos \alpha - \cos \beta / \cos \theta) \quad (5)$$

В развернутом виде уравнение (1) примет вид:

$$M_{ш} = k_p n_b f_{ш} \gamma_o m_{ш} (R_t^4 / \cos \theta) \{ 1,55 m_{ш} \phi^{1,63} + f_t (S_t / R_t) [2,71 \psi + 1,9 \phi^{0,84} (m_{ш}^{-1} - 1) \cos \theta] \}, \quad (6)$$

где  $k_p$  – коэффициент, учитывающий перемешивание материала;  
 $n_b$  – число транспортирующих витков шнека;  
 $\psi$  – степень заполнения шнека материалом;  
 $\phi$  – угол подъема спирали шнека.

Результаты расчетов показали, что величина момента сопротивления вращению шнека при транспортировании зависит от следующих факторов: физико-механических свойств продуктов разрушения; геометрических параметров и степени заполнения шнека; количества транспортирующих витков шнека. Параметры  $\gamma_o$ ,  $f_t$ ,  $f_{ш}$  определялись экспериментально.

Результаты расчетов, выполненных по уравнению (6), позволили построить графические зависимости момента сопротивления вращению шнека  $M_{ш}$  от степени заполнения шнека  $\psi$  и влажности глинистых продуктов разрушения  $W$  (рис. 4) [11].

Величина  $M_{ш}$  имеет максимальные значения при пороговой влажности  $W = 30\%$  во всем рассчитанном диапазоне от  $\psi = 0,1$  до  $\psi = 0,5$ . Как видно из зависимостей, при увеличении влажности продуктов разрушения  $W$  с 30 % до 50 % момент сопротивления  $M_{ш}$  резко уменьшается, почти в 10 раз.

При влажности  $W$  с 50 % до 60 % момент сопротивления вращению шнека  $M_{ш}$  стабилизируется, поэтому дальнейшее разжижение продуктов разрушения  $W > 50\%$  не целесообразно так, как приводит к не рациональному перерасходу жидкости.

Таким образом, на основе теоретических и экспериментальных данных был разработан новый способ бурения горизонтальных скважин [8, 10–12] с увлажнением продуктов разрушения до порогового значения  $W = 50\%$ , гра-

ницы текучести продуктов разрушения. При этой влажности  $W$  исключается их налипание на элементы бурового става, обсадную трубу и не допускается заштыбовка става с образованием пробок.

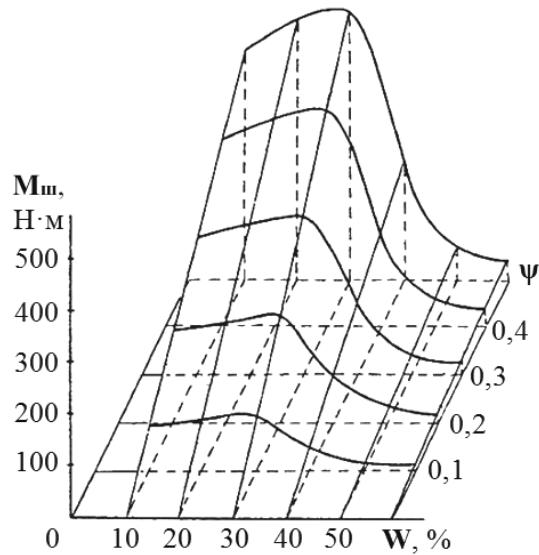


Рис. 4. Зависимости момента  $M_{ш}$  сопротивления вращению шнека от влажности продуктов разрушения  $W$  и степени заполнения шнека  $\psi$

Опыт исследований и испытаний в производственных условиях буровых станков и бурошнекового инструмента показал, что между спиральями соседних шнековых штанг бурового става имеются разрывы. В этих местах для сборки и разборки бурового става вынуждено имеются резьбовые хвостовые соединения буровых штанг друг с другом, включающие упорные бурты, муфты и ниппели.

Для повышения эффективности процесса транспортирования продуктов разрушения забоя скважины, устранения разрывов шнековой спирали на кафедре ГМИК разработана конструкция шнеково-пружинного бурового става, представленная на рис. 5 (патент РФ 2026977) [12].

