УДК 622.233.05

Маметьев Леонид Евгеньевич, профессор, д.т.н., профессор,
Хорешок Алексей Алексеевич, профессор, д.т.н., профессор,
Борисов Андрей Юрьевич, доцент, к.т.н., доцент,
Алиткина Оксана Алексеевна, аспирант
(КузГТУ, г. Кемерово)
Leonid E. Mametyev, professor, doctor of engineering sciences,
Aleksey A. Khoreshok, professor, doctor of engineering sciences,
Andrey Yu. Borisov, associate professor, candidate of engineering science
Oksana A. Alitkina, graduate student
(KuzSTU, Kemerovo)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И ПОГРУЗКИ БУРОВОЙ МЕЛОЧИ ПРИ ДВУХЭТАПНОМ БУРЕНИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН

IMPROVING THE EFFICIENCY OF DRILLING PRODUCT TRANSPORT AND LOADING PROCESSES IN TWO-STAGE DRILLING OF HORIZONTAL WELLS

Аннотация

Представлены: способ для бурения горизонтальных и слабонаклонных скважин, позволяющий повысить эффективность процесса бурения; расчетные зависимости производительности разрушения и транспортирования от скорости осевого движения бурового инструмента; подход по определению компонент суммарной нагрузки для расширителей барабанного типа.

Abstract

The following are presented: a method for drilling horizontal and slightly inclined wells, which makes it possible to increase the efficiency of the drilling process; calculated dependencies of the performance of destruction and transportation on the axial movement speed of the drilling tool; an approach to determining the components of the total load for drum-type expanders.

Учеными кафедры горных машин и комплексов КузГТУ проведен обширный ряд аналитических и экспериментальных исследований, включая патентный поиск с последующим обобщением технических решений, что позволило провести обоснование и разработку способа бурения горизонтальных и слабонаклонных пионерных скважин, используя серийный бурошнековый инструмент для станков модельного ряда БГА, включающий буровой став со шнековыми штангами и разрывами спиралей в точках сборки резьбовых замков. Сущность этого способа поясняется рис. 1. [1, 2],

который включает как процесс бурения, так и очистку скважины от буровой мелочи за счет устройства, что позволяет реализовать данный способ.

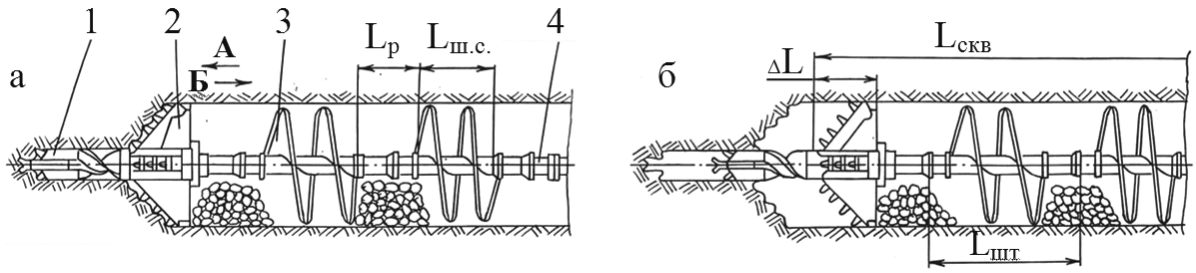

Рис. 1. Способ бурения горизонтальных и слабонаклонных скважин

Предлагаемое устройство (рис. 1, а) состоит из забурника 1 расширителя прямого хода 2, шнековой штанги 3, бурового замка 4, обеспечивающий соединение штанг 3 между собой, а также буровым станком. Закрепленные между собой буровые штанги 3 формируют буровой став, в котором участки со шнековыми спиралями имеют длину $L_{ш.с.}$ и чередуются последовательно с участками разрывов шнековых спиралей длиной $L_р$.

Закрепленные между собой забурник 1, расширитель прямого хода 2, шнековый став буровых штанг 3 образуют буровой инструмент.

