

УДК 622.24

UDC 622.24

**МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В
СКВАЖИНЕ ПРИ СПУСКО-ПОДЪЕМНЫХ
ОПЕРАЦИЯХ**

**HYDRODYNAMIC PRESSURE OPTIMIZATION
METHOD IN A WELL AT ROUND-TRIP
OPERATIONS**

Цуприков Александр Александрович
к.т.н., доцент

Tsouprikov Aleksandr Aleksandrovich
Cand.Tech.Sci., associate professor

Якименко Константин Юрьевич
аспирант
*Кубанский государственный технологический
университет, Краснодар, Россия*

Yakimenko Konstantin Yurevich
postgraduate student
*Kuban State Technological University, Krasnodar,
Russia*

Целью работы является изучение влияния скорости и ускорения бурильной колонны на гидродинамическое давление в скважине. Получены формулы зависимости давления от времени. Сформулирован метод оптимизации гидродинамического давления в скважине при спуско-подъемных операциях

The aim of the article is to study the effect of velocity and acceleration of a drill string on hydrodynamic pressure in a well. We obtain the formulas of pressure versus time. We also established the method for optimizing hydrodynamic pressure in a well at round-trip operations

Ключевые слова: ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ, МАКСИМАЛЬНАЯ СКОРОСТЬ, УСКОРЕНИЕ, ВРЕМЯ, СПУСКО-ПОДЪЕМНАЯ ОПЕРАЦИЯ

Keywords: HYDRODYNAMIC PRESSURE, MAXIMUM SPEED, ACCELERATION, TIME, DRILLING TOOL ROUND TRIP

Одним из направлений повышения эффективности буровых работ является оптимизация спускоподъемных операций. При несоблюдении технологии процесса возникают осложнения и аварии, ликвидация которых может длиться очень долго и стоить очень дорого.

Возникновение большинства осложнений при бурении зависит от величины противодействия, оказываемого столбом бурового раствора на стенки скважины.

Объектом исследования является технология проведения спуско-подъемных операций в бурении. Предмет исследования – изменение гидродинамического давления бурового раствора на стенки скважины при проведении спуско-подъемных операций (СПО).

Целью данной работы является изучение влияния скорости и ускорения бурильной колонны во время СПО на гидродинамическое давление в скважине при проведении одной СПО.

Метод определения гидродинамического давления от скорости движения колонны при СПО должен учитывать различные режимы течения жидкости: ламинарный, турбулентный, расчёт скорости и ускорения не должен зависеть от динамических характеристик спуско-подъемного механизма. Изучение закономерности будет нагляднее при спуско-подъемной операции, разделенной на участки с равномерным и равноускоренным движением.

Сформулируем задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели:

1) найти область допустимых значений на координатной плоскости, по оси ординат которой отображается максимальная скорость, а по оси абсцисс – общее время СПО.

2) определить зависимость давления на забое от общего времени СПО при условии, что ускорение колонны является одинаковым для каждой операции с разным общим временем.

3) определить зависимость давления на забое от общего времени спуско-подъемной операции при условии, что максимальная скорость, достигаемая колонной, будет одинакова для каждой операции с разным общим временем.

Определению закономерности изменения скорости и ускорения спуска бурильной колонны посвящен ряд работ [1,2,3,4,5 и др.]. В них предложены рациональные режимы спуска, при которых допустимая максимальная скорость спуска бурильной колонны обеспечивает безопасность элементов системы спуска и спуск свечи за минимальное время. Однако, в [4] при определении допустимой максимальной скорости спуска бурильной колонны не учитывается гидродинамическое давление, возникающее в стволе скважины при спуске [3], в [2] при формировании параметров учитываются факторы, не имеющие отношения к гидродинамическому давлению: масса колонны, индивидуальная работа

бурильщика и др., в [5] не учитываются режимы течения раствора: ламинарный и турбулентный.

Для решения поставленных задач по выбранным критериям лучше подходит метод расчета гидродинамических давлений в скважине, предложенный Е.Г. Леоновым [1]. Для расчета давления используется формула:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{и}} + \Delta P_{\text{з}}, \quad (1)$$

где $\Delta P_{\text{тр}}$ – перепад давления от сил трения; $\Delta P_{\text{и}}$ – инерционная составляющая гидродинамического давления; $\Delta P_{\text{з}}$ – потери давления в замках.

Этот метод учитывает различные режимы течения жидкости. Спуско-подъемная операция разделяется на участки с равноускоренным, равномерным и равнозамедленным движением. Формулы гидродинамического давления состоят из слагаемых, зависящих от скорости и ускорения.

