

Ш. Р. Галлямов, А. В. Месропян, М. О. Митягина

## МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ СВЕРЛЯЩИХ ПЕРФОРАТОРОВ

Предложена методика идентификации параметров и характеристик электрогидравлического сверлящего перфоратора для вторичного вскрытия пластов. Приведены расчетная схема и результаты расчетов статических и динамических характеристик контура фиксации сверлящего перфоратора. *Электрогидравлический сверлящий перфоратор; методика идентификации; контур фиксации; математическая модель; стохастические параметры*

Идентификация параметров и характеристик сверлящих перфораторов – это процесс математического моделирования, позволяющий определять и учитывать степень влияния внешних и внутренних факторов на параметры и характеристики сверлящих перфораторов [1].

Методика идентификации определяет перечень, последовательность и содержание иерархической структуры работ (ИСР), что позволяет

учитывать при моделировании характеристик электрогидравлического сверлящего перфоратора случайный разброс параметров и коэффициентов, входящих в математическую модель, и оценивать степень их влияния на параметры и характеристики прибора.

На рис. 1 приведена ИСР идентификации параметров и характеристик сверлящего перфоратора.



Рис. 1. ИСР идентификации параметров и характеристик сверлящего перфоратора

При работе на скважинах разных диаметров могут быть востребованы сверлящие перфораторы различных типоразмеров, поскольку величина выдвигания штоков гидроцилиндров фиксации напрямую зависит от диаметра обсадной колонны [2] (табл. 1). В связи с этим большую значимость представляет разработка методики идентификации параметров и характеристик контура фиксации сверлящего перфоратора, что позволит идентифицировать характеристики возможных типоразмеров сверлящего перфоратора при работе на скважинах разных диаметров.

Таблица 1

### Параметры перфоратора

| Типоразмер сверлящего перфоратора | Условный диаметр обсадной трубы, мм | Диаметр корпуса сверлящего перфоратора, мм | Величина выдвигания штока поршня гидроцилиндра фиксации, мм |
|-----------------------------------|-------------------------------------|--|---|
| I                                 | 140                                 | 120  | 20  |
|                                   | 146                                 |  | 26  |
|                                   | 168                                 |  | 48  |
|                                   | 178                                 |  | 58  |
|                                   | 194                                 |  | 74  |
|                                   | 219                                 |  | 99  |
| II                                | 245                                 | 200  | 45  |
|                                   | 273                                 |  | 73  |
|                                   | 299                                 |  | 99  |
|                                   | 324                                 |  | 124   |
| III                               | 340                                 | 280  | 60  |
|                                   | 351                                 |  | 71  |
|                                   | 377                                 |  | 97  |
|                                   | 406                                 |  | 126   |
|                                   | 426                                 |  | 146   |

Структура математической модели сверлящего перфоратора определяется принципиальной [3] и расчетной (рис. 2) схемами идентифицируемого объекта, на основании которых уточняется перечень исходных данных и расчетных параметров сверлящего перфоратора.

Перечень параметров, задаваемых при идентификации контура фиксации (КФ) сверлящего перфоратора:

- входное напряжение  $U_{упр\phi}$ ;
- ток электрической цепи в КФ  $I_{\phi}$ ;
- индуктивность обмотки управления электромагнита в КФ  $L_{\phi}$ ;
- коэффициент противо-ЭДС в электрической

цепи  $K_{гц\phi}$ ;

- давление питания и слива гидросистемы (ГС)  $P_{пит}, P_{сл}$ ;
- коэффициент, учитывающий трение в паре трения «плунжер – гильза» в КФ  $b_{3\phi}$ ;
- коэффициент расхода жидкости  $\mu$ ;
- плотность рабочей жидкости  $\rho$ ;
- приведенный модуль упругости рабочей жидкости  $E$ ;
- коэффициент вязкого демпфирования ГЦ фиксации  $b_{гц\phi}$ ;
- диаметр золотника  $d_{3\phi}$ ;
- расход РЖ через золотник  $Q_{3\phi}$ ;
- плотность материала золотника гидрораспределителя (ГР)  $\rho_{3\phi}$ ;
- диаметр поршня ГЦ фиксации  $D_{п\phi}$ ;
- диаметр штока ГЦ фиксации  $d_{ш\phi}$ ;
- ход поршня ГЦ фиксации  $L_{п\phi}$ ;
- масса ГЦ фиксации  $m_{гц\phi}$ ;
- гидростатическое давление, которое действует на шток поршня ГЦ фиксации  $p_{гс}$ ;
- максимальная подача насоса  $Q_{max}$ ;
- общий коэффициент полезного действия насоса  $\eta$ .

