

УДК (UDC) 625.144

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ БУРОВЫХ МАШИН
В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕAPPLICATION OF MODERN DRILLING MACHINES
IN TRANSPORT CONSTRUCTIONГринчар Н.Г., Шошин А.С., Чалова М.Ю.
Grinchar N.G., Shoshin A.S., Chalova M. Yu.Российский университет транспорта (Москва, Россия)
Russian University of Transport (Moscow, Russian Federation)

Аннотация. Широкие масштабы плана освоения Крайнего Севера, Сибири предусматривают ежегодную разработку сотен миллионов кубометров вечномёрзлых грунтов и горных пород, большая часть которых требует применения буровзрывных работ. Наиболее трудоёмким процессом подготовки пород к выемке является создание скважин. Бурение вечномёрзлых грунтов, грунтов со скальными включениями, монолитных и трещиноватых горных пород требует тщательного анализа и подробных расчётов для каждого из видов породы. Необходимо также учитывать, что тяжелые климатические условия работы на Крайнем Севере, открытых горных месторождениях, подразумевают также и значительное удаление от каких-либо населенных пунктов, поэтому, опираясь на вышеперечисленные факторы, следует с особым вниманием исследовать проблемы мобильности и надёжности буровых тракторных станков. В данной статье рассматривается применение современных буровых машин, приведено сравнение бурового тракторного станка с гидродвигательным приводом бурового става со станком с гидродвигательным приводом, перечислены факторы, подтверждающие целесообразность применения гидравлического привода бурового става, рассмотрены результаты испытаний бурения различных пород, а также влияния структуры пород на колебания давления и увеличения расхода гидравлической жидкости в системе привода станка.

Ключевые слова: бурение, вечномёрзлые грунты, транспортное строительство.

Дата принятия к публикации: 09.12.2020
Дата публикации: 25.12.2020

Сведения об авторах:

Гринчар Николай Григорьевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Наземные транспортно-технологические средства», ФГАУ ВО «Российский университет транспорта»,
e-mail: nggrin@yandex.ru.

Шошин Александр Сергеевич – аспирант кафедры «Наземные транспортно-технологические средства», ФГАУ ВО «Российский университет транспорта»,
e-mail: ferzool@yandex.ru

Abstract. The broad scale of the plan for the development of the Far North, Siberia, provides for the annual development of hundreds of millions of cubic meters of permafrost soils and rocks, most of which require the use of drilling and blasting operations. The most time consuming process of preparing rocks for excavation is the creation of wells. Drilling of permafrost soils, soils with rock inclusions, monolithic and fractured rocks requires careful analysis and detailed calculations for each type of rock. It should also be borne in mind that the harsh climatic conditions of work in the Far North, open mining fields, also imply a significant distance from any settlements, therefore, based on the above factors, special attention should be paid to investigate the problems of mobility and reliability of tractor drilling rigs. This article discusses the use of modern drilling machines, provides a comparison of a tractor drilling rig with a mechanical drive of a drill string with a machine with a hydraulic drive, lists the factors confirming the feasibility of using a hydraulic drive of a drilling string, examines the results of tests of drilling various rocks, as well as the effect of rock structure on vibrations pressure and increase in the flow rate of hydraulic fluid in the drive system of the machine.

Keywords: drilling, permafrost, transport construction.

Date of acceptance for publication: 09.12.2020
Date of publication: 25.12.2020

Authors' information:

Nikolay G. Grinchar – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department «Ground transportation and technological means» at Russian University of Transport,
e-mail: nggrin@yandex.ru.

Alexander S. Shoshin – postgraduate student of the Department «Ground transportation and technological vehicles» of the Russian University of Transport,
e-mail: ferzool@yandex.ru

Чалова Маргарита Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Наземные транспортно-технологические средства», ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»,
e-mail: margarita_chalova@mail.ru.

Margarita Yu. Chalova – Candidate Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department «Ground transportation and technological means» at Russian University of Transport,
e-mail: margarita_chalova@mail.ru.

1. Введение

Основу машинного парка, обеспечивающего разработку взрывных скважин при строительстве железных и автомобильных дорог, а также скважин под свайные фундаменты промышленных и гражданских зданий составляют строительные буровые машины, созданные в результате многолетних работ.

Создание современных строительных буровых машин является одной из важнейших задач в повышении производительности и снижении себестоимости наиболее трудоёмкого и дорогостоящего процесса подготовки скальных пород к выемке - разработки скважин для размещения в них зарядов взрывчатых веществ. Буровая техника транспортного строительства развивалась в непосредственной зависимости от опыта машиностроения в нефтяной промышленности, от технологии, построенной на базе комплексной механизации открытой и подземной разработки полезных ископаемых [3-5, 7].

