

УДК 622

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ БШМ В СИСТЕМЕ MATLAB/SIMULINK

Амосов А. А., аспирант гр. ГПа-241, II курс

Козлов И. В., аспирант гр. ГПа-251, I курс

Научный руководитель: Ананьев К. А., к.т.н, доцент, зав. каф. ГМиК

Кузбасский государственный технический университет

имени Т.Ф. Горбачева

г. Кемерово

За основу создания модели принята общая схема бурошнековой машины (БШМ), приведенная на рисунке 1 и включающая в себя такие системы, как: энергосиловая установка (ЭСУ); система подачи; привод вращения; исполнительный орган (ИО); рама; буровой став (БС); система управления (СУ); геосреда; отвод отбитой горной породы; обсадная колонна; система фиксации [1].

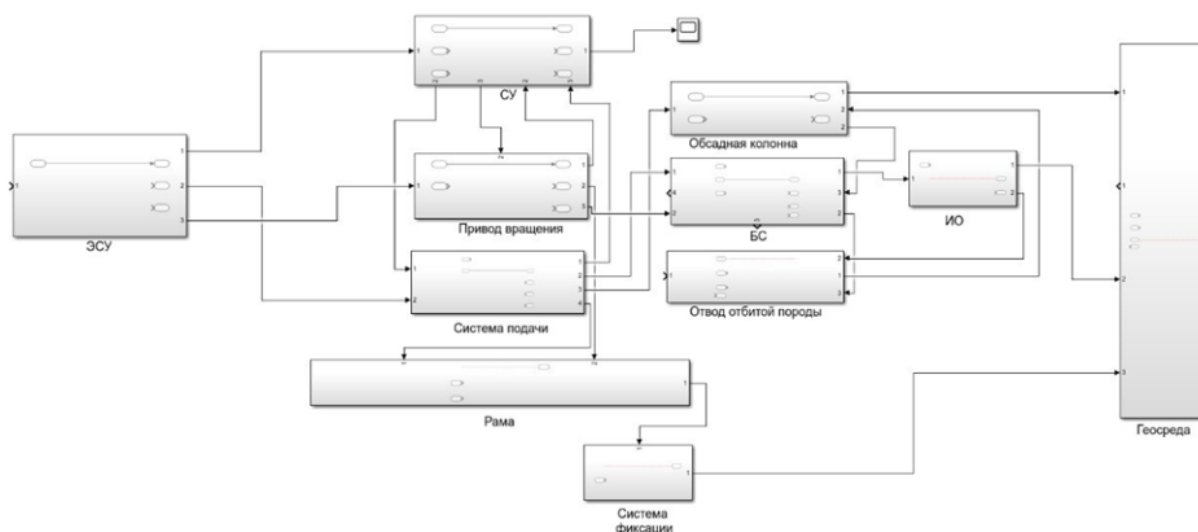


Рисунок 1 – Концептуальная-ориентированная модель БШМ

Сформированная концептуальная модель бурошнековой машины, позволяющая оценивать проектные решения без изготовления натурного образца, выполнять предварительную оптимизацию конструкции и определять структуру основных функциональных систем и их взаимосвязи. Однако с тем разработанная компонентно-ориентированная модель носит обобщённый характер и требует дальнейшего наполнения и детализацию блоков, а также уточнения взаимосвязей основных узлов БШМ

Разработка систем БШМ в системе Matlab/Simulink

Наиболее важными системами, непосредственно влияющими на процесс бурения, являются системы привода вращения, подачи и исполнительный

орган [2]. Эти блоки являются центральными в динамике машины, поскольку обеспечивают вращение бурового става, подачу инструмента в геологическую среду и разрушение породы. Проектирование (наполнение) этих систем выполняется в следующей последовательности:

1. Формирование принципиальной схемы. На этом этапе создается схема на основе типовых решений.

2. Определение параметров. На основе ранее полученных расчетных данных каждому блоку и его компонентам задаются конкретные рабочие параметры. Здесь же определяются границы и ограничения системы: для гидравлического или электрического привода устанавливаются предельные значения вращающего момента и скорости.

3. Поэтапное моделирование и проверка. Моделирование системы проводится поэтапно. Критически важно проверять работоспособность каждого собранного узла отдельно, чтобы впоследствии избежать длительного поиска ошибок в сложной комплексной модели.