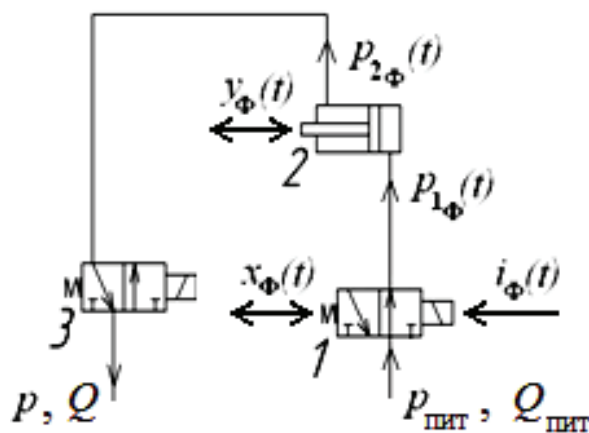


Рис. 2. Расчетная схема контура фиксации сверлящего перфоратора:

1, 3 – распределители; 2 – гидроцилиндр фиксации

Перечень параметров, определяемых при идентификации КФ сверлящего перфоратора:

- коэффициент силы тока в электрической цепи  $K_{Fi\phi}$ ;
- жесткость пружины ГР  $c_{пр\phi}$ .

Перечень расчетных параметров, определяемых при идентификации КФ сверлящего перфоратора:

- активное сопротивление обмотки управления электромагнита в КФ  $R_{\phi}$ ;
- масса золотника ГР  $m_{3\phi}$ ;
- объем золотника ГР  $V_{3\phi}$ ;

- площадь золотника в ГР  $f_{\Phi}$  ;
- эффективная площадь поршня ГЦ фиксации со стороны поршня  $A_{П\Phi}$  ;
- эффективная площадь поршня ГЦ фиксации со стороны штока  $A_{\Phi\Phi}$  ;
- объём рабочей жидкости в камере ГЦ фиксации  $W_{ГЦ\Phi}$  ;
- статическая нагрузка на ГЦ фиксации  $R_{СТАТ\Phi}$  ;

Пример задания исходных данных в специализированном пакете *Maple* приведен на рис. 3.

Основные зависимости для определения расчетных параметров, определяемых при идентификации сверлящего перфоратора, приведены далее.

$$R_{\Phi} = \frac{U_{УПР\Phi}}{I_{\Phi}}. \quad (1)$$

The screenshot shows the Maple 12 interface with a document titled "Математическая модель контура фиксации". The document contains a table of parameters used in the model. The table has four columns: "Обозначение" (Symbol), "Определение величины" (Definition), "Значение параметра" (Parameter Value), and "Единица измерения" (Unit of Measurement).