Спуск (подъем) бурильной колонны производится на величину, равную длине свечи. График скорости от времени представляет собой трапецию, основание которой – общее время спуско-подъемной операции, высота – максимальная скорость, площадь – длина пройденного пути. При различных значениях максимальной скорости и общего времени ($t_{\text{общ}}; v_{\text{max}}$), площадь под графиком должна быть постоянной.

Определим область допустимых значений (ОДЗ) на графике максимальной скорости и общего времени. ОДЗ будет ограничена двумя кривыми.

Найдем аналитическую формулу верхней кривой. Рассмотрим различные графики скорости от времени СПО при одинаковой максимальной скорости (рисунок 1).

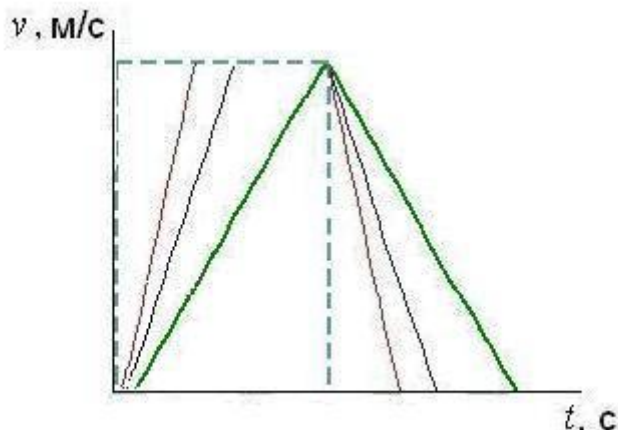


Рисунок 1. График скорости от времени при постоянной максимальной скорости и различных ускорениях

Как видно на рисунке 1, зеленый график имеет наибольшее время СПО. Дальнейшее увеличение времени без изменения максимальной скорости и (или) площади уже невозможно. Причем зеленый график имеет форму не трапеции, а треугольника.

Пройденное колонной расстояние для треугольника можно записать как:

$$L = \frac{1}{2} t_M v_M \quad (2)$$

При другом значении максимальной скорости v'_M будет другое общее время t'_M

Из условия равенства пройденных расстояний можно записать

$$v_M t_M = v'_M t'_M, \quad (3)$$

Решая уравнения, находим

$$v_M = \frac{c}{t_M}, \text{ где} \quad (4)$$

c - постоянная интегрирования.

Найдем аналитическую формулу нижней кривой ОДЗ.

На рисунке 1 пунктирный график имеет наименьшее время СПО. Дальнейшее уменьшение времени с сохранением максимальной скорости и площади невозможно. Этот график имеет форму прямоугольника, его площадь равна

$$L = v_M t_M, \text{ отсюда} \quad (5)$$

$$v_M = \frac{L}{t_M}. \quad (6)$$

Определим зависимость давления на забое от общего времени СПО при условии, что ускорение колонны является одинаковым для каждой операции с разным общим временем.

На рисунке 2 изображена серия графиков зависимостей скорости СПО от времени при одинаковом значении ускорения. Они представляют собой трапеции или треугольник в том случае, когда участок с равномерным движением отсутствует.

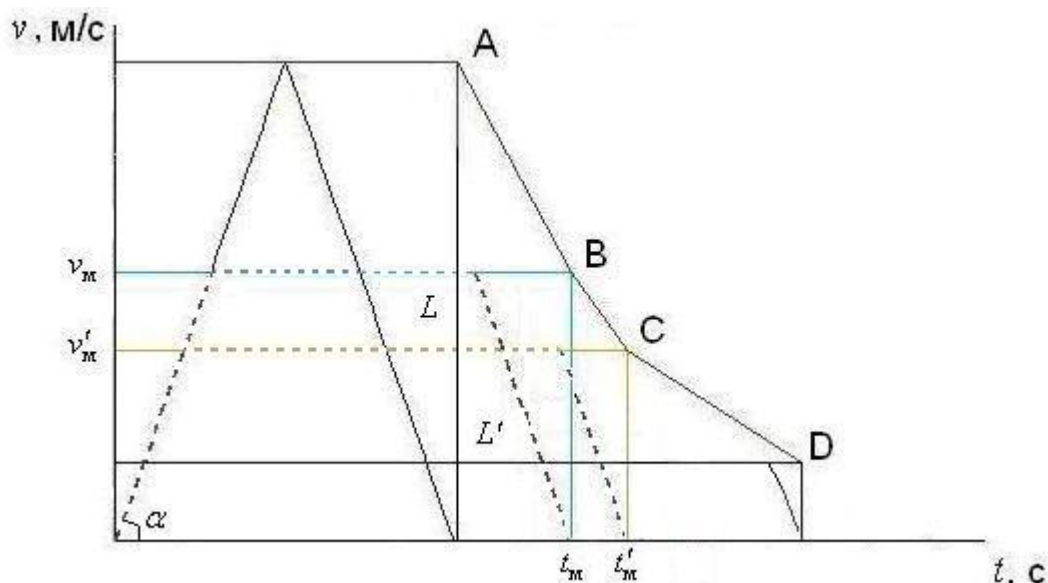


Рисунок 2. Серия графиков зависимости скорости от времени при одинаковом ускорении

