

## Математическая модель процесса внедрения бура в грунт гидросистемы мобильной буровой установки

*Е.Ю. Баранов, А.Ю. Кулакович*

*Донской государственной технической университет*

**Аннотация:** Предлагается обобщенная модель гидросистемы буровой установки во время начала бурения. Показаны осциллограммы параметров гидромотора во времени, полученные с помощью вычислений в программе Matlab.

**Ключевые слова:** математическая модель, гидросистема буровой установки, динамика работы, переходные процессы.

### Введение

Современная горная промышленность широко применяет гидравлические системы в качестве основного привода мобильных буровых установок. [1] От качественного проектирования гидравлической системы зависит работоспособность привода в различных ситуациях и его срок службы. Математическое моделирование работы гидросистемы позволяет выявить слабые места и оценить переходные процессы на этапе проектирования [2].

### Составление математической модели

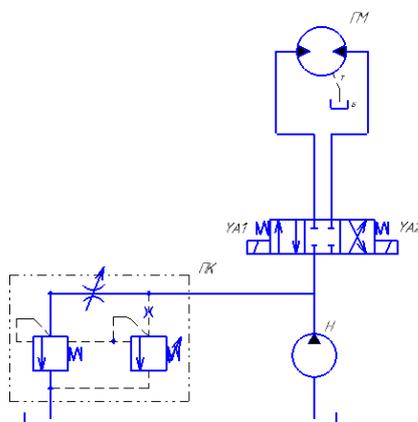


Рис. 1. - Принципиальная схема буровой установки.

При математическом моделировании были приняты допущения, по причине сложности поведения потока жидкости [3].

- силы вязкого трения в подвижных сопряжениях пропорциональны скорости;
- утечки малы и могут быть ограничены коэффициентом;
- рабочая жидкость сжимаемая, капельная и в каналах присутствует нерастворенный воздух;
- перемещения золотника гидрораспределителя (управляющее воздействие) – квазирелейное;
- волновые процессы не учитываются;
- коэффициенты расхода постоянные;
- рабочий объем гидронасоса постоянный;
- скорость вращения вала гидронасоса постоянная.

Математическая модель гидропривода:

1) Уравнения движения вала гидромотора [4]:

$$J \frac{d\omega_{ГМ}}{dt} = (p_2 - p_3) * q_{ГМ} * \eta_{Мех} \quad 1)$$

где  $J$  – момент инерции, кг\*м<sup>2</sup>;

$\omega_{ГМ}$  – угловая частота вращения вала ГМ, 1/с;

$p_2$  – давление на входе в ГМ, Па;

$p_3$  – давление на выходе из ГМ, Па;

$q_{ГМ}$  – рабочий объем ГМ, м<sup>3</sup>;

$\eta_{Мех}$  – механический КПД ГМ;

2) Уравнение движения золотника гидроклапана КП [5]

$$m_{\text{кл}} * \frac{d^2 * x_{\text{кл}}}{dt^2} = P_{\text{н}} * S_{\text{кл}} - C_{\text{пр}}(x_0 \pm x_{\text{кл}}) - k_{\text{вт}} \frac{dx_{\text{кл}}}{dt} - F_{\text{т}} * \text{sign} \frac{dx_{\text{кл}}}{dt} \quad (2)$$

где  $m_{\text{кл}}$  - приведенная масса золотника клапана, кг,

$F_{\text{т}}$ -сила трения, Н,

$k_{\text{вт}}$ -коэффициент вязкого трения, кг/с;

$C_{\text{пр}}$ - жесткость пружины распределителя, Н/м;

$x_0$ -предварительное сжатие пружины, м.