| Обозначение   | Определение величины   | Значение параметра  | Единица измерения |
|---------------|--|---------------------|-------------------|
| $U_{УПР\Phi}$ | паспортные данные ЭД   | 24                  | В                 |
| $I_{\Phi}$    | паспортные данные ЭД   | 0,8                 | А                 |
| $L_{\Phi}$    | паспортные данные ЭД   | 1                   | Гн                |
| $K_{ПЭ\Phi}$  | паспортные данные ГР управления ГЦ фиксации                                  | 0,2                 | В·с/м             |
| $P_{ПИТ}$     | выбирается по номинальному давлению насоса в ГС                              | $20,5 \cdot 10^6$   | Па                |
| $P_{СЛ}$      | выбирается по давлению в сливных трубопроводах (ТП)                          | $\sim 0$            | Па                |
| $b_{\Phi}$    | коэффициент выбирается в диапазоне 0,01...0,1                                | 0,1                 | -                 |
| $\mu$         | коэффициент выбирается в диапазоне 0,64...0,72                               | 0,72                | -                 |
| $\rho$        | величина берется из характеристик рабочей жидкости, выбранной для ГС         | 834                 | кг/м <sup>3</sup> |
| $E$           | выбирается в диапазоне 12·108...18·108                                       | $15 \cdot 10^8$     | Па                |
| $b_{ГЦ\Phi}$  | коэффициент выбирается в диапазоне 0,1...1                                   | 0,1                 | -                 |
| $d_{\Phi}$    | паспортные данные ГР управлением ГЦ фиксации                                 | 0,004               | м                 |
| $Q_{\Phi}$    | паспортные данные ГР управлением ГЦ фиксации                                 | $1,8 \cdot 10^{-6}$ | м <sup>3</sup> /с |
| $\rho_{\Phi}$ | величина берется из характеристик материала, из которого изготовлен золотник | 7800                | кг/м <sup>3</sup> |
| $D_{П\Phi}$   | принимаем, исходя из условий требований усилий                               | 0,03                | м                 |
| $d_{Ш\Phi}$   | принимаем, исходя из условий требований усилий                               | 0,012               | м                 |
| $L_{П\Phi}$   | принимаем исходя из условий технических требований                           | 0,066               | м                 |
| $m_{ГЦ\Phi}$  | паспортные данные ГЦ фиксации  | 0,4318              | кг                |
| $P_{ГС}$      | берется значение давления для максимальной глубины работы СП                 | $80 \cdot 10^6$     | МПа               |
| $Q_{max}$     | паспортные данные насоса   | $9 \cdot 10^{-6}$   | м <sup>3</sup> /с |
| $\eta$        | паспортные данные насоса   | 0,8                 | -                 |

Рис. 3. Перечень параметров, задаваемых при идентификации КФ сверлящего перфоратора

$$m_{3\phi} = \rho_{3\phi} \cdot V_{3\phi}. \quad (2)$$

$$V_{3\phi} = f_{\phi} \cdot h_{3\phi}. \quad (3)$$

$$f_{\phi} = \frac{Q_3}{\mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_{\text{ПИТ}}}{\rho}}}. \quad (4)$$

$$A_{\text{П}\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\text{П}\phi}^2}{4}. \quad (5)$$

$$A_{\text{Э}\phi\phi} = \frac{\pi \cdot (D_{\text{П}\phi}^2 - d_{\text{Ш}\phi}^2)}{4}. \quad (6)$$

$$W_{\text{ГЦ}\phi} = A_{\text{Э}\phi\phi} \cdot L_{\text{П}\phi}. \quad (7)$$

$$R_{\text{СТАТ}\phi} = p_{\text{ГС}} \cdot A_{\text{Э}\phi\phi}. \quad (8)$$

Пример задания расчетных параметров в специализированном пакете *Maple* приведен на рис. 4.

Процессу разработки математической модели сверлящего перфоратора предшествует принятие допущений и ограничений:

- математические модели течения рабочей жидкости представлены системой одномерных дифференциально-алгебраических уравнений;
- используются ГР с одинаковыми гидравлическими параметрами и микрогеометрией;

- в качестве нагрузки ГЦ фиксации используется гидростатическое давление в скважине;

- коэффициент расхода жидкости через распределители принимаем постоянным  $\mu = 0,72$ ;

- процессы течения однофазной несжимаемой рабочей жидкости по трактам гидравлической схемы приняты изотермическими.

Разработка математической модели электрогидравлического сверлящего перфоратора осуществляется в соответствии со схемой, приведенной на рис. 5.

Контур фиксации обеспечивает фиксацию корпуса сверлящего перфоратора в обсадной колонне при помощи штоков двух ГЦ фиксации, которые равномерно выдвигаются, выбирая зазор между корпусом перфоратора и обсадной колонной (обычно не более, чем на 0,2–1 м в течение 2–10 с). Выдвижением штоков ГЦ управляет золотниковый гидрораспределитель с электромагнитным управлением.