Однако исследования режимов работы строительных буровых машин показали, что условия их работы и характер нагружения приводов обладают целым рядом индивидуальных особенностей, позволяющих выделить их в отдельную группу. Основными отличительными признаками этой группы являются:

1. Повышенные требования к автономности, мобильности и манёвренности.
2. Ограничение по типу и мощности силовой установки, определяемой базой промышленного трактора.
3. Ограничение по массе навесного бурового оборудования и по массе машины в целом.
4. Очистка скважин преимущественно воздухом.
5. Удалённость от ремонтной базы.
6. Тяжёлые породные условия, характеризующиеся значительным процентом тре-

щиноватых пород (от 30 до 70%), а также необходимостью бурения мёрзлых и вечно-мёрзлых грунтов с содержанием до 70% валунно-галечных и скальных включений.

Для бурения взрывных скважин и шпуров при сооружении земляного полотна, образовании скальных выемок, добыче щебня в притрассовых карьерах применяются в основном самоходные буровые тракторные станки БТС-150 [2, 6].

Буровая машина БТС-150 предназначена для бурения скважин в скальных легкодробимых породах V-VIII категорий при разработке на объектах линейного строительства при мощности взрываемого слоя породы более 3,5 м скальных выемок взрывным способом. Машина может быть также использована на бурении скважин в моренных грунтах с включением валунов, мёрзлых грунтах без скальных включений, в том числе вечно-мёрзлых, предназначенных для взрывного рыхления [1]. В качестве бурового инструмента используется шарошечное долото; очистка забоя от буровой мелочи и охлаждение инструмента осуществляются сжатым воздухом, подаваемым в забой через буровой став от придаваемой к бурильной машине компрессорной станции типа ПК-10. От устья скважины измельченная скальная порода транспортируется вентилятором по шлангу в пылеосадительную камеру.

Первоначально в качестве базового трактора для машины БТС-150 был принят промышленный гусеничный трактор Т-130 (рис. 1).

На шасси шарнирно в четырех точках закреплена сварная рама станка. Горизонтирование осуществляется при помощи трёх опорных гидродомкратов. Шарнирное крепление буровой рамы к основной раме станка обеспечивает возможность её наклона, осуществляемого при помощи двух гидроцилиндров. Буровая рама снабжена двумя направляющими штангами и квадратным валом. Давление на забой осуществляется гидроцилиндром подачи.

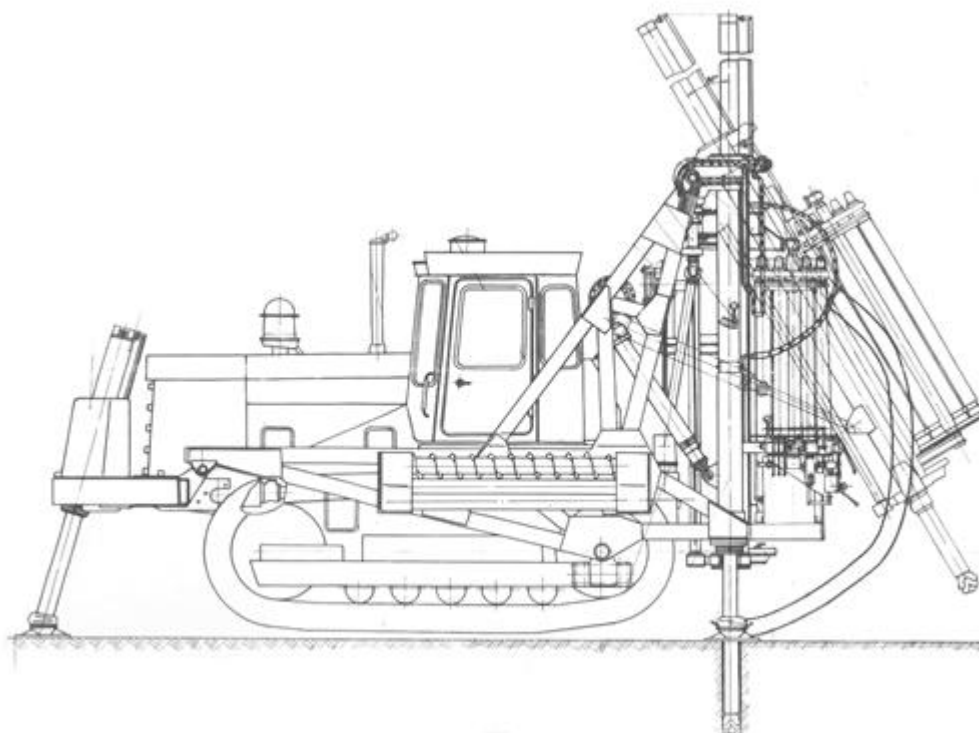


Рис. 1. Буровая машина БТС-150 на базе трактора Т-130 в рабочем положении

Машина БТС-150 в изначальной комплектации на базе трактора Т-130 имела механический привод бурового става.

