

Ю.А.ПЕТРОВ, канд. техн. наук, доцент, *prostomasleno35@mail.ru*
А.И.КЕКСИН, студент, 8(812) 328 89 36
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

Y.A.PETROV, PhD in eng. sc., associate professor, *prostomasleno35@mail.ru*
A.I.KEKSIN, student, 8(812) 328 89 36
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОЙ НАГРУЖЕННОСТИ МАЧТ БУРОВЫХ СТАНКОВ ТЯЖЕЛОГО ТИПА

Рассмотрены вопросы вибрационной нагруженности мачт буровых станков при заэзном соединении опорного узла бурового става с направляющими и при введении упругого звена между ними. Исследовано влияние стабилизаторов на снижение изгибных колебаний става и вибраций на станке в целом. Доказана целесообразность устранения зазоров в соединении опорного узла става с направляющими.

Ключевые слова: металлоконструкция, вибрационная нагруженность, напряжения, колебания, упругая связь.

TO THE QUESTION OF THE VIBRATION LOAD ON THE SLIDE MAST IN THE HEAVY DUTY DRILLING RIGS

In the article the load caused by the vibration of the slide mast in the drilling rigs is examined for the case when the sliding mast connected to frame through a flexible link. It proves the expediency of eliminating the backlashes found in such connections.

Key words: drill beam, vibration load, stress, oscillation, flexible link.

Работа мачт буровых станков тяжелого типа сопровождается возникновением продольных и поперечных вибрационных нагрузок. Одной из причин, способствующих резкому увеличению уровня вибрации станков шарошечного типа, являются амплитуды изгибных колебаний бурового става, зависящие от его пространственной устойчивости. Пространственная устойчивость става зависит от глубины и режимов бурения (осевого усилия и частоты вращения).

Как показали экспериментальные исследования, при работе бурового става в зоне статической устойчивости амплитуда изгибных колебаний, обусловленная начальной кривизной става, не превышала 2-5 мм (на устье скважины). Частота колебаний соответствовала частоте вращения става (1,6-3,0 Гц).

Потеря устойчивости ставом сопровождается резким увеличением амплитуды изгибных колебаний до 10-12 мм и характерным сбоем частоты до 7-9 Гц, происходящим вследствие взаимодействия става со стенками скважин. Одновременно наблюдалось быстрое нарастание вибраций на станке и тока в цепи электродвигателя ротора. Так, амплитуда вертикальных виброускорений на вертлюге возрастила в 1,7-2,0 раза, горизонтальных – в 2,3-3,0 раза; мощность, потребляемая на вращение става, в 2-2,5 раза. Причина возрастания вибраций и мощности заключается в том, что увеличение прогиба става приводит к существенному увеличению его продольных и поперечных колебаний и, как следствие, к образованию «ухабоб-

разного» забоя, что и вызывает рост вибраций на станке и перегрузку двигателя.

Снижение вредного воздействия изгибных колебаний бурового става возможно с помощью введения промежуточных опор бурового става (стабилизаторов), а также путем устранения зазоров между направляющими и присоединительными звенями опорного узла става*.

В процессе исследований были изучены возможности снижения вредного воздействия изгибных колебаний с промежуточных опор бурового става. Последовательно исследовались влияние наддолотного стабилизатора, устанавливаемого непосредственно за долотом, междущтангового стабилизатора (на расстоянии 14 м от забоя, между штангами 2 и 3) и двух стабилизаторов, смонтированных на ставе одновременно.

Эксперименты показали, что при установке наддолотного стабилизатора возрастание вибраций, связанное с потерей ставом устойчивости, происходило только на глубине 23 м и более. При этом характер вибраций в зоне устойчивой работы и вне ее идентичен показателям, полученным без стабилизатора.

Установка междущтангового стабилизатора практически обеспечивала устойчивость става на максимальных глубинах бурения (в наших опытах до 30 м).

Наличие двух стабилизаторов (междущтангового и наддолотного) при глубинах бурения до 30 м надежно обеспечивает работу става в зоне статической устойчивости. Замеры показали существенное снижение вибраций. Из них следует, что установка двух стабилизаторов позволяет значительно снизить амплитуды вибраций: изгибных става в 3 раза, вертикальных ускорений на вертлюге в 6,2 раза, напряжений в мачте в 3,7-5 раз. При этом изменяется и частотный характер вибраций. Если для бурения без стабилизаторов характерны максимальные

вибрации в диапазоне 3-13 Гц, то со стабилизаторами – 26-33 Гц.

Опыты показали, что важным преимуществом стабилизаторов является возможность повышения производительности бурения на глубине выше 18 м. Сильные вибрации и перегрузки по току вынуждают оператора снижать режимные параметры, уменьшая скорость бурения до 5-8 м/ч. Установка стабилизаторов позволяет за счет снижения вибраций производить бурение на форсированных режимах при скорости 12-13 м/ч.

Другим преимуществом применения стабилизаторов является снижение мощности, расходуемой на вращение става при глубине, превышающей критическую в результате снижения продольных вибраций, предотвращающих образование «ухабообразного» забоя. По нашим замерам при двух стабилизаторах мощность не превышала 55 кВт, в то время как без стабилизаторов наблюдались броски до 120 кВт и выше.

Обследование металлоконструкций мачт буровых шарошечных станков показало наличие значительных зазоров между направляющими и присоединительными звенями опорного узла става. Зазорное соединение приводит к ударному воздействию става о металлоконструкцию, что является причиной ее деформации, износа направляющих, ползунов, снижению ресурса и увеличению общей вибрационной нагруженности станка.