Для описания функционирования ГС КФ сверлящего перфоратора в стационарных условиях математическую модель удобно представить в виде располагаемой энергии ГС – основной внутренней характеристики системы:

$$p = p_{\text{ПИТ}} \cdot \frac{Q_{\text{ПИТ}} - Q}{Q_{\text{ПИТ}} - Q_{\text{ПИТ}} \cdot \eta}, \quad (9)$$

| Значения расчетных параметров, определяемых при моделировании КФ СП |   |                      |                   |
|---|---|----------------------|-------------------|
| Обозначение   | Определение величины  | Значение параметра   | Единица измерения |
| $R_{\phi}$  | $R_{\phi} = \frac{24}{0,8} = 30 \text{ Ом}$   | 30                   | Ом                |
| $m_{3\phi}$   | $m_{3\phi} = 7800 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} = 0,004 \text{ кг}$   | 0,004                | кг                |
| $V_{3\phi}$   | $V_{3\phi} = 12,6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,041 = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$  | $0,5 \cdot 10^{-6}$  | $\text{м}^3$      |
| $f_{\phi}$  | $f_{\phi} = \frac{1,8 \cdot 10^{-6}}{0,72 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 20 \cdot 10^6}{834}}} = 0,12 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ | $0,12 \cdot 10^{-6}$ | $\text{м}^2$      |
| $A_{\text{П}\phi}$  | $A_{\text{П}\phi} = \frac{\pi \cdot 0,03^2}{4} = 707 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$   | $707 \cdot 10^{-6}$  | $\text{м}^2$      |
| $A_{\text{Э}\phi\phi}$  | $A_{\text{Э}\phi\phi} = \frac{\pi \cdot (0,03^2 - 0,012^2)}{4} = 594 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$                             | $594 \cdot 10^{-6}$  | $\text{м}^2$      |
| $W_{\text{ГЦ}\phi}$   | $W_{\text{ГЦ}\phi} = 594 \cdot 10^{-6} \cdot 0,02 = 11,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$   | $11,9 \cdot 10^{-6}$ | $\text{м}^3$      |
| $R_{\text{СТАТ}\phi}$   | $R_{\text{СТАТ}\phi} = 80 \cdot 10^6 \cdot 594 \cdot 10^{-6} = 9048 \text{ Н}$  | 9048                 | Н                 |

Рис. 4. Перечень расчетных параметров, определяемых при идентификации КФ сверлящего перфоратора

$$p = p_{\text{КО}} + \frac{P_{\text{ПИТ}} - P_{\text{КО}}}{Q_{\text{ПИТ}}} \cdot Q \quad (10)$$

Внешние статические характеристики могут быть получены из внутренних путем пересчета по соотношениям:

$$R_{\text{НФ}} = p \cdot A_{\text{ЭФФ}}, \quad (11)$$

$$V_{\text{Ф}} = \frac{Q}{A_{\text{ЭФФ}}}. \quad (12)$$

На рис. 6–7 представлены результаты расчета типовых статических характеристик контура фиксации сверлящего перфоратора.

Точка пересечения двух прямых на рис. 6 является оптимумом совместной работы переливного клапана и насоса гидросистемы сверлящего перфоратора.

Характерной особенностью внешней характеристики (рис. 7) является ее нежесткость: с ростом нагрузки, приложенной к гидроцилиндру