Кинематическая схема представлена на рис. 2. Крутящий момент от вала отбора мощности дизеля 1 передавался на буровой став посредством громоздкой и сложной кинематической цепи. Коробка передач 2 механическая с приводом от вала отбора мощности двигателя трактора. Она позволяла получить две рабочие скорости вращения бурового става и обратный ход. Шестерни коробки - постоянного зацепления. Коробка передач 2 соединялась с левым коническим редуктором привода 4 с помощью карданного вала 3. Правый конический редуктор 5 привода закреплялся на буровой раме и имел возможность поворачиваться относительно левого редуктора при наклоне буровой рамы.

В гнездо выходного вала правого редуктора привода входил квадратный вал 6, передававший крутящий момент вращателю 7. Соединённый с вращателем 7 посредством переходного замка 8 буровой став 9 соосен с гидроцилиндром подачи на забой, шток которого шарнирно закреплён на крышке вращателя. Сам вращатель представлял собой

одноступенчатый цилиндрический редуктор, через который внутрь бурового става подводился сжатый воздух от компрессорной станции. Вся конструкция требовала высокой точности изготовления и сборки элементов привода.

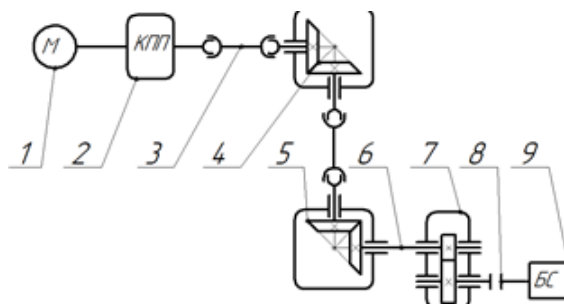


Рис. 2. Кинематическая схема механической трансмиссии бурового става машины БТС-150

Незначительный дисбаланс вращающихся элементов вращателя мог вызвать значительные колебания как трансмиссии, так и станка в целом. Частота вращения бурового става регулировалась исключительно оборотами двигателя и двумя ступенями коробки передач. Ввиду того, что у двигателя внутреннего сгорания крутящий момент зависит от частоты

ты вращения коленчатого вала, некоторые режимы бурения могут вызывать скачки оборотов и стопорения. Этот факт, в свою очередь, снижает надёжность и так громоздкой кинематической схемы. Данная конструкция имела относительно низкий ресурс как трансмиссии, так и перегруженного ДВС.

Дальнейшее совершенствование машин этого типа связано с заменой механической трансмиссии на гидрообъемный привод [1, 8].

Данный тип привода позволяет при небольших габаритах и весе гидроагрегата, легко реверсировать направление вращения, исключает необходимость применения сложных передач, а также ввести автоматическое и полуавтоматическое управление, использование которого улучшает условия труда машиниста. Кроме того, независимое расположение в пространстве насоса и гидродвигателя, а также их малые габаритные размеры создают большие компоновочные удобства, позволяют принципиально по-новому решать конструкцию узлов, уменьшать габариты и вес при одновременном увеличении энерговооружённости машины, сокращается номенклатура и количество запасных частей, требующихся в эксплуатации.

В связи с широким применением во всех без исключения современных строительных буровых машинах гидропривода типа насос-силовой гидроцилиндр, введение дополнительной подсистемы насос-гидродвигатель не усложняет существенно систему гидропривода в целом.

Эти основные преимущества гидравлического привода и предопределили расширяющееся его применение в модернизированном приводе строительных буровых машин с шарошечным рабочим органом (БТС-150БГ) (рис.3).

Базой гидрофицированной машины служит промышленный гусеничный трактор Т-170, на который навешивается основная рама буровой машины с четырьмя опорными гидродомкратами. На задней части этой рамы шарнирно закреплена буровая рама, по направляющим которой с помощью гидроцилиндра подачи перемещается вращатель, соединённый с буровой штангой.

В приводе гидрофицированной машины кинематическая схема гораздо более про-

стая: были исключены квадратный и карданные валы, а также конические редукторы. Масса бурового станка снизилась, улучшилась развесовка, что позволило убрать противовес с передней части машины.

Конструкция данной машины, благодаря гидравлическому приводу, позволяет плавно регулировать частоту вращения бурового става, при этом двигатель работает не перегружаясь, при постоянной частоте вращения коленчатого вала. В станках с гидравлическим приводом бурового става наращивание и разборка бурового става механизированы и осуществляются с помощью кассеты барабанного типа с набором запасных штанг, подводимой к буровому ставу гидроцилиндром. В рабочем положении машина горизонтируется с помощью гидродомкратов. Управляют машиной возможно как из кабины, так и с дистанционного пульта. При транспортировании машины на большие расстояния используют автомобильный прицеп грузоподъёмностью не менее 15 т или железнодорожную платформу.