Линия ABCD характеризует изменение максимальной скорости от общего времени при постоянном значении ускорения. Определим формулу, описывающую линию ABCD.

На рисунке 2 пунктирными линиями изображены два графика скорости с одинаковыми значениями ускорения, но разными максимальными скоростями.

Запишем систему уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} L = L' \\ tga = tga' \\ L = \frac{t_m + t_p}{2} v_m \\ tga = \frac{2v_m}{t_m - t_p} \\ t'_m = t_m + \Delta t \\ v'_m = v_m + \Delta v \end{array} \right. \quad (7)$$

Решая ее относительно v_m , находим:

$$v_m = t_m \left(\frac{tga}{2} - \sqrt{\frac{tg^2 a}{4} - \frac{1}{t_m^2 C^2}} \right), \quad (8)$$

где C - постоянная интегрирования.

Формула (8) описывает зависимость максимальной скорости от общего времени при постоянном ускорении.

Подставляя формулу (8) в формулу расчета гидродинамического давления (1) получаем формулу зависимости давления от общего времени при постоянном ускорении

$$\Delta P = \frac{4t_0}{d_t} L + r \frac{d^2}{1-d^2} L tga + \frac{xr}{2} \frac{L(t)}{l_t} \frac{d^2}{1-d^2} t_m^2 \left(\frac{tga}{2} - \sqrt{\frac{tg^2 a}{4} - \frac{1}{t_m^2 C^2}} \right)^2 \quad (9)$$

Определим зависимость давления на забое от общего времени спуско-подъемной операции при условии, что максимальная скорость, достигаемая колонной, будет одинакова для каждой операции с разным общим временем.

Запишем систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} L = L' \\ v_M = v'_M \\ t'_M = t_M + \Delta t \\ tga' = tga + \Delta tga \\ L = \frac{t_M + t_p}{2} v_M \\ tga = \frac{2v_M}{t_M - t_p} \end{array} \right. \quad (10)$$

Решая ее относительно tga , находим:

$$tga = \frac{1}{\frac{t_M}{v_M} + C}, \text{ где} \quad (11)$$

C - постоянная интегрирования.

Формула (11) описывает зависимость ускорения от общего времени при одинаковом значении скорости.

Подставляя формулу (11) в формулу расчета гидродинамического давления (1) получаем формулу зависимости давления от общего времени при одинаковом значении скорости

$$\Delta P = \frac{4t_0}{d_T} L + r \frac{d^2}{1-d^2} L \frac{1}{\frac{t_M}{v_M} + C} + \frac{xr}{2} \frac{L(t)}{l_T} \frac{d^2}{1-d^2} v_M^2 \quad (12)$$

На рисунке 3 кривая a - график максимальной скорости от общего времени СПО при постоянной максимальной скорости; b - график максимальной скорости от общего времени СПО; c - верхняя граница ОДЗ; d - нижняя граница ОДЗ; a' - график максимального давления от общего времени СПО, рассчитанный по формуле (9); b' - график максимального давления от общего времени, рассчитанный по формуле (12). Точка пересечения кривых a и b соответствует начальным данным.