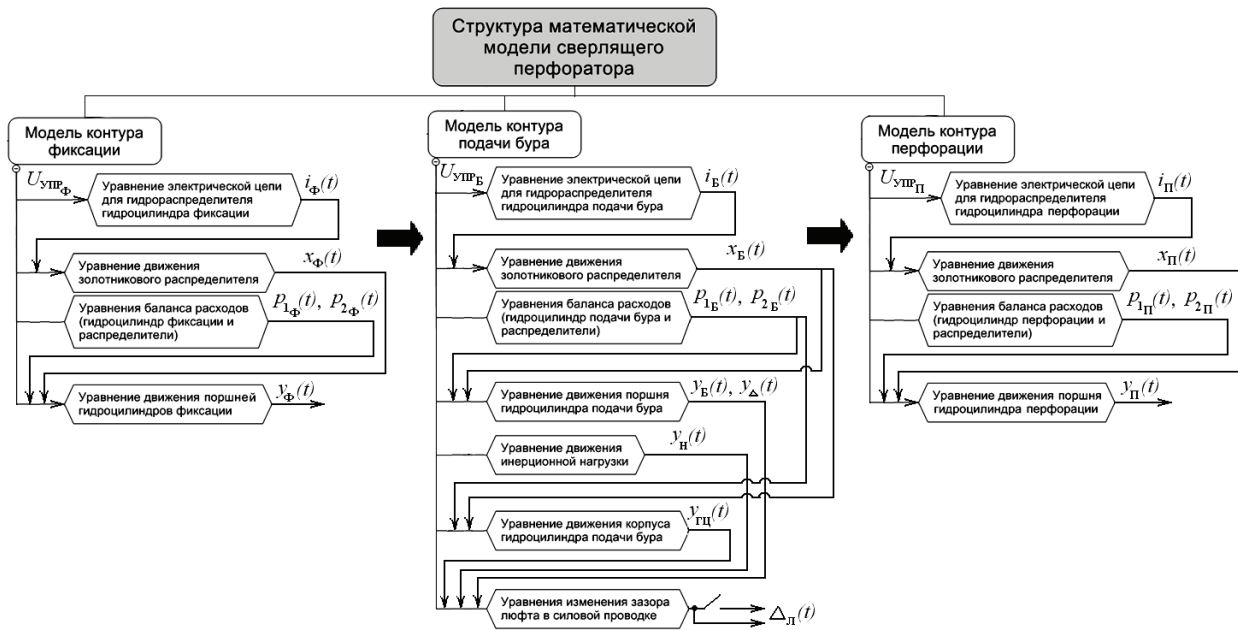


Рис. 5. Структура математической модели сверлящего перфоратора

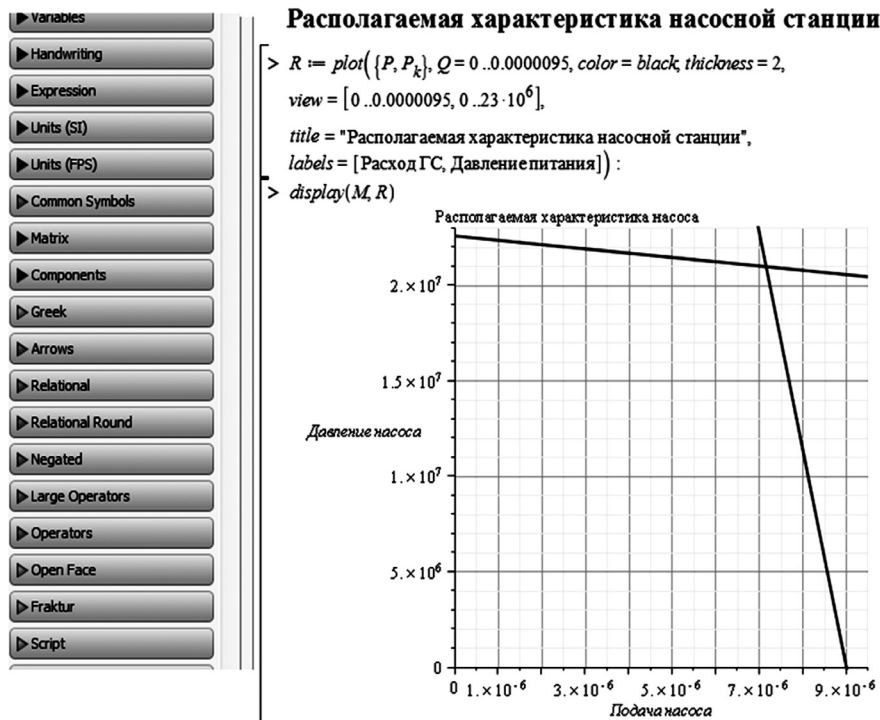


Рис. 6. Располагаемая характеристика насосной станции

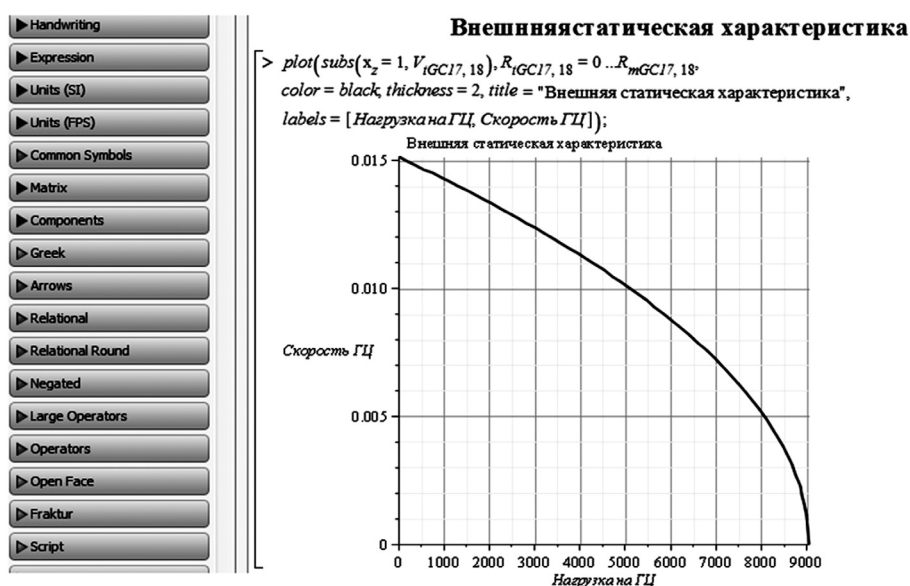


Рис. 7. Нагрузочная характеристика гидроцилиндра фиксации

фиксации, скорость движения штока гидроцилиндра уменьшается.

Математическая модель КФ включает в себя: уравнение электрической цепи, уравнение движения золотникового ГР, уравнения баланса расходов и уравнение движения ГЦ фиксации (13).

$$\left\{ \begin{array}{l}
 K_{ПЭ\Phi} \frac{dx_{\Phi}(t)}{dt} = U_{УПР\Phi} - R_{\Phi} i_{\Phi}(t) - L_{\Phi} \frac{di_{\Phi}(t)}{dt}, \\
 m_{3\Phi} \frac{d^2 x_{\Phi}(t)}{dt^2} + b_{3\Phi} \frac{dx_{\Phi}(t)}{dt} + c_{ПР\Phi} x_{\Phi}(t) = K_{F_{i\Phi}} i_{\Phi}(t), \\
 \mu B_{\Phi} x_{\Phi}(t) \sqrt{\frac{2|p_{ПИТ} - p_{1\Phi}(t)|}{\rho}} \times \\
 \times \text{sign}(p_{ПИТ} - p_{1\Phi}(t)) = \\