При бурении конструктивным элементам 1–4 бурового инструмента передается вращение и осевые колебательные движения с суммарным перемещением на забой, обеспечивающим заданную длину бурения $L_{скв}$ (рис. 1, б). При движении инструмента на забой по стрелке А расширитель прямого хода 2 и забурник 1 производят его разрушение, и продукты бурения попадают в область работы первой шнековой штанги с рабочей длиной $L_{шт}$ и длиной участка шнековой спирали $L_{ш.с.}$, и перемещаются буровым ставом до участка разрыва шнековой спирали $L_р$. При обратном движении инструмента от забоя по стрелке Б на величину меньшую, чем по стрелке А продукты бурения перемещаются дальше к устью скважины. Затем буровой инструмент вновь подаст на забой по стрелке А и порция продуктов разрушения захватывается и перемещается участком $L_{ш.с.}$ лопастей шнековой спирали второй от забоя шнековой штанги, а расширитель разрушает забой, и новая порция продуктов разрушения попадает в зону работы первого шнека. Многократное повторение указанных колебательных циклов приводит к бесперебойной выдаче продуктов бурения к устью скважины без накопления их в местах разрывов шнековой спирали $L_р$. Длина перемещения шнекового става в сторону транспортирования обеспечивается не меньше длины наибольшего разрыва шнековой спирали $L_р$, для предотвращения даже частичного накопления продуктов бурения в разрывах шнека. Скорость подачи в сторону противоположную транспортированию ограничивается величиной перемещения шнекового става на длину одного шага спирали за время одного его оборота, что предотвращает перемещение продуктов разрушения в сторону, противоположную направлению

транспортирования.

За каждый цикл колебаний буровой став с инструментом перемещают в направлении забоя на величину хода большую, чем при перемещении от забоя, тем самым добиваясь постоянного углубления скважины.

Для полной очистки скважины целесообразно прекратить разрушение забоя, и путем циклического перемещения вращающегося шнекового бурового става в направлении забоя и от него на величину, меньшую $L_р$, очищать скважину. При этом число циклов должно быть не менее числа разрывов спирали.

Указанные операции предлагаемого способа справедливы и при расширении пионерных скважин обратным ходом.

Режимные параметры способа бурения горизонтальных скважин могут быть определены по расчетным зависимостям (рис. 2) [1].

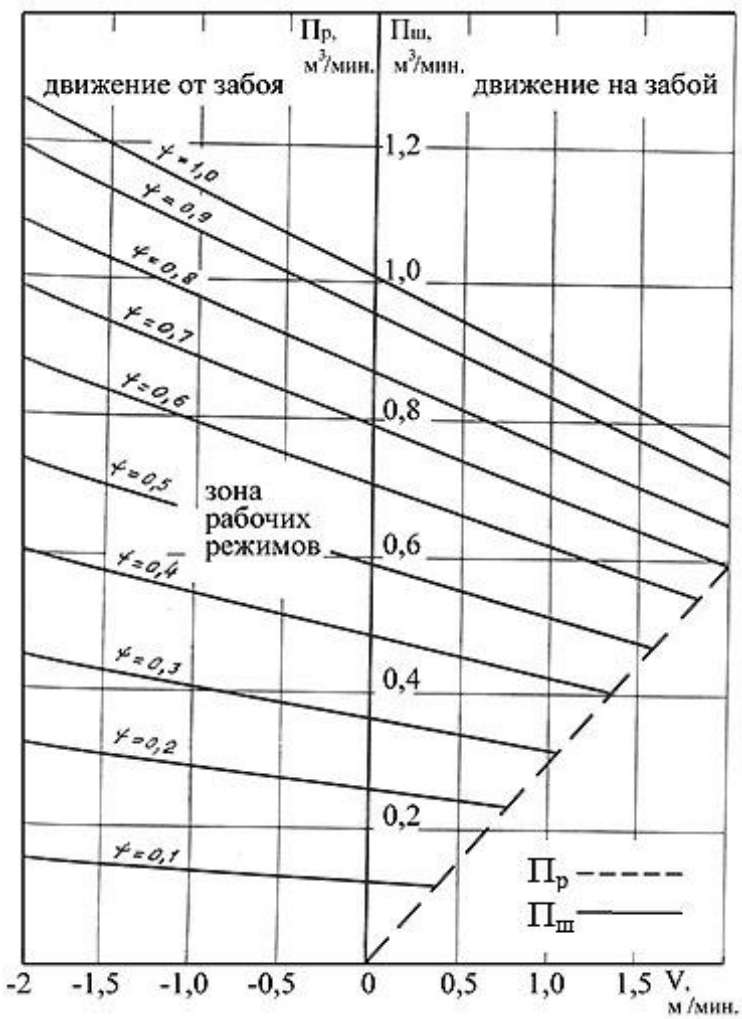

Рис. 2. Расчетные зависимости производительности разрушения $П_р$ и транспортирования $П_ш$ от скорости V осевого движения бурового инструмента

Применение представленного способа позволяет предотвратить образование пробок в местах разрывов шнековой спирали и заклинивание шнекового бурового става при обратном ходе, а также обеспечить полную

очистку скважин от продуктов бурения.