$S_{\text{кл}}$ -площадь торца золотника гидроклапана, м<sup>2</sup>;

3) Давление на выходе из гидронасоса Н

$$\frac{dp_{\text{н}}}{dt} = - \frac{k_{\text{р}} * E_{\text{пр}}}{\frac{q_{\text{н}}}{2\pi} + W_{\text{н}}} * x_{\text{р}} * \sqrt{|p_{\text{н}} - p_{\text{кл}}|} * \text{sign}(p_{\text{н}} - p_{\text{кл}}) - \frac{k_{\text{кл}} * E_{\text{пр}}}{\frac{q_{\text{н}}}{2\pi} + W_{\text{н}}} * x_{\text{кл}} * \sqrt{|p_{\text{н}} - p_{\text{кл}}|} * \text{sign}(p_{\text{н}} - p_{\text{кл}}) + \frac{\frac{q_{\text{н}}}{2\pi * E_{\text{пр}}}}{\frac{q_{\text{н}}}{2\pi} + W_{\text{пр}}} * \omega_{\text{н}} \quad (3)$$

4) Давление на входе дросселя

$$\frac{dp_1}{dt} = - \frac{k_{\text{р}} * E_{\text{пр}}}{W_1} * x_{\text{р}} * \sqrt{|p_1 - p_2|} * \text{sign}(p_1 - p_2) - \frac{k_{\text{др}} * E_{\text{пр}}}{W_1} * x_{\text{др}} * \sqrt{|p_1 - p_2|} * \text{sign}(p_1 - p_2) \quad (4)$$

5) Давление на входе гидромотора ГМ

$$\frac{dp_2}{dt} = - \frac{k_{\text{др}} * E_{\text{пр}}}{\frac{q_{\text{ГМ}}}{2\pi} + W_2} * x_{\text{др}} * \sqrt{|p_1 - p_2|} * \text{sign}(p_1 - p_2) - \frac{\frac{q_{\text{ГМ}}}{2\pi * E_{\text{пр}}}}{\frac{q_{\text{ГМ}}}{2\pi} + W_2} * \omega_{\text{ГМ}} \quad (5)$$

6) Давление на выходе ГМ [6]

$$\frac{dp_3}{dt} = - \frac{k_{\text{р}} * E_{\text{пр}}}{\frac{q_{\text{ГМ}}}{2\pi} + W_3} * x_{\text{р}} * \sqrt{|p_3 - p_{\text{сл}}|} * \text{sign}(p_3 - p_{\text{сл}}) - \frac{\frac{q_{\text{ГМ}}}{2\pi * E_{\text{пр}}}}{\frac{q_{\text{ГМ}}}{2\pi} + W_3} * \omega_{\text{ГМ}} \quad (6)$$

где  $W_i$  - объем соответствующих трубопроводов,  $\text{м}^3$ ;

$x_i$  - перемещение золотников регулирующей и направляющей аппаратуры соответственно, м;

$\omega_H, \omega_{ГМ}$  - частота вращения вала гидронасоса и гидромотора,  $1/\text{с}$  ;

$k_i = \mu_3 * \pi * d_3 * k_n * r_y * \sqrt{\frac{2}{\rho}}$  - удельные (отнесенные к единице

перемещения золотника) проводимости окон, открытых при смещении золотника от среднего положения [7];

$\mu_3$  - коэффициент расхода золотника;

$\rho$  - плотность рабочей жидкости,  $\text{кг}/\text{см}^3$ ;

$d_3$  - диаметр золотника, м;

$k_n = \frac{b_{ок}}{\pi * d_3}$  - коэффициент полноты использования периметра втулки

золотника при размещении в ней окон [8];

$b_{ок}$  - суммарная ширина всех окон;

$E_{см} = \frac{E_{ж}}{1 + \alpha_a * \frac{E_{ж}}{E_a}}$  - модуль объемной упругости смеси жидкости и воздуха,

Па [9];

$E_{пр} = \frac{E_{см}}{1 + \frac{\alpha_{гп} * E_{ж}}{\alpha_{гп} * E_a}}$  - приведенный модуль объемной упругости

цилиндрической трубы с рабочей жидкостью [10]

$\alpha_a$  - содержание воздуха в жидкости;

$\eta_o$  - объемный КПД;

$r_y$  - коэффициент утечки;

$p_n$  – давление создаваемое насосом, Па;

$Q_n, Q_{гм}$  – рабочий объем гидронасоса и гидромотора, м<sup>3</sup>/об;

### Результаты динамического расчета гидропривода

Осциллографированием процесса разгона и вредрения бура в грунт получены основные зависимости (рис. 2-7) давления, частоты вращения и угла поворота от времени.