 = A_{П\Phi} \frac{dy_{\Phi}(t)}{dt} + \frac{W_{ГЦ\Phi}}{2 \cdot E} \frac{dp_{1\Phi}(t)}{dt}, \\
 \mu B x_{\Phi}(t) \sqrt{\frac{2|p_{2\Phi}(t) - p_{СЛ}|}{\rho}} \times \\
 \times \text{sign}(p_{2\Phi}(t) - p_{СЛ}) = \\
 = A_{Э\Phi\Phi} \frac{dy_{\Phi}(t)}{dt} - \frac{W_{ГЦ\Phi}}{2 \cdot E} \frac{dp_{2\Phi}(t)}{dt}, \\
 m_{ГЦ\Phi} \frac{d^2 y_{\Phi}(t)}{dt^2} = A_{Э\Phi\Phi} (p_{1\Phi}(t) - p_{2\Phi}(t)) - \\
 - R_{СТАТ\Phi} \cdot \text{sign}\left(\frac{dy_{\Phi}(t)}{dt}\right) - b_{ГЦ\Phi} \frac{dy_{\Phi}(t)}{dt},
 \end{array} \right. \quad (13)$$

Введем граничные условия для математической модели КФ сверлящего перфоратора:

$$0 \leq i_{\Phi}(t) \leq 1 \text{ А};$$

$$0 \leq x_{\Phi}(t) \leq 0,001 \text{ м};$$

$$0 \leq p_{1\Phi}(t) \leq 20 \text{ МПа};$$

$$0 \leq p_{2\Phi}(t) \leq 20 \text{ МПа};$$

$$0 \leq y_{\Phi}(t) \leq 0,066 \text{ м}.$$

Численное решение системы дифференциальных уравнений (13) проводилось на ЭВМ методом Рунге-Кутты 4–5-го порядка.