Для защиты рабочей зоны от пыли на машине смонтирована модернизированная установка сухого пылеподавления, состоящая из пылеприёмника, отводного рукава, циклонного и рукавного фильтров, отсасывающего вентилятора. Для работы в районах с суровым климатом предусмотрен подогрев двигателя, компрессорного и гидравлического оборудования. Пульт управления размещён в закрытой кабине, оснащённой установками подогрева и вентиляции воздуха [2, 6].

Кинематическая схема привода бурового става машины БТС-150БГ представлена на рис. 4.

2. Экспериментальные исследования функционирования привода вращения бурового става машины БТС-150

Надёжность, и, в частности долговечность элементов трансмиссии зависят, прежде всего, от режима эксплуатации [1].

С целью уточнения фактических параметров процесса бурения скальных пород были проведены натурные испытания машины.

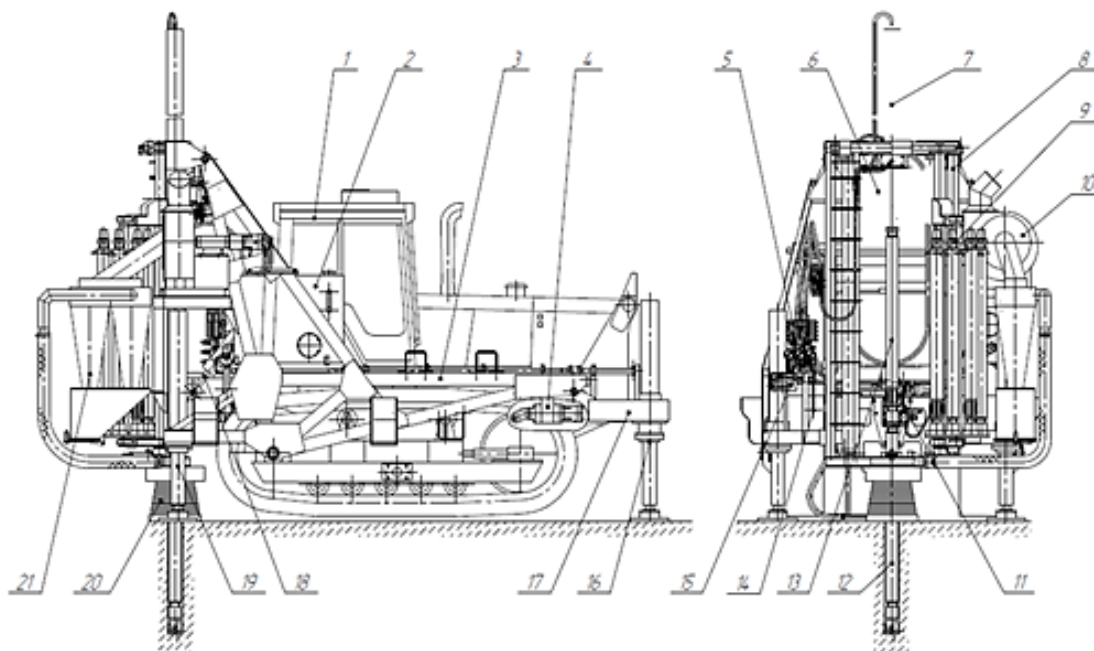


Рис. 3. Буровой тракторный станок БТС-150БГ в рабочем положении:
1 - трактор; 2 - гидравлический бак; 3 - основная рама; 4 - передняя насосная установка;
5 - гидрооборудование; 6 - вращатель; 7 - гидроцилиндр подачи; 8 - буровая рама;
9 - механизм подачи штанг; 10 - вентилятор; 11 - основная насосная установка;
12 - гладкая штанга; 13 - противовибрационная штанга; 14 - управление подачей топлива двигателя трактора; 15 - пульт управления; 16 - передний домкрат; 17 - рама передних домкратов; 18 - гидроцилиндр наклона; 19 - задний домкрат; 20 - пылеприемник; 21 - циклон

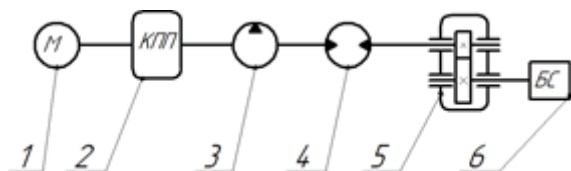


Рис. 4. Кинематическая схема гидромеханической трансмиссии бурового става машины БТС-150Г

В процессе испытаний на экране осциллографа фиксировались следующие основные параметры, характеризующие работу буровой машины и гидропривода вращения бурового става в частности:

- давление рабочей жидкости в напорной магистрали гидромотора вращателя $P_{зм}$;
- давление жидкости в напорной магистрали гидроцилиндра подачи бурового става $P_{ос}$;
- частота вращения бурового става n .