$p_n$ , Па

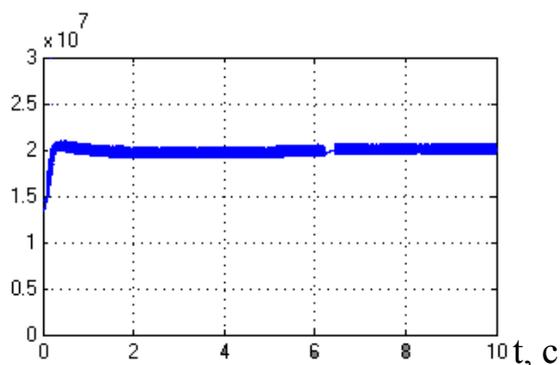


Рисунок 2. Зависимость давления на выходе из гидронасоса  $p_n$  от времени t.

$p_1$ , Па

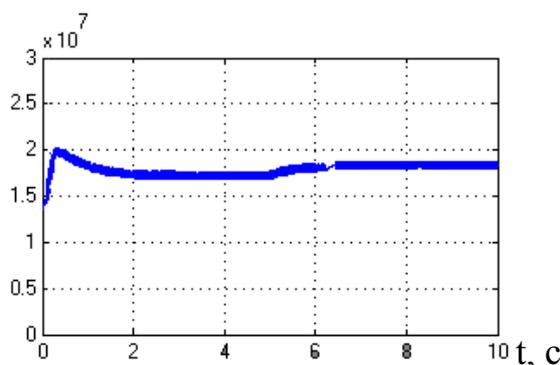


Рисунок 3. Зависимость давления на входе дросселя от времени t.

$p_2$ , Па

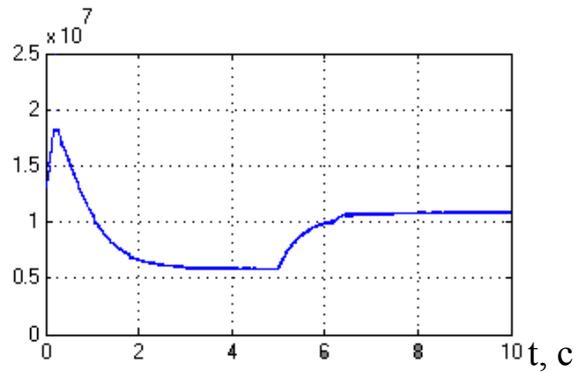


Рисунок 4. Зависимость давления на входе гидромотора от времени  $t$ .

$p_3$ , Па

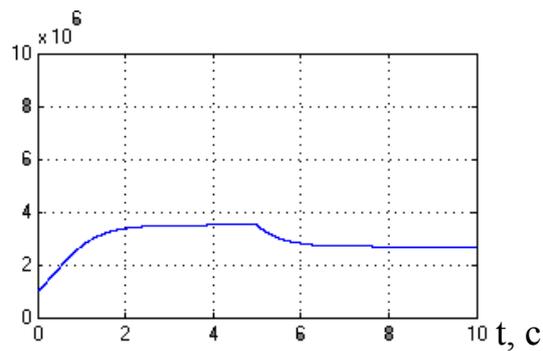


Рисунок 5. Зависимость давления на выходе гидромотора от времени  $t$ .

$\omega_{ГМ}$ , рад/с

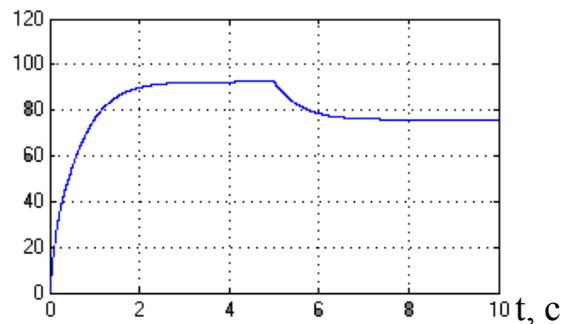


Рисунок 6. Зависимость частоты вращения вала гидромотора  $\omega_M$  от времени  $t$ .