Обеспечение стабильного зазора по всей длине направляющих представляет значительные технологические трудности. Решающим фактором при этом следует считать остаточные напряжения в конструкции после сварных операций.

Компенсацию существующих зазоров можно эффективно обеспечить за счет введения упругодиссипативной связи (УДС) в соединении опорного узла става с направляющими. Правильным подбором параметров жесткости УДС можно частично либо полностью исключить ударное взаимодействие последних. С целью исследования нагруженности мачты шарошечного станка при бурении и снижения ударного воздействия става о направляющие путем введения

* Подэрни Р.Ю. Основные концепции создания бурового станка нового технического уровня / Р.Ю.Подэрни, М.Р.Хромой // Горный журнал. 1994. № 3. С.34-35.

Poderni R.Y., Chromoy M.R. The basic development concept of a drilling rig a new technological level // Mining magazine. 1994. N 3. P.34-35.

УДС были проведены специальные эксперименты на станке-стенде БАШ-320.

Для оценки параметров вибрационной нагруженности были приняты напряжения в металлоконструкции мачты (датчики устанавливались на элементы ферменной части металлоконструкции) и виброускорения опорного узла става (датчики виброизмерительной аппаратуры устанавливались на вертлюге для регистрации вдоль и поперек оси станка ускорений). Скважины бурились в граните крепостью $f=14\text{-}16$ по шкале М.М.Протодьяконова долотом 320-ОКП. Варьировались параметры бурения (частота вращения от 100 до 180 мин⁻¹, усилие подачи на забой от 300 до 500 кН, глубина бурения от 1 до 7 м и жесткость УДС от 0 (зазорное соединение – зазор 10-15 мм) до 50 Н/см).

Анализ осциллографм показал, что при базовом зазорном соединении в металлоконструкции мачты действуют импульсы динамических напряжений ударного характера. Период возникновения ударных импульсов соответствует частоте вращения бурового става. С введением УДС действующие в металлоконструкции напряжения сглаживаются, а характер их изменения близок к гармоническому. Частота колебаний напряжений соответствует частоте вращения бурового става. Аналогичные выводы следуют и из рассмотрения осциллографм виброускорений опорного узла.

Характер спектров динамических напряжений отражает физическую сущность явлений, свойственных динамике бурового станка. Первый, наиболее энергоемкий всплеск спектра напряжений происходит с частотой 2,6 Гц, близкой к частоте вращения става. Второй, менее энергоемкий всплеск с частотой около 7 Гц, соответствующей трехкратной частоте вращения, связан с характером взаимодействия трехшарошечного долота с забоем. Последующие спектры напряжений на более высоких частотах (11-12 и 22 Гц), по мнению авторов, связаны с резонансными явлениями в системе бурового станка.

Спектральное представление процесса вибрационного нагружения металлоконст-

рукции мачты позволяет констатировать, что при введении УДС энергоемкость колебательного процесса снижается в 1,5-2 раза в сравнении с базовым зазорным вариантом связи опорного узла с направляющими.

Эксперименты позволили проиллюстрировать зависимость поперечной загруженности мачты исследуемых узлов шарошечного станка от частоты вращения става, глубины бурения и жесткостных параметров упругой связи, а также определить эффективность виброизоляции мачты при введении УДС. Установлено, что диапазон частот вращения 120-140 мин⁻¹ соответствует резонансному режиму как для горизонтальных, так и для вертикальных колебаний динамической системы шарошечного станка. Экспериментально определенная частота металлоконструкции мачты как раз приходится на этот диапазон возмущающих воздействий (частота собственных колебаний металлоконструкции составили 2,4-2,7 Гц). Также установлено, что при глубине бурения около 5 м происходит возрастание поперечной вибрационной загруженности мачты и става. Это может быть объяснено близким совпадением частот изгибных колебаний металлоконструкции мачты и надроторной части става.

Результаты экспериментов позволили произвести оценку эффективности виброизоляции металлоконструкции при введении УДС. Усредненное значение эффекта виброизоляции (усреднение по скорости вращения и всему диапазону изменения изгибных жесткостей става и мачты) составляет 1,4-2,2, причем меньшее значение соответствует минимуму жесткости УДС, наибольшее – максимуму. При резонансных режимах бурения ($n = 120$ мин⁻¹, глубина бурения 5 м) обеспечивается как минимум трехкратное снижение динамических напряжений в металлоконструкции.

В заключение отметим, что выбор рациональных параметров УДС должен производиться при комплексном рассмотрении вопроса вибрационной загруженности узлов станка, где необходимо учитывать дополнительную загруженность металлоконструкции, вызванную усилием распора бурового става.

Для динамических и прочностных параметров шарошечных станков рациональная величина жесткости УДС составляет 40-50 Н/см.

Выводы

1. Буровой став тяжелых буровых станков теряет статическую устойчивость. В зависимости от режимных параметров критическая глубина бурения находится в диапазоне 16-22 м.

2. Потеря устойчивости бурового става сопровождается увеличением амплитуды изгибных колебаний, быстрым нарастанием вибраций на станке и мощности, потребляемой на вращение става.

3. Применение става с двумя стабилизаторами – наддолотным и междущтанговым при бурении в монолитных породах и глубине позволяет снизить амплитуду изгибных колебаний в три раза, значительно уменьшить уровень вибраций на станке и ликвидировать пиковые нагрузки на вращателе.

4. Проведенные экспериментальные исследования показали, что введение упругодиссипативной связи между мачтой и опорным узлом значительно снижает их поперечную вибрационную нагруженность.

5. Введение упругодиссипативной связи на существующих буровых шарошечных станках позволит повысить долговечность металлоконструкции мачты, ее направляющих и присоединительных узлов бурового става.