Основные результаты экспериментальных исследований сводятся к следующему:

- 1) режим работы гидросистемы вращателя может существенно изменяться, как при изменении породных условий, так и при изменении числа оборотов бурового става;
- 2) независимо от величины осевого давления при частоте вращения 76 об/мин наблюдаются значительные колебания давления с амплитудой до 16 МПа (160 кгс/см²);
- 3) перегрузки гидросистемы сопровождались разрывом рукавов высокого давления и трубопроводов;
- 4) непосредственно в процессе натурных испытаний и при анализе результатов причины возникновения столь значительных по амплитуде колебаний давления в гидросистеме вращателя установить не удалось.

Разбуриваемые горные породы были слоистыми и характеризовались наличием трещин.

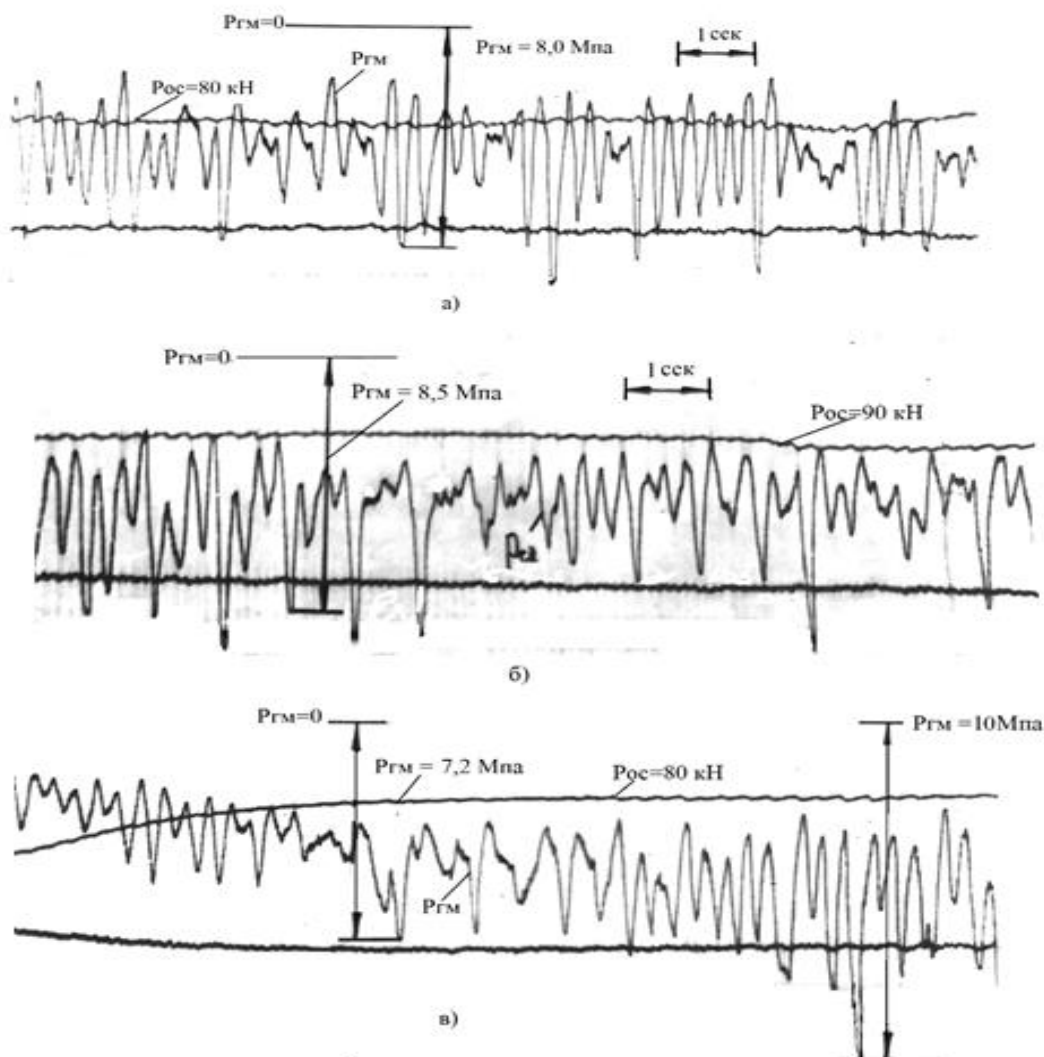


Рис. 5. Осциллограммы режимов нагружения гидросистемы механизма вращения бурового става тракторного станка БТС-150 (P_{GM} – давление в напорной линии гидромотора привода вращения бурового става; P_{OC} – давление в напорной линии гидроцилиндра подачи бурового става, соответствующее осевому усилию на буровой став: а - 80 кН, б - 90 кН, в - 80 кН)

Анализ и интерпретация полученных результатов натурных испытаний проводились в соответствии с рекомендациями, изложенными в [9, 10].