$\omega_{\text{ГМ}}$ , рад/с

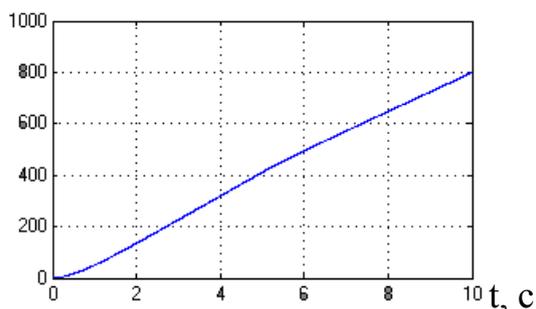


Рисунок 7. Зависимость угла поворота вала гидромотора  $\omega_{\text{м}}$  от времени  $t$ .

### Заключение

С помощью результатов математического моделирования можно оценить процессы, происходящие в элементах гидроаппаратуры. Изменение параметров системы позволяет совершать вычислительный эксперимент в различных вариациях, подтверждая разумность привода при проектировании.

### Литература

1. Севостьянов А.В., Анализ статических и динамических характеристик простой гидравлической системы. Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2014. 43 с.
2. Руппель А.А., Сагандыков А.А., Корытов М.С. Моделирование гидравлических систем в MATLAB. Омск: СибАДИ, 2009. 171 с.
3. John S Cundiff. Fluid Power and controls: Fundamental and applications/ Mechanical engineering series, 2001. 560 p.
4. Anthony Atkinson and others. Optimum experimental design/ MIMS EPrint: 2007 – 528 p.
5. Вакина В.В., Машиностроительная гидравлика. Примеры расчетов. М: Вища шк, 1986. 208 с.

6. Гаибова Т.В., Тугов В.В., Шумилина Н.А. Системное моделирование. Часть 1. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2008. 116 с.
7. Костоглотов А.А., Курочкина И.А., Оптимизация процессов управления гидроприводом с использованием методологии объединенного принципа максимума // Инженерный вестник Дона, 2014. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2292.
8. Полешкин М.С., Сидоренко В.С. Математическое моделирование автоматизированного позиционного гидропривода целевых механизмов машин с контуром гидравлического управления повышенной эффективности // Инженерный вестник Дона. 2012. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/947.
9. Шорников Ю. В., Мяндин С. А. Компьютерное моделирование гидравлических систем // Молодой ученый. 2017. №22. URL: moluch.ru/archive/156/43975.
10. Попов, Д.Н., Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. М: Машиностроение, 1976. 424 с.

### References

1. Sevostyanov A.V., Analiz staticheskikh i dinamicheskikh harakteristik prostoj gidravlicheskoj sistemy. [Analysis of static and dynamic characteristics of a simple hydraulic system]. Lipeck: Lipeckij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, EHBS ASV, 2014. 43 p.
  2. Ruppel A.A., Sagandykov A.A., Korytov M.S Modelirovanie gidravlicheskih sistem v MATLAB. [Simulation of hydraulic systems in MATLAB]. Omsk: SibADI, 2009. 171 p.
  3. John S Cundiff. Fluid Power and controls: Fundamental and applications Mechanical engineering series, 2001. 560 p.
  4. Anthony Atkinson and others. Optimum experimental design MIMS EPrint: 2007. 528 p.
-



5. Vakina V.V., Mashinostroitel'naya gidravlika. Primery raschetov. [Engineering hydraulics. Calculation examples]. M: Vishchashk, 1986. 208 p.
6. Gaibova T.V., Tugov V.V., SHumilina N.A. Sistemnoe modelirovanie. CHast 1. [System modeling. Part 1]. Orenburg: GOU OGU, 2008. 116 p.
7. Kostoglotov A.A., Kurochkina I.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014. №1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2292](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2292).
8. Poleshkin M.S., Sidorenko V.S. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012. №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/947](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/947).
9. SHornikov YU. V., Molodoj uchenyj. 2017. №22. URL: [moluch.ru/archive/156/43975](http://moluch.ru/archive/156/43975).
10. Popov, D.N., Dinamika i regulirovanie gidro i pnevmosistem. [Dynamics and regulation of hydraulic and pneumatic systems]. M: Mashinostroenie, 1976. 424 p.