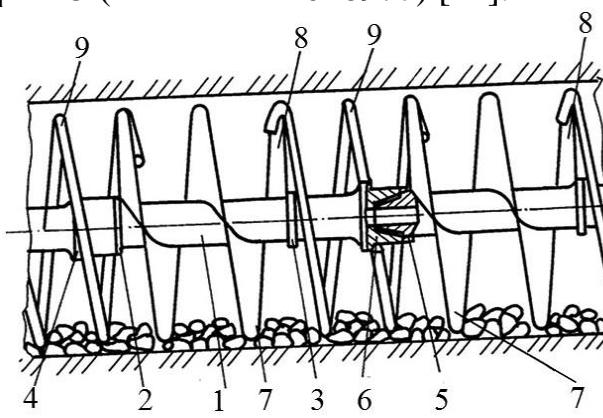


Рис. 5. Шнеково-пружинный буровой став

Буровой став для машины горизонтального бурения (рис. 5) состоит из буровых штанг 1 с буртами 2, 3 и 4, резьбовыми ниппелями 5 и муфтами 6

для соединения штанг со шнековыми спиралями 7 друг с другом. К свободным концам 8 нерабочих поверхностей шнековых спиралей 7 между резьбовым ниппелем 5 и буртом 3 жестко закрепляются пружинные спирали 9, шаг и наружный диаметр которых соответствует таким же параметрам шнековых спиралей 7.

При завинчивании резьбового ниппеля 5 в муфту 6, свободные концы пружиной спирали 9 упруго фиксируются на свободных концах 8 нерабочих поверхностей шнековых спиралей 7 соседних штанг. При этом разрыв между ними в шнеково-пружинном буровом ставе устраняется.

При бурении продукты разрушения перемещаются шнековыми спиралями 7, а в промежутках между ними - пружинными спиралями 9. Это техническое решение предотвращает пробообразование и повышает транспортирующую способность шнеково-пружинного спирального бурового става. Вместе с этим, пружинные спирали 9 не препятствуют применению подхвата и ключа для механизированной сборки и разборки бурового става.

### **Список литературы:**

1. Хорешок, А.А. Выбор технологических схем и оборудования для отработки угольных пластов на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, В.И. Нестеров, А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – № 5. – С. 3-10.
2. Проходческие комбайны со стреловидным исполнительным органом. Часть 1. Опыт производства и развития : монография / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, Б.Л. Герике, Г.Д. Буялич, А.Б. Ефременков, А.Ю. Борисов; Юргинский технологический институт, Кузбасский государственный технический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 213 с.
3. Проходческие комбайны со стреловидным исполнительным органом. Часть 2. Эксплуатация и диагностика : монография / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, Б.Л. Герике, Г.Д. Буялич, А.Б. Ефременков, А.Ю. Борисов; Юргинский технологический институт, Кузбасский государственный технический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 281 с.
4. Проходческие комбайны со стреловидным исполнительным органом. Часть 3. Выбор и обоснование рабочих параметров двухкорончатых реверсивных исполнительных органов : монография / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.М. Цехин, Б.Л. Герике, Г.Д. Буялич, А.Б. Ефременков, А.Ю. Борисов; Кузбасский государственный технический университет, Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 136 с.
5. Борисов, А.Ю. Разработка двухкорончатых стреловидных исполнительных органов проходческих комбайнов с дисковым инструментом : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Ю. Борисов. – Кемерово, 2016. – 22 с.
6. Хорешок, А.А. Влияние условий эксплуатации горных комбайнов на

конструкцию их исполнительных органов / А.А. Хорешок, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Горное оборудование и электромеханика. – 2012. – № 6. – С. 2-5.

7. Маметьев, Л.Е. Повышение эффективности бурения дегазационных скважин и транспортирования разрушенного угля / Л.Е. Маметьев, А.А. Хорешок, А.М. Цехин, А.Ю. Борисов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2018. – № 1. – С. 106-111.

8. Маметьев, Л.Е. Обоснование и разработка способов горизонтального бурения и оборудования буровзрывных машин: автореф. дис...докт. техн. наук / Л.Е. Маметьев. – Кемерово, 1992. – 33 с.

9. Маметьев, Л.Е. Разработка исполнительных органов и инструмента для стреловых проходческих комбайнов и буровзрывных машин / Л.Е. Маметьев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – №5. – С. 56–63.

10. Способ бурения горизонтальных и слабонаклонных скважин: Авторское свидетельство 1513090: М. Кл.3 Е 02 F 5/18 / Сафохин М.С., Маметьев Л.Е., Ананьев А.Н., Корогод Л.П., Кравцов М.В.; патентообладатель «Кузбас. политехн. инст.». – № 4198939/25-03; заявл. 18.12.1986 ; опубл. 07.10.1989, Бюл. № 37.

11. Ананьев, А.Н. Обоснование и выбор средств, повышающих эффективность работы шнекового бурового става при бурении горизонтальных скважин : дис.... канд. техн. наук / А.Н. Ананьев. – Кемерово, 1990. – 176 с.

12. Буровой став для машин горизонтального и наклонного бурения: пат. 2026977 РФ на изобретение: МПК Е 21C 1/00 (1995.01) / Сафохин М.С., Маметьев Л.Е., Ившин В.А., Ерин О.И., Скорняков Н.М., Ананьев А.Н.; патентообладатель «Кузбас. политехн. инст.». – № 5027428/03; заявл. 05.07.1991 ; опубл. 20.01.1995.