Рекомендовано для подержания режимов устойчивого бурения пионерных скважин по вязким грунтам с допустимыми энергозатратами на транспортирование при длине скважин по 25–30 м ограничивать: скорость бурения до 2 м/мин; коэффициент заполнения ψ шнекового става до 0,25; коэффициент сопротивления перемещению продуктов до 30–35. Для сохранения направленности буровых скважин целесообразно применение рабочих органов с направляющими иглами на подшипниках, с винтовыми анкер-забурниками и реверсивного лопастного бурового става [3].

Доказана вероятность существенного повышения функциональных возможностей существующих шнековых буровых ставов с осевыми разрывами шнековых спиралей, путем реализации ими при бурении пионерных горизонтальных и слабонаклонных скважин способа бурения [1, 2].

Особое внимание следует уделить изучению закономерностей процесса погрузки продуктов разрушения при расширении горизонтальных скважин обратным ходом.

Технологический процесс разбуривания горизонтальной пионерной скважины, в которой размещен шнековый буровой став, до скважины большого диаметра, может быть осуществлен расширителем обратного хода. Для его реализации расширителю сообщается два рабочих движения: вращение через шнековый буровой став вокруг горизонтальной оси и поступательное перемещение вместе со шнековым буровым ставом вдоль горизонтальной оси скважины.

Расширители обратного хода должны содержать конструктивные элементы, обеспечивающие выполнение следующих основных операций: отделение грунта от забоя скважины, заполнение грунтосодержащих полостей грунтом, разгрузке от грунта, дозированное заполнение шнекового бурового става грунтом, полную очистку разбуренной скважины от грунта. Такими элементами могут быть грунторазрушающий инструмент [4–12], грунтонесущие полости с определенными механизмами разгрузки, приемно-питающие устройства.

Осевое усилие подачи бурошнекового инструмента на забой и частота его вращения являются определяющими режимными параметрами для основного показателя эффективности работы оборудования – скорости бурения. Эти параметры устанавливают показатели процесса разрушения, который, в свою очередь, задает исходный уровень для процессов погрузки и транспортирования в зоне расширения пионерной скважины.

Способ погрузки, его конструктивная реализация и режимные рабочие параметры, технологические схемы прокладки элементов крепления стенок скважины всецело определяют качество очистки скважин от продуктов разрушения, которая определяется не только полнотой, но и непрерывностью процесса погрузки, в пределах каждого оборота расширителя обратного хода.

Тем самым определяющим этапом является создание методики разделения суммарной нагрузки на компоненты, соответствующие процессам резания и погрузки, и описание последних через конструктивные и режимные параметры работы бурошнекового оборудования.

Отдельный подход по определению компонент суммарной нагрузки можно связать с расширителями барабанного типа [13–15], так как они наиболее универсальны и могут реализовать широкий спектр способов погрузки от гравитационных до принудительных. При этом структура затрат мощности по отдельным компонентам нагрузки может быть справедлива и для расширителей других конструктивных типов [1].

В общем случае мощность, необходимая для вращения расширителя, определяется по формуле:

$$N_{вр} = \frac{M_{вр}\ n}{975}, \qquad (1)$$

Момент, приложенный к шнековому буровому ставу при разбуривании горизонтальных скважин расширителем обратного хода, можно представить как сумму составляющих моментов (см. рис. 3):

$$M_{вр} = \left(M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + M_7\right)\ k_з, \qquad (2)$$

где M_1 – на преодоление сопротивлений грунта резанию;

M_2 – для разгона грунта, поступающего в грунтонесущую обечайку барабанного расширителя;

M_3 – для подъема грунта до зоны разгрузки;

M_4 – для проталкивания грунта по грунтоотбойной лопасти;

M_5 – на преодоление силы трения грунта о грунтонесущую обечайку барабанного расширителя в зоне грунтоотбойной лопасти;

M_6 – на сопротивление перемещению буровой мелочи по лотку;

M_7 – для преодоления сопротивлений вращению шнекового бурового става при разбуривании скважины;

$k_з$ = 1,1÷1,3 – коэффициент, учитывающий заклинивание грунта в расширителе.