Разработка системы блока привода вращения

В зависимости от типа исполнительного органа система привода вращения может включать в себя от одного или нескольких гидромоторов [3].

ИО, принятый к рассмотрению, приведен на рисунке 2. Он состоит из двух барабанов, установленных на вращающемся корпусе. Барабаны и корпус приводятся в движение гидромоторами.

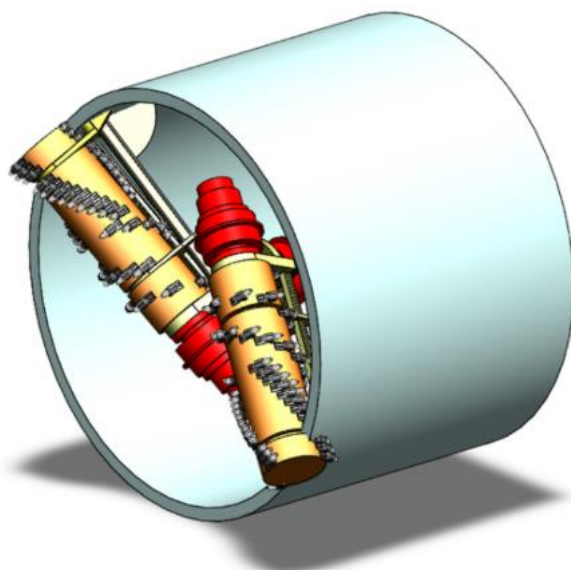


Рисунок 2 – Эскизный вариант ИО с установленной системой привода вращения

Для эмуляции работы системы приводов вращения ИО буровнековой установки, была сформирована эскизная схема системы привода вращения (рисунок 3).

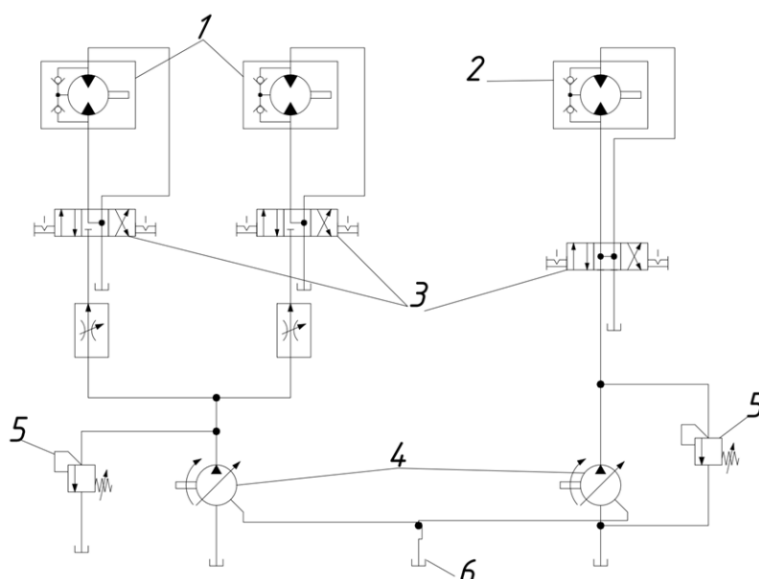


Рисунок 3 – Эскизная схема имитационной модели системы приводов вращения буровых установок: 1, 2 – гидромоторы привода вращения барабанов ИО и корпуса (обечайки) соответственно; 3 – распределительные клапаны; 4 – насосы с предохранительным клапаном; 5 – обратные клапаны; 6 – бак

Для проверки и более упрощенной настройки параметров, было принято решение разделить данную систему на подсистемы: 1) система приводов вращения барабанов ИО, 2) система вращения корпуса ИО (обечайки).

На рисунке 4, изображен блок привода вращения корпуса (обечайки) ИО:

