

ПРИМЕНЕНИЕ ВИБРАЦИИ ПРИ БУРЕНИИ ШНЕКОМ

Порожский К.П., Ковязин Р.А. (Уральский государственный
горный университет, г. Екатеринбург, Россия)
E-mail: yu.lagunova@mail.ru

Abstract: The article describes the procedure of the experiment on the study of forced oscillations superimposed on the process of auger drilling on sand and clay. Defined controllable parameters and control parameters. Added additional parameters associated with the presence of a new element - the unbalanced vibrator driven by hydraulic motors. List the main factors influencing the selection of the optimum drilling mode. The comparison of the initial purpose of the experiment and results. Qualitative effects of vibration in the process of drilling a well.

Keywords: vibrators, hydraulic drive, screw, soft formations, the control parameters, factors.

Шнековое бурение нашло широкое распространение при строительстве скважин, при добыче полезных ископаемых и в геологоразведке.

Глубины скважин варьируются в диапазоне от 0,3 до 150-ти метров. Диапазон диаметров варьируется от 51 мм до 2-х метров. Наиболее распространены скважины с глубиной бурения до 50 метров и диаметром 100-200 мм. Таковых бурится более 50 %.

В статье рассматривается шнековое бурение «всухую» по мягким породам, т.е. без применения продувки или промывки. За основу приняты результаты работы по изучению влияния вибрации на процесс шнекового бурения на мобильной буровой установке в полевых условиях.

Известно, что при вибровращательном бурении [6] производительность процесса выше. Можно предположить, что повышение производительности будет достигнуто при применении вибробурения шнеками.

Основной целью эксперимента было проверить гипотезу о снижении крутящего момента при наложении вибрации на инструмент в процессе бурения.

Шнековое бурение, как и любой процесс, имеет ряд параметров и показателей. Есть ряд классических параметров: диаметр скважины, мм; глубина скважины, м; осевое усилие, кН; крутящий момент, Нм; частота вращения инструмента, об/мин.

Часть этих параметров являются контролируруемыми (наблюдаемыми в процессе бурения), а часть — параметрами управления (произвольно регулируемые).

В ходе бурения в системе обозначаются и изменяются во времени различные показатели процесса: скорость бурения, м/ч; стойкость породоразрушающего инструмента; скорость выноса породы, м³/мин; качество продукта; плотность породы, кг/м³; устойчивость стенок скважины.

Изменяя регулируемые параметры, основываясь на контролируемых параметрах, можно добиться требуемых показателей процесса бурения.

Например, при изменении частоты вращения, опираясь на допустимый крутящий момент, будет изменяться скорость бурения. Но следует учитывать, что скорость подачи при этом не должна быть ограничена.

Сохраняя все параметры бурения неизменными, и подключая в часть экспериментов вибрацию, можно проследить качественное изменение выходных показателей: скорости бурения, затраченной мощности, крутящего момента.

Было решено ввести дополнительные параметры, которые появляются при введении нового элемента — вибратора. К дополнительным параметрам относятся: частота колебаний, Гц (скорость вращения дебалансов, об/мин); амплитуда колебаний, мм; мощность двигателя, кВт; сила тяжести, кН; момент эксцентриков, кНм; соотношение масс дебалансов и инструмента.

Рассмотрим каждый из параметров подробнее, чтобы понимать как они могут изменяться и влиять на показатели.

Частота вращения инструмента — вращение колонны шнеков и долота. Из трудов [1] и [2] известно, что при вращении вертикального шнекового транспортера существует минимальная частота вращения $n_{кр}$, при которой происходит транспортирование породы. Требуемая скорость вращателя определяется по формуле (1):

$$n_{min} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g(\sin \alpha + f_{ш} \cos \alpha)}{R f_c K_1 K_2 (\cos \alpha - f_{ш} \sin \alpha)}}, \quad (1)$$

где g — ускорение силы тяжести; α — угол подъема винтовой линии радиуса; R — расстояние от оси (радиус); $f_{ш}$ — коэффициент трения породы о винтовую поверхность шнека; f_c — коэффициент трения породы о стенки скважины; K_1 — коэффициент заполнения межвиткового пространства; K_2 — коэффициент снижения сил трения.