На рис. 8–9 представлены результаты расчета типовых динамических характеристик контура фиксации сверлящего перфоратора.

По результатам анализа переходного процесса перемещения золотника ГР (рис. 8) устанавливают быстроедействие электрогидравлической системы сверлящего перфоратора: в данном случае выход на режим составляет 0,2 с.

Время фиксации сверлящего перфоратора в обсадной колонне составляет 4,6 с, что соответствует техническим характеристикам приборов для вторичного вскрытия продуктивных пластов.

При определении стохастических коэффициентов в первую очередь уточняется перечень стохастических параметров и коэффициентов, подлежащих идентификации.

Скорость выдвигания штока ГЦ фиксации определяется величиной расхода рабочей жидкости, поступающей в гидроцилиндр:

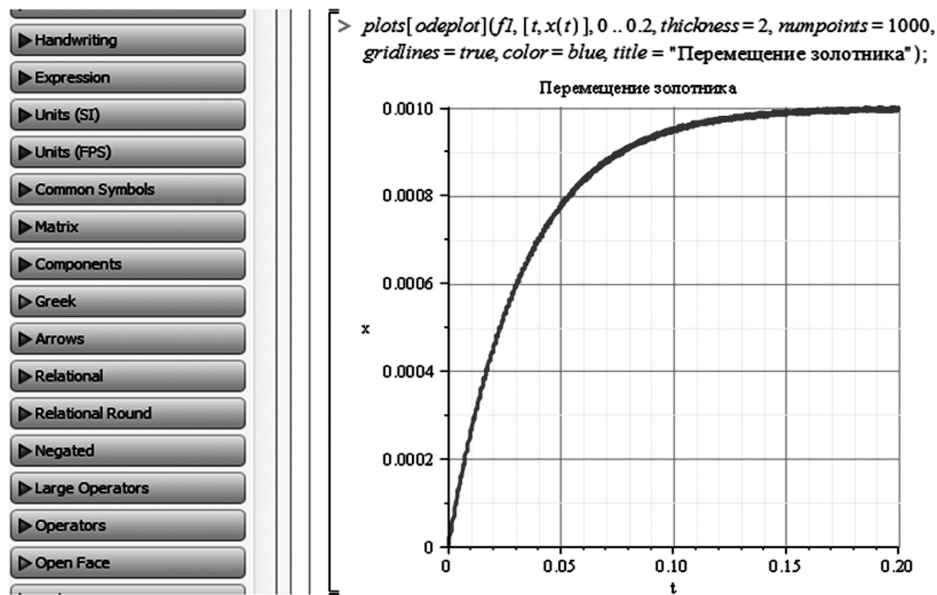


Рис. 8. Переходный процесс перемещения золотника ГР

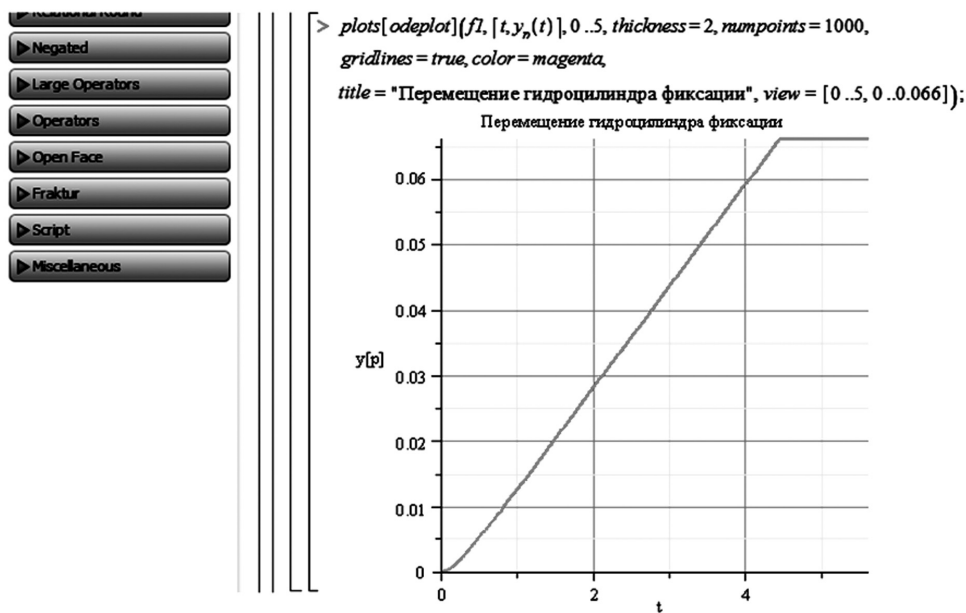


Рис. 9. Переходный процесс перемещения поршня ГЦ фиксации

$$Q_{ГЦ} = V_{\Phi} \cdot A_{\Phi}, \quad (14)$$

где  $V_{\Phi}$  – скорость выдвигания штока ГЦ, м/с.

Расход рабочей жидкости, поступающей в гидроцилиндр, описывается выражением (15):

$$Q_{ГЦ} = \gamma_Q \cdot Q_{Н}, \quad (15)$$

где  $\gamma_Q$  – стохастический коэффициент неравномерности подачи насоса, определяемый неравномерностью подачи насоса (разброс  $\gamma_Q$  определен в ходе экспериментальных исследований гидравлической системы контура фиксации сверлящего перфоратора,  $0,95 < \gamma_Q < 1,05$ );  $Q_{Н} = Q_{пит}$  – подача насоса, м<sup>3</sup>/с.

Стохастический характер величины давления питания определяется разбросом значений времени выдвигания штока ГЦ фиксации. Случайный разброс давления питания ГС описывается выражением (16):

$$P_{д} = \gamma_p \cdot P_{СР}, \quad (16)$$