Анализ осциллограмм показывает, что в общем случае режим нагружения гидросистемы вращателя имеет случайный нестационарный характер, что можно объяснить неоднородностью структуры и, соответственно, физико-механических свойств разрабатываемой породы.

Так как параметры режима бурения практически постоянны, то следует полагать, что свойства породы изменяются при прочих равных условиях, в значительной степени определяют статическую и динамическую со-

ставляющие процесса, что можно показать на примере осциллограмм (рис.6, а, б), на которых записаны режимы нагружения гидросистемы вращателя, отличающиеся только породными условиями, а параметры режима бурения $P_{зи}$ и n оставались постоянными.

Режим нагружения гидросистемы при бурении монолитных пород характеризуется меньшим средним значением давления $P = 6,5$ МПа (против $P = 10,5$ МПа в трещиноватых) и среднеквадратическим отклонением $\sigma = 0,21$ МПа (против $\sigma = 1,0$ МПа в трещиноватых). Распределение свойств породы по глубине проходки и по поверхности забоя является, очевидно, случайным. Режимы наг-

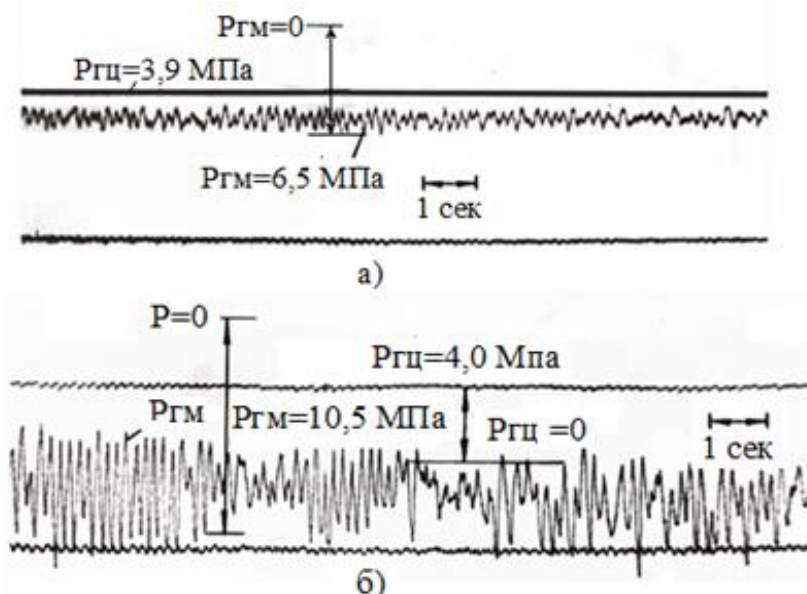


Рис. 6. Типовые осциллограммы режимов нагружения гидросистемы механизма вращения бурового става БТС-150 при бурении: а - монолитных пород; б - трещиноватых пород ($P_{гм}$ – давление в напорной линии гидромотора привода вращения бурового става; $P_{гц}$ - давление в напорной линии гидроцилиндра подачи бурового става)

ружения гидросистемы вращателя отличаются только породными условиями, давление и частота вращения бурового става оставались постоянными.

Влияние частоты вращения бурового става на формирование режима нагружения гидросистемы вращателя можно проиллюстрировать на совмещённых в одних координатных осях графиках средних спектров процессов, которые получены при различной частоте вращения исполнительного органа.

Анализ графика совмещённых средних спектров (рис. 7) показывает, что мощность колебаний на частоте в три раза высшей частоты вращения бурового става возрастает при снижении частоты вращения исполнительного органа. Известно, что генератором колебаний частоты, в три раза превосходящей частоту вращения бурового става, является трехшарошечное долото при взаимодействии последнего с неравнопрочной породой.

Средние спектры (рис. 7) характеризуются также наличием пиков, мощность которых значительно меньше мощности колебаний, генерируемых трехшарошечным долотом. Частоты отмеченных пиков кратны частоте вращения бурового става в отношении 1 и 2 колебания нагрузки за один оборот исполни-

тельного органа. Очевидно, что источником низшей частоты, которая равна частоте вращения исполнительного органа, является несоосность бурового става и вращателя. Наличие двух генераторов колебаний с соотношением частот 1:1:3 вызывает в гидравлической системе вращателя появление промежуточной частоты, которая будет лежать между ними.