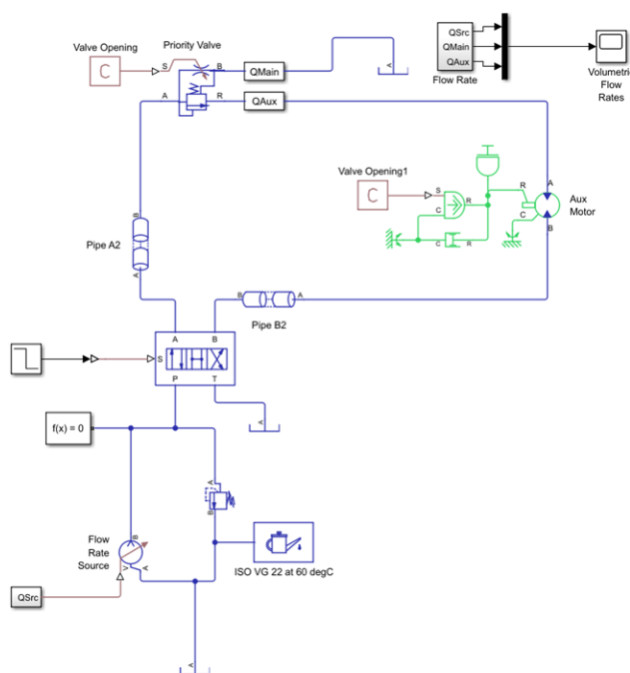


Рисунок 4 – Схема имитационной модели подсистемы привода вращения корпуса (обечайки)

На представленной эскизной гидравлической схеме системы привода вращения бурошнековой машины изображены: один основной гидромотор привода вращения рабочего органа (QMain), один вспомогательный гидромотор (QAux), гидромотор системы подачи смазки/охлаждения/промывки, приоритетный клапан, два пропорциональных 4/3-ходовых распределителя с электрическим управлением, гидравлический насос (источник QSgc), гидробак с охлаждением и фильтрацией, линии всасывания, напорные, сливные и дренажные, дроссельные элементы и обратные клапаны приоритетного распределения, блоки управления степенью открытия пропорциональных золотников (Valve Opening, Valve Opening1).

Схема системы привода вращения барабанов ИО будет, аналогичной, за исключением дублирования.

Аналогично схемам систем привода вращения была сформирована имитационная модель работы гидравлической системы привода подачи (рисунок 5).

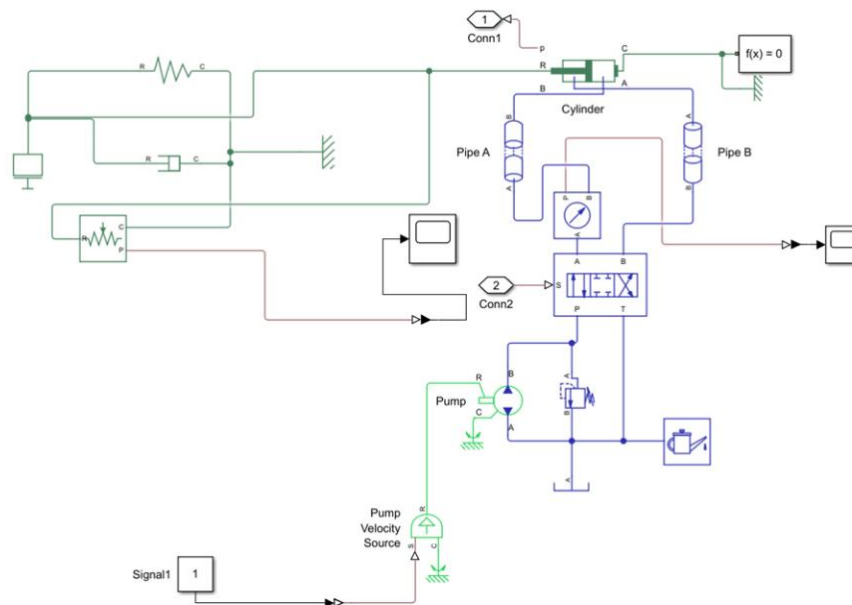


Рисунок 5 – Схема имитационной модели системы привода подачи

На представленной эскизной гидравлической схеме системы подачи (подающего механизма) бурошнековой машины изображены: гидроцилиндр подачи (Cylinder), один гидравлический насос (Pump), пропорциональный 4/3-ходовой распределитель с электрическим управлением, два трубопровода высокого давления (Pipe A и Pipe B), дроссельные элементы и обратные клапаны, предохранительный клапан, гидробак, линии всасывания, напорные и сливные, блок управления скоростью насоса (Pump Velocity Source), а также соединительные элементы и датчики положения/скорости

Разработка системы блока исполнительного органа

Для эмуляции работы ИО была сформирована имитационная модель работы ИО при бурении (рисунок 6), включающая в свой состав барабаны и корпус (обечайку).