Эффективность процесса зависит от центробежных усилий, прижимающих разбуренную породу к стенкам скважины. При низких частотах прижимающее усилие может быть недостаточно сильным, чтобы, работая вкуче с силами трения породы о полки шнека, поднимать породу вверх за счет проскальзывания по металлу витков.

Рабочий инструмент — долото. Применяя долота различных конструкций (двух- и трехлопастные), мы значительно изменяем уровень затрачиваемой энергии, используемой для разрушения породы на забое и создания подпора для проталкивания разбуренной породы на полки шнека.

Осевое усилие — особенность шнекового бурения заключается в том, что зачастую осевое усилие от буровой установки не подается на забой, а наоборот, приходится притормаживать подачу (плавающий режим) чтобы защититься от эффекта вкручивания шнека в породу подобно винту. Следовательно, скорость подачи может зависеть не только от настроек подающего механизма машины, но и от частоты вращения инструмента и скорости разрушения породы на забое.

При проведении эксперимента применялась плавающая подача без ограничения скорости забуривания.

Крутящий момент на шпинделе зависит от сопротивления вращению шнековой колонны при трении породы о стенки скважины, а также от ряда иных факторов: переизмельчение породы, перемешивание породы, разрушение породы на забое, КПД вращателя, трение породы о полки шнека. При бурении со слишком малыми частотами вращения и без подачи, крутящий момент, в идеальных условиях, стремится к нулю, но и процесс выноса породы не происходит. В процессе эксперимента установлено, что крутящий момент не опускается ниже минимума, задаваемого трением инструмента о стенки скважины.

При подготовке эксперимента был выбран ряд первостепенных регистрируемых параметров, необходимых для дальнейшего анализа полученных результатов и формирования выводов: частота вращения, об/мин; осевое усилие, кН; скорость подачи, м/с; крутящий момент, Нм.

На выбор параметров бурения повлияла группа факторов: мощность машины; максимальная частота вращения; длина хода механизма подачи; условия бурения; тип применяемого инструмента; масса и плотность породы; свойства породы.

Эксперимент проводился в два этапа: бурение без вибрации и бурение с применением вибрации.

Были выбраны два варьируемых параметра: частота вращения; глубина скважины (длина колонны шнеков)

Проведение натуральных экспериментов с буровым оборудованием это процесс очень затратный, поэтому требуется оптимизировать план проведения экспериментов [4].

Чтобы упростить математическую модель, при расчетах, примем все регулируемые параметры режима бурения постоянными, и введем лишь один изменяемый параметр — наличие или отсутствие вибрации.

Таким образом, получаем одну тенденцию изменения выходных параметров, и значительно повышаем предсказуемость и повторяемость результатов эксперимента.

Сужая диапазон регулирования начальных параметров необходимо сохранить адекватность модели и ее соответствие промышленным режимам бурения. Поэтому подбираем входные параметры по результату анализа наиболее применимых режимов и инструмента.

Эксперимент был проведен в сопоставимых условиях: глубина скважины – 3 м; диаметр шнеков – 135 мм.

При следующих параметрах бурения: частота вращения – 90 об/мин; осевая нагрузка – только от силы тяжести инструмента; скорость подачи – плавающая; частота вибрации – 40 Гц.

После проведения эксперимента в формулу расчета мощности на бурение без вибрации [5] можно добавить дополнительный эмпирический коэффициент K_v влияния вибрации на процесс.

$$N_{\text{бв}} = N_{\text{б}} * K_v$$

где $N_{\text{бв}}$ — мощность на бурение при вибровоздействии, $N_{\text{б}}$ — мощность, требуемая для бурение той же скважины без вибрации (классические способы расчета).