Указанные составляющие моментов рабочего процесса на примере барабанного расширителя присущи другим конструктивным типам расширителей. При том для отдельных расширителей добавляются моменты:

- сопротивления на взвод пружин ударных элементов и механизмов выталкивания;
- сопротивления вращению опорного фонаря;
- трения зажатой призмы волочения и вращения разгрузочных шнеков.

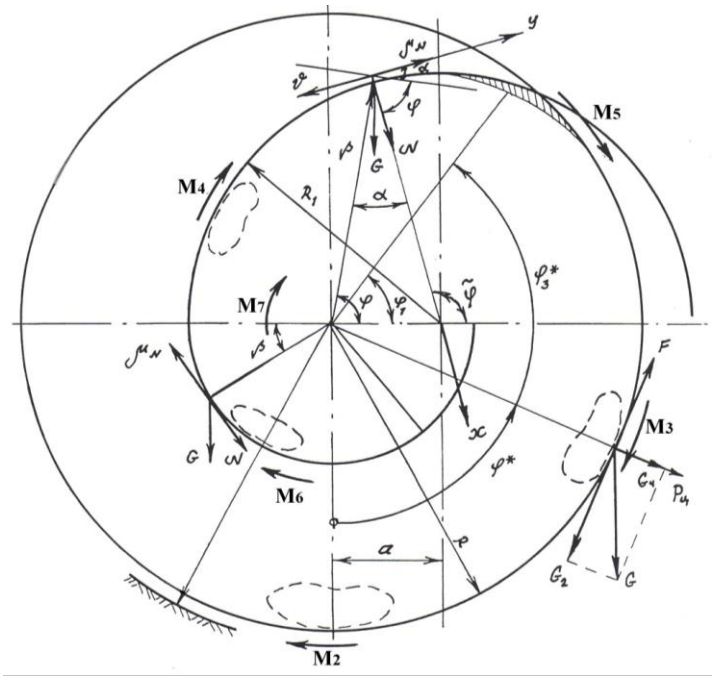

Рис. 3. Схема сил и моментов при бурении горизонтальных скважин барабанными расширителями

Таким образом, на базе представленной выше информации сделаны следующие выводы:

- применение рассмотренного способа бурения горизонтальных и слабонаклонных скважин позволяет предотвратить образование пробок в местах разрывов шнековой спирали и заклинивание шнекового бурового става при обратном ходе, а также обеспечить полную очистку скважин от продуктов бурения;

- представлены расчетные зависимости производительности разрушения и транспортирования от скорости осевого движения бурового инструмента, позволяющие определить режимные параметры способа бурения горизонтальных скважин;

- сформирован подход по определению компонент суммарной нагрузки для расширителей барабанного типа.

Сделанные комплексные выводы позволяют проводить дальнейшие научные исследования в области обоснования, разработки и совершенствования конструкций шнекобурового инструмента и расширителей, а также способов бурения горизонтальных и слабонаклонных скважин для повышения эффективности процесса двухэтапного бурения бурошнековыми машинами и проходческими комбайнами избирательного действия в горном деле и подземном строительстве. При этом оценка прочностных параметров предлагаемых конструкций будет проводиться с помощью разработанных на кафедре методов конечных элементов [16–18].

Список литературы

1. Маметьев, Л.Е. Обоснование и разработка способов горизонтального бурения и оборудования бурошнековых машин: Дис. … докт. техн. наук. – Кемерово, 1992. – 492 с.

2. Способ бурения горизонтальных и слабонаклонных скважин : а. с. 1701903 СССР : МКИ(5) E21C 1/00, E21B 7/00 / Сафохин М.С., Маметьев Л.Е., Ананьев А.Н., Скорняков Н.М., Ерин О.И. ; заявитель Кузбас. политехн. ин-т. – № 4723552/04 ; заявл. 26.07.89 ; опубл. 30.12.91, Бюл. № 48.

3. Маметьев Л.Е., Хорешок А.А., Борисов А.Ю., Алиткина О.А. Подходы к разработке комплектов инструмента машин для бурения скважин // Техника и технология горного дела. – 2026. – №1(32). – С. 48-67.