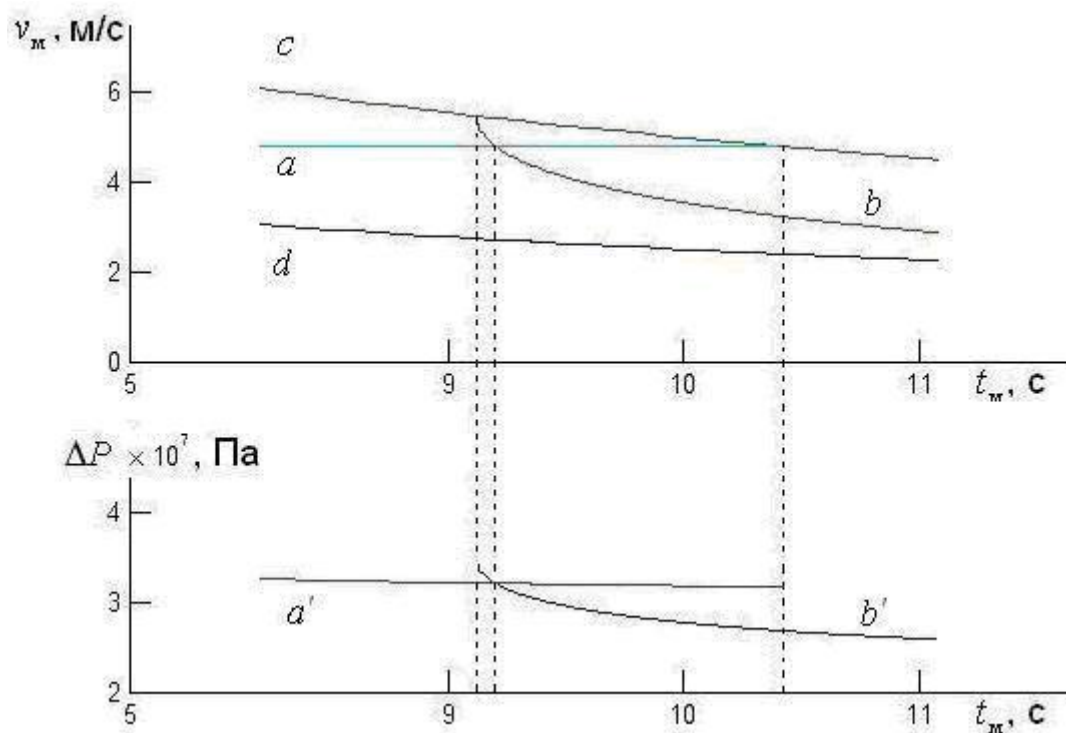


Рисунок 3. Графики зависимости максимальной скорости и давления от времени

Оптимизация давления при СПО производится следующим образом:

- § Если оптимальное давление больше, чем давление при начальных условиях, то необходимо достигать его, увеличивая ускорение с сохранением максимальной скорости, т.к. при этом общее время СПО сокращается быстрее всего.
- § Если увеличивать ускорение при сохранении прежней максимальной скорости нет возможности, то необходимо повышать максимальную скорость.
- § Если оптимальное давление меньше, чем давление при начальных условиях, то необходимо достигать его, сокращая только максимальную скорость без изменения ускорения, т.к. при этом будет наблюдаться минимальное увеличение времени СПО.

Предложенный метод оптимизации времени СПО может быть использован как часть математического обеспечения АСУ ТП буровой установки.

Недостатком предложенного метода оптимизации скорости является то, что он не учитывает динамические характеристики спуско-подъемного механизма, однако их можно учесть путем ограничения ОДЗ скорости значениями, которые может принимать спуско-подъемный механизм. Накладывается это ограничение на этапе создания АСУ.

Дальнейшее развитие этого метода возможно при учете гидродинамических процессов, протекающих во внутритрубном пространстве.

Основные результаты проведенного исследования:

1) найдены формулы для определения ОДЗ на координатной плоскости, по оси ординат которой отображается максимальная скорость, а по оси абсцисс – общее время СПО.

2) получена формула зависимости давления на забое от общего времени спуско-подъемной операции при условии, что ускорение колонны является одинаковым для каждой операции с разным общим временем.

3) получена формула зависимости давления на забое от общего времени спуско-подъемной операции при условии, что максимальная скорость, достигаемая колонной, будет одинакова для каждой операции с разным общим временем.

Сформулирован метод оптимального регулирования давления, который на основе полученных данных позволяет сократить время СПО с учетом безопасности гидродинамического давления.

Литература

1. Леонов Е.Г., Исаев В.И. Гидроаэромеханика в бурении: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1987.-304 с.
2. Мишевич В.И., Сидоров Н.А. Справочник инженера по бурению. – М.: Недра, 1973. – 2т.
3. Мовсумов А.А. Гидродинамические причины осложнений при проводке нефтяных и газовых скважин. Баку, Азернешр, 1965, 230 с. с ил.
4. Шахмалиев Г.М. Грузинов Я.А. К вопросу определения расчетной нагрузки, действующей на тормоз буровой лебедки. – «Азербайджанское нефтяное хозяйство», 1959, №2, с.19-20. с ил.
5. Burkhardt J.A. Wellbore Pressure Surges Produced by Pipe Movement. «Journal of Petroleum Technology», 1961, vol. 7, No. 11, p. 12-21.