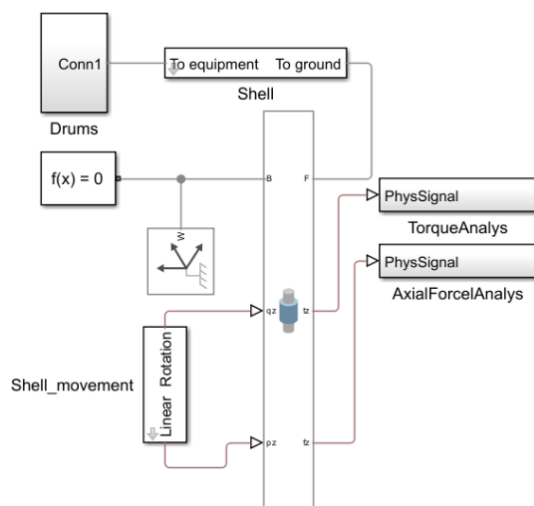


Рисунок 6 – Схема имитационной модели системы исполнительного органа

Представленная схема включает в себя следующие блоки: барабаны (Drums), корпус (обечайка) (Shell), и системы вращения барабанов и система подачи ИО (Shell_movement), это необходимо для вращения и подачи, пока системы не связаны, датчики крутящего момента (TorqueAnalys) и осевых сил (AxialForcelAnalys).

Основные блоки состоят из блоков подсистем, которые также включают в себя другие подсистемы, позволяют настраивать основные параметры, редактируя только основной блок.

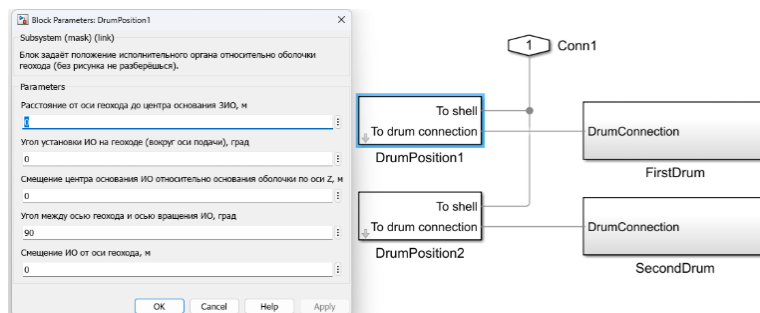


Рисунок 7 – Блок исполнительного органа

Блок ИО (рисунок 7) включает в себя первый и второй барабанный ИО (Drum) и систему задачи положения относительно корпуса (DrumPosition). Блок задачи положения (рисунок 8, а) включает в себя две функции перемещения координат (установка вокруг оси подачи и установка вокруг собственной оси). Блоки первого и второго барабана ИО (рисунок 8, б) идентичны и состоят из блоков индивидуального привода вращения (Rotation frequency), блока цилиндра (Out_Cutting_Drum) и блока резцов (NineCuttersWForces), включающего в себя резцы по отдельности, с целью задачи их индивидуального положения относительно тела ИО и матрицу расчета нагрузки.

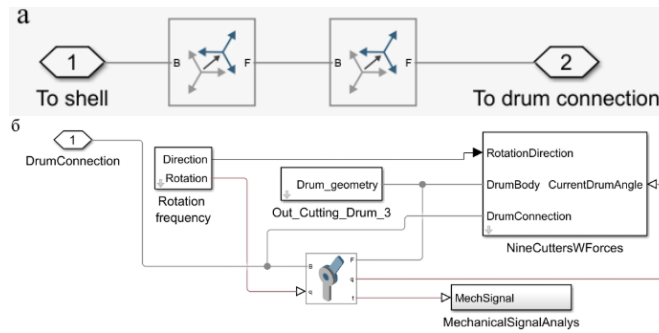


Рисунок 8 – Блок ИО: а – блок задачи положения, б – блоки первого и второго барабана ИО

Итоговая полученная имитационная модель ИО БШМ, смоделированная в Matlab/Simulink изображена на рисунке 9.