Из опыта бурения известно что затраты мощности на разрушение составляют не более 10 % от общих затрат, 90 % мощности затрачивается на транспортировку шлама $N_{\text{т}}$:

$$N_{\text{б}} = 1,1 N_{\text{т}}$$

Требуемая мощность на транспортировку породы в вертикальной шнековой установке:

$$N_{\text{т}} = \frac{\pi^2 G f_c n^3 R^2 \sin^2 \alpha \cos^3 \gamma}{8775 \cdot 10^4 g \sin^2(\alpha + \gamma)},$$

где G – сила тяжести транспортируемой породы; n – частота вращения шнека; γ – угол между векторами абсолютной и переносной скорости.

Коэффициент K_v применим только к конкретному испытанному режиму процесса бурения, и если рассматривать его как один из ряда возможных коэффициентов (к примеру для многофакторного эксперимента), то при изменении одного из параметров вероятно может быть несколько экстремумов. Другими словами, может существовать более одного оптимального (наиболее производительного или наиболее экономичного) режима бурения.

При бурении с вибратором, очевидно, что конечная мощность будет складываться из мощности на бурение и мощности на привод вибратора.

$$N_{\text{к}} = N_{\text{бв}} + N_{\text{в}}$$

или

$$N_{\text{к}} = (N_{\text{б}} * K_v) + N_{\text{в}}$$

где $N_{\text{к}}$ — мощность конечная; $N_{\text{в}}$ — мощность, потребляемая вибратором.

Результаты эксперимента:

В результате анализа экспериментальных данных было установлено:

- при наложении вибрации на 60-80 % увеличивается скорость бурения, а суммарные энергозатраты растут лишь на 10-15 %;
- крутящий момент на вращение шнеков остается на одном и том же уровне, при значительно большем коэффициенте наполнения шнека;
- коэффициент наполнения шнека увеличился с 60 % до 95 %;
- добавление вибрации к оптимальному режиму бурения повышает энергоэффективность процесса бурения;
- сокращение времени очистки шнека от породы при наложении вибрации во вспомогательных операциях.

Изменение каждого отдельного параметра, при сохранении остальных на постоянном уровне, приводит к изменению конечного результата (энергоэффективности или производительности) с одним экстремумом в границах диапазона конструктивно-оправданных значений регулирования.

При изменении параметров вибрации возможно появление нескольких экстремумов в пределах диапазона регулирования. Так, в системе буровая-инструмент-порода существует большое множество резонансных частот. Эффект резонанса оказывает значительное влияние на конечный результат.

Экспериментальные данные показали, что наличие вибрации приводит к ускорению процесса забуривания и уменьшению суммарных энергозатрат при сохранении мощности. При наличии достаточных экспериментальных данных можно составить методику подбора параметров процесса бурения, обеспечивающих оптимальный режим. Критерием оптимальности может являться один из факторов (зависит от требований оптимизации): суммарные энергозатраты на одну скважину; скорость бурения скважины.

Рекомендация для проведения буровых работ: такие параметры, как частота вращения шпинделя, частота вибрации, крутящий момент на валу, скорость подачи, усилие на забой — должны не просто отслеживаться оператором (бурильщиком) в режиме реального времени, но и изменяться со скоростью возможной реакции человека для подбора оптимального режима бурения «на ощупь». Для этого необходимо внедрять технологии обратной связи, которые позволят оператору на рефлекторно-интуитивном уровне отслеживать состояние процесса бурения. Внедрение же автоматизированных интеллектуальных систем управления параметрами слишком дорого и неэффективно ввиду своей сложности и узкой функциональности.

Список литературы: 1. Спиваковский А.О. Транспортирующие машины. Москва 1983 2. Афанасьев И.С. Душин А.И. Бурение скважин при разведке месторождений строительных материалов. Ленинград 1980 3. Цытович Н.А. Механика грунтов. Москва 1973 4. Сидняев Н.И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных. Москва 2014 5. Башкатов А.Д. Прогрессивные технологии сооружения скважин. Москва 2003 6. Ребрик Б.М. Бурение скважин при инженерно-геологических изысканиях. Москва 1973