В процессе экспериментов при частоте вращения бурового става 76...78 об/мин и 119 об/мин были зафиксированы режимы работы гидропривода вращателя под нагрузками, которые характеризуются забросами давления свыше 12,0 МПа (рис. 7). Анализ показывает, что оба режима имеют основную мощность колебаний, сосредоточенную на частоте 3,8 Гц, являющейся частотой, генерируемой трехшарошечным долотом при частоте вращения бурового става $n = 76...78$ об/мин и промежуточной при $n = 119$ об/мин, хотя на остальных частотах вращения бурового става такого перераспределения мощности колебаний не наблюдается. Поэтому было выдвинуто предположение о резонансной природе забросов давления в гидросистеме вращателя бурового става при частоте вращения исполнительного органа 78 и 119 об/мин.

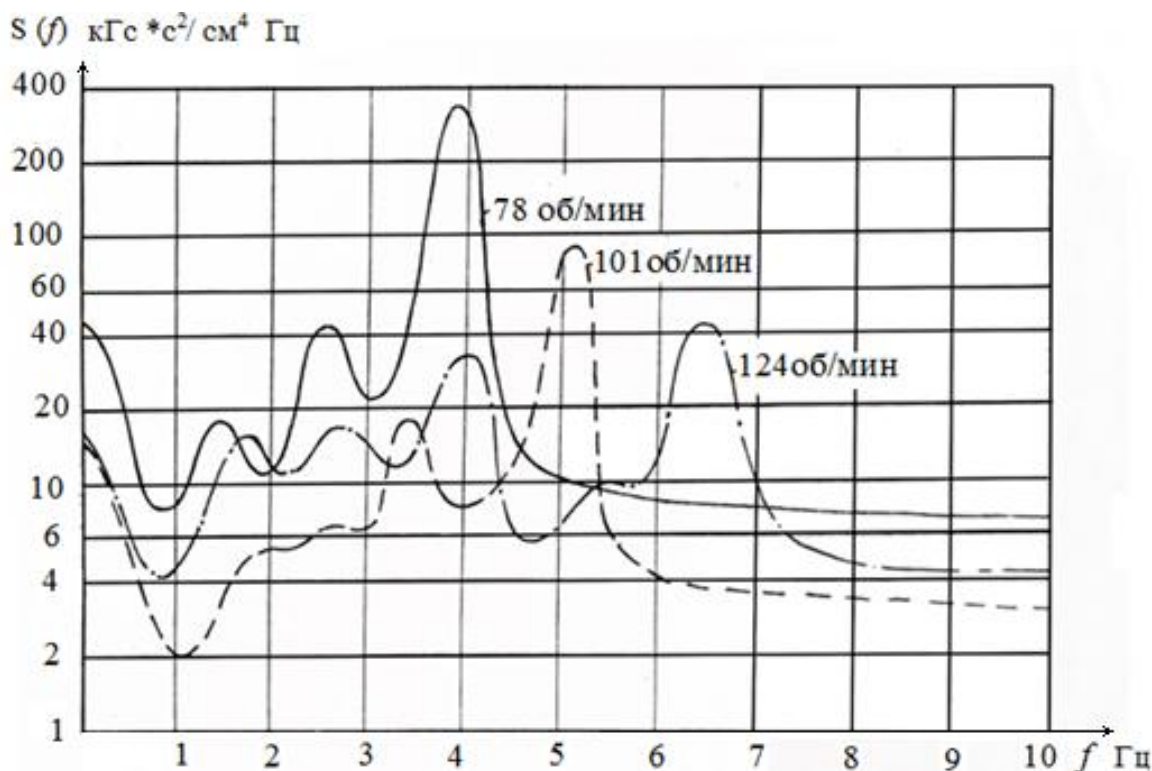


Рис.7. Графики средних спектров

Для решения данной задачи была рассчитана собственная частота гидросистемы при следующих исходных параметрах:

- момент инерции привода, приведённый к валу гидромотора $I = 0,0817 \text{ Н}\cdot\text{мм}^2\cdot\text{с}^2$ ($0,833 \text{ кг}\cdot\text{см}^2\cdot\text{с}^2$);

- рукава высокого давления длиной $l = 2800 \text{ мм}$, диаметром $d = 20 \text{ мм}$;

- приведённый модуль упругости рабочей жидкости и рукавов высокого давления $E = 107,87 \text{ Н/мм}^2$ ($1,1\cdot 10^3 \text{ кгс/см}^2$);

- механическая жёсткость $C_m = 50,96 \text{ Н/мм}^2$ ($519,6 \text{ кгс}\cdot\text{см}$).