4. Khoreshok A.A., Mametyev L.E., Borisov A.Yu., Vorobyev A.V. Influence of the rigid connection between discs in the tetrahedral prisms on equivalent stresses when cutting work faces. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. V. 127. p. 012039.

5. 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.

6. 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.

7. Дисковый инструмент проходческого комбайна: пат. 146845 РФ на полезную модель: МПК E21C 25/18 (2006.01), E21C 27/24 (2006.01) / Маметьев Л.Е, Хорешок А.А., Борисов А.Ю., Воробьев А.В. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2014109201/03 ; заявл. 11.03.2014 ; опубл. 20.10.2014, Бюл. № 29.

8. Исполнительный орган проходческого комбайна избирательного действия : пат. 136086 РФ на полезную модель: МПК E21C 25/18 (2006.01), E21C 27/24 (2006.01) / Маметьев Л.Е, Хорешок А.А., Борисов А.Ю., Цехин А.М. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2013135402/03 ; заявл. 26.07.2013 ; опубл. 27.12.2013, Бюл. № 36.

9. Устройство для защиты внутреннего пространства трехгранной призмы от продуктов разрушения : пат. 134586 РФ на полезную модель: МПК

E21C 27/00 (2006.01) / Маметьев Л.Е, Хорешок А.А., Борисов А.Ю., Цехин А.М. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2013127350/03 ; заявл. 14.06.2013 ; опубл. 20.11.2013, Бюл. № 32.

10. Узел крепления дискового инструмента в трехгранной призме : пат. 128898 РФ на полезную модель: МПК E21C 27/00 (2006.01) / Маметьев Л.Е, Хорешок А.А., Борисов А.Ю., Мухортиков С.Г., Воробьев А.В. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2013100882/03 ; заявл. 09.01.2013; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 16.

11. Исполнительный орган выемочно-проходческой горной машины : пат. 152701 РФ на полезную модель: МПК E21C 25/18 (2006.01), E21C 27/24 (2006.01) / Маметьев Л.Е, Хорешок А.А., Борисов А.Ю. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2014144633/03 ; заявл. 05.11.2014 ; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 16.

12. Узел крепления дискового инструмента на рабочем органе горного комбайна : пат. 141339 РФ на полезную модель: МПК E21C 27/00 (2006.01) / Маметьев Л.Е, Борисов А.Ю. ; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева» (КузГТУ). – № 2014103560/03 ; заявл. 03.02.2014 ; опубл. 27.05.2014, Бюл. № 15.

13. Расширитель : а. с. 592975 СССР : МПК(2) E21C 17/00 / Сафохин М.С., Маметьев Л.Е., Бенюх Н.Д. ; заявитель Кузбас. политехн. ин-т. – № 2359343/22-03 ; заявл. 03.05.76 ; опубл. 15.02.78, Бюл. № 6.

14. Расширитель обратного хода для бурения горизонтальных скважин : а. с. 1666676 СССР : МПК(5) E21B 7/28 / Сафохин М.С., Маметьев Л.Е., Ананьев А.Н., Карпенко С. М. ; заявитель Кузбас. политехн. ин-т. – № 4674448/03 ; заявл. 05.04.89 ; опубл. 30.07.91, Бюл. № 28.

15. Расширитель горизонтальных скважин : а. с. 1670080 СССР : МПК(5) E21B 7/28 / Сафохин М.С., Маметьев Л.Е., Ананьев А.Н., Карпенко С.М. ; заявитель Кузбас. политехн. ин-т. – № 4674447/03 ; заявл. 05.04.89 ; опубл. 15.08.91, Бюл. № 30.

16. Буялич, Г. Д. Влияние размерности модели на расчёт параметров цилиндров гидростоек / Г. Д. Буялич, В. В. Воеводин, К. Г. Буялич // Вестник КузГТУ. – 2004. – № 5. – С. 42–44.

17. Обоснование плотности сетки цилиндра гидростойки при расчётах методом конечных элементов / Г. Д. Буялич, В. В. Воеводин, К. Г. Буялич // ГИАБ. – 2012. – № S3. – С. 126–129. – ISSN 0236-1493.

18. Конечные элементы для исследования горных машин : учеб. пособие / Г. Д. Буялич, В. В. Воеводин. – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2002. – 51 с.