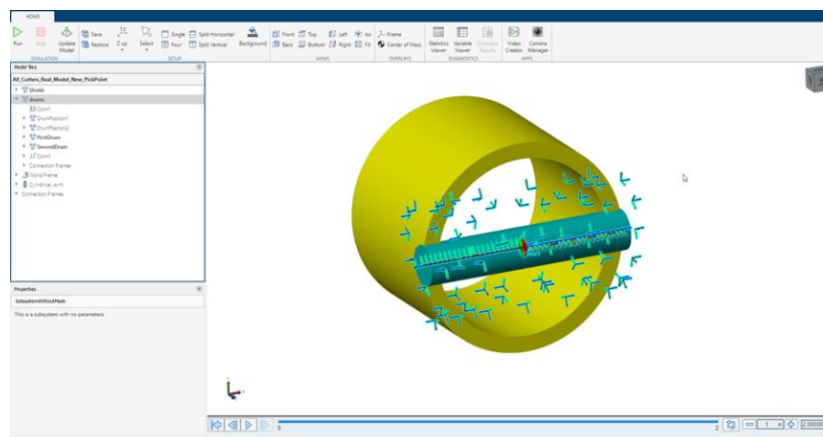


Рисунок 9 – Имитационная модель ИО БШМ

На рисунке 9 резцы, установленные на барабанах исполнительного органа (ИО), представлены в виде векторов с имитационными параметрами сопротивления резанию. Это необходимо для моделирования нагрузки со стороны геологической среды в условиях отсутствия связи с её блоком, поскольку без учёта такой нагрузки имитационная модель в целом не сможет функционировать корректно, а имитация гидросистемы будет работать некорректно.

Объединение систем подачи и вращения с ИО

Поскольку среда моделирования не выдаёт ошибок при раздельной работе систем, следующим этапом является их объединение.

Для системы привода вращения на основе ранее проведённых расчётов устанавливаются параметры ограничения скорости вращения в диапазоне от 0,1 до 4 об/мин и крутящего момента — от 20 до 39 кН·м. Благодаря полученной имитационной модели появляется возможность проверить расчётные параметры, например потребляемую мощность, и уточнить, достаточно ли будет использовать менее мощные гидромоторы.

Для блока привода подачи также задаётся ограничение усилия подачи до 530 кН. Эти ограничительные параметры в текущей модели реализованы непосредственно в блоках привода подачи и вращения.

Полученная имитационная схема со связями блоков системы приводов вращения, подачи и ИО БШМ представлена на рисунке 10.

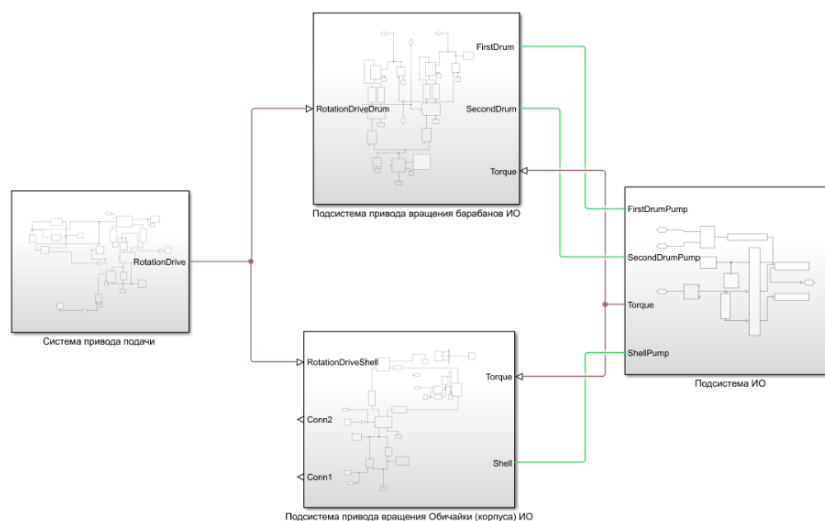


Рисунок 10 – Имитационная схема со связями блоков БШМ

В блоке исполнительного органа (ИО) имитационной модели были заданы следующие исходные параметры: диаметр скважины — 1,3 м, прочность породы на одноосное сжатие — от 12 до 15 МПа, показатель качества пород по системе Rock Quality Designation (RQD) — от 15 до 20 %.

Для верификации и оценки адекватности имитационной модели в процессе моделирования были установлены несколько датчиков, регистрирующих ключевые параметры процесса.

Результаты измерений визуализированы с помощью блоков вывода Score в виде соответствующих графиков (рисунок 11).

Данная конфигурация параметров и система регистрации данных позволили получить репрезентативные временные зависимости, необходимые для анализа динамики бурения в условиях низкокачественных пород средней прочности.