Анализируя средние спектры мощности колебаний (рис. 7) заметно наличие пиков, мощность которых значительно меньше мощности колебаний, генерируемых трехшарошечным долотом, являющегося источником этих колебаний, частота которых пропорциональна частоте вращения исполнительного органа. Кроме того, источниками колебаний являются несоосность бурового става и вращателя относительно друг друга.

В результате расчёта получено, что первая гармоника собственной частоты вращателя с гидроприводом находится на частоте 3,97 Гц. Отсюда следует вывод о принципиальной возможности резонансного режима

при частоте вращения бурового става 76...80 об/мин и 118...120 об/мин, что соответствует частоте вынужденных и кратных колебаний в диапазоне 3,8...4,0 Гц.

3. Заключение

В результате экспериментальных исследований режимов нагружения гидросистемы вращателя буровой машины БТС-150 установлено, что при определенных динамических свойствах вращательного механизма и характере внешнего нагружения колебания давления и расхода рабочей жидкости могут достигать недопустимо большой величины, что приводит к преждевременному выходу из строя аппаратов гидросистемы. В свою очередь, это ведет к выходу из строя машины в целом. Такой режим функционирования может быть оценен как сверхтяжелый [1]. Поэтому на стадии проектирования буровых машин с гидрообъемным приводом необходимо учитывать в комплексе как динамические особенности последнего, так и параметры нагрузки на буровом стае.

Учитывая, что при анализе режимов нагружения гидросистемы вращателя бурового става машины БТС-150 имеется довольно

ограниченное количество реализаций, для проверки условий возникновения резонансных колебаний необходимо проведение дальнейших исследований, в результате которых должна быть создана уточненная методика расчёта динамических параметров враща-

тельно-подающего механизма исполнительного органа строительных буровых машин, с целью определения рациональных параметров, обеспечивающих снижение динамических нагрузок в гидроприводе машины.

Список литературы

1. Гринчар Н.Г. Надежность гидроприводов строительных, путевых и подъемно-транспортных машин. М.: Автограф, 2016. 368 с.
2. Журба В.А. Машины для транспортного строительства. М.: Транспорт, 1984. 429 с.
3. Ильский А.Л., Шмидт А.П. Буровые машины и механизмы. М.: Недра, 1989. 396 с.
4. Кирсанов А.Н., Зиненко В.П., Кардыш В.Г. Буровые машины и механизмы. М.: Недра, 1981. 447 с.
5. Медведев И.Ф. Режимы бурения и выбор буровых машин. М.: Недра, 1986. 223 с.
6. Недорезов И.А., Машкович О.Н., Спивак С.Г. Машины и механизмы транспортного строительства. М.: Транспорт, 1989. 358 с.
7. Ржевский В.В. Процессы открытых горных работ. М.: Недра, 1978. 544 с.
8. Иванов, Г.М. Проектирование гидравлических систем машин. М.: Машиностроение, 1992. 224 с.
9. Тарко Л.М. Переходные процессы в гидравлических механизмах. М.: Машиностроение, 1973. 168 с.
10. Цветков Э.И. Нестационарные случайные процесс и их анализ. М.: Энергия, 1973. 129 с.

References

1. Grinchar N.G. Reliability of hydraulic drives of construction, track and lifting-transport machines. Moscow, Autograph, 2016. 368 p. (In Russian).
2. Zhurba V.A. Transport construction machines. Moscow, Transport, 1984. 429 p. (In Russian).
3. Il'skiy A.L., Schmidt A.P. Drilling machines and mechanisms. A textbook for techies. Moscow, Nedra, 1989. 396 p. (In Russian).
4. Kirsanov A.N., Zinenko V.P., Kardysh V.G. Drilling machines and mechanisms. Textbook. Moscow, Nedra, 1981. 447 p. (In Russian).
5. Medvedev I.F. Drilling modes and selection of drilling machines. Moscow, Nedra, 1986. 223 p. (In Russian).
6. Nedorezov I.A., Mashkovich O.N., Spivak S.G. Machines and mechanisms of transport construction. Moscow, Transport, 1989. 358 p. (In Russian).
7. Rzhhevsky V.V. Open pit mining processes. Moscow, Nedra, 1978. 544 p. (In Russian).
8. Ivanov G.M. Design of machine hydraulic systems. Moscow, Mashinostroenie, 1992. 224 p. (In Russian).
9. Tarko L.M. Transient processes in hydraulic mechanisms. Moscow, Mashinostroenie, 1973. 168 p. (In Russian).
10. Tsvetkov E.I. Non-stationary stochastic processes and their analysis. Moscow, Energiya, 1973, 129 p. (In Russian).