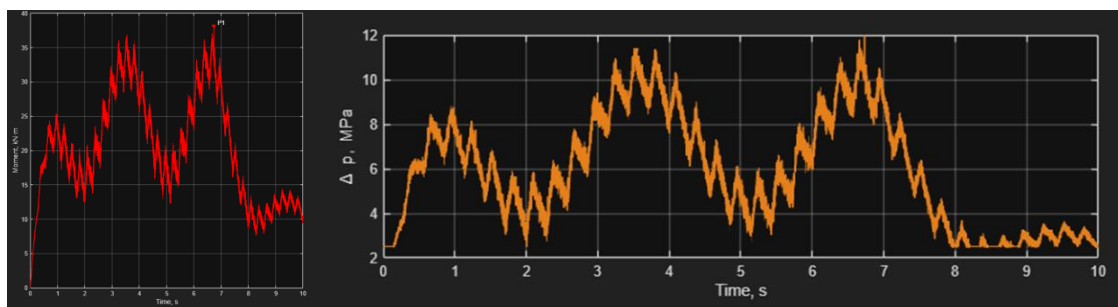


Рисунок 11 – График изменения крутящего момента на ИО БШМ полученной имитационной модели

В условиях фиксированных параметров геологической среды (прочность породы на одноосное сжатие от 12 до 15 МПа, RQD 20 %) усилие подачи задавалось ступенчато с максимальным значением 527,5 кН, что позволило

имитировать изменение свойств породы (переходы от более прочных зон к менее прочным). При этом крутящий момент формировался пропорционально усилию подачи и достигал максимума 38,11 кН·м.

Увеличение давления в гидросистеме приводит к пропорциональному росту развиваемого крутящего момента, что, в свою очередь, обеспечивает ускорение вращения исполнительного органа до достижения установившегося режима. Различия в наклоне переходных характеристик (кривых разгона) обусловлены прежде всего различием рабочих объёмов применённых гидромоторов.

Полученные переходные характеристики подтверждают адекватность разработанной имитационной модели реальным процессам пуска и останова гидропривода исполнительного органа, даже при заданных параметрах в виде константы. При включении в модель блоков геологической среды и системы управления указанные ограничения будут устранены, а характер имитации процесса станет непостоянным, поскольку в массиве могут присутствовать прослойки пород с повышенной твёрдостью. В данном случае требуемая информация о необходимом крутящем моменте будет поступать непосредственно от датчиков, установленных на блоке исполнительного органа, что обеспечит автоматическое регулирование параметров процесса в реальном времени.

Выводы

Текущая имитационная модель бурошнековой машины (БШМ), разработанная в среде Matlab/Simulink, характеризуется ограничениями, обусловленными использованием фиксированных параметров нагрузки от геологической среды. Это приводит к постоянному характеру имитации, что не в полной мере отражает реальные условия бурения, где возможны неоднородности и прослойки пород с повышенной твёрдостью.

Для устранения указанных ограничений предлагается интеграция в модель блоков геологической среды и системы управления. Реализация такого подхода позволит:

1. Обеспечить динамическое регулирование параметров процесса бурения в реальном времени на основе данных, получаемых от датчиков, установленных на блоке исполнительного органа. Это повысит адаптивность модели к изменяющимся условиям геологической среды.

2. Получить дополнительные параметры для настройки и наполнения других функциональных блоков модели, что обеспечит более точное соответствие модели реальным физическим процессам.

3. Создать основу для оптимизации всей имитационной модели, что станет ключевым этапом в разработке цифрового двойника БШМ.

Список литературы:

1. Варнавский К.А. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: теоретические основы цифровой трансформации горнотехнических систем предприятий минерально-сырьевого комплекса / К.А. Варнавский. – г.

Кемерово: Научно-исследовательская лаборатория цифровой трансформации предприятий минерально-сырьевого комплекса (НИЛ ЦТПМСК), 2024

2. Ананьев К.А., Амосов А.А., Козлов Р.Д., Сидоров М.С. Обоснование необходимости создания буровой установки для бурения сбоечных скважин в угольных шахтах // Горное оборудование и электромеханика. 2023. № 3 (167). С. 35-41. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-3-35-41, EDN: DXWHZK.

3. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022622454 Российская Федерация. База данных "Буровых установок" - горизонтального и наклонного бурения, для подземных и открытых разработок : № 2022622336 : заявл. 26.09.2022 : опубл. 10.10.2022 / А. Н. Ермаков, А. А. Амосов, Р. Д. Козлов ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева». – EDN QEGBEW.