где  $p_{д}$  – действительное значение давления питания ГС, Па;  $\gamma_p$  – стохастический коэффициент давления питания, определяемый величиной разброса значений давления питания ГС (разброс  $\gamma_p$  определен в ходе экспериментальных исследований гидравлической системы контура фиксации сверлящего перфоратора,  $0,95 < \gamma_p < 1,05$ );  $P_{СР}$  – среднее значение давления питания ГС, Па.

Таким образом, для построения стохастической математической модели контура фиксации сверлящего перфоратора целесообразно учитывать случайный разброс коэффициентов  $\gamma_Q$  и  $\gamma_p$ .

Учет коэффициента неравномерности подачи насоса  $\gamma_Q$  и стохастического коэффициента давления питания  $\gamma_p$  позволяет рассчитывать статические и динамические характеристики контура фиксации сверлящего перфоратора по выражениям уже не в виде кривых (рис. 6–9), а в виде области значений характеристик, где центральная кривая соответствует среднему значению характеристики, а крайние кривые отражают влияние на характеристики случайного разброса учтенных в модели стохастических коэффициентов  $\gamma_Q$  и  $\gamma_p$ .

Для определения точных значений идентифицируемых коэффициентов и параметров необходимо проведение экспериментальных исследований, программа и объем которых позволят принять и проверить гипотезу о соответствии распределения экспериментальных данных какому-либо типу распределения, например – нормальному закону распределения (табл. 2), определить статистические значения стохастических параметров и коэффициентов:

- математическое ожидание

$$m_t = \sum_{n=1}^k t_n \cdot P_n, \quad (17)$$

где  $t_n$  – случайное значение исследуемого параметра,  $P_n$  – вероятность случайного события;

- дисперсия

$$D_t = \sum_{n=1}^k (t_n - m_t)^2 \cdot P_n; \quad (18)$$

- среднеквадратичное отклонение

$$\sigma_t = \sqrt{D_t}. \quad (19)$$

Диапазон изменения исследуемого параметра определяется на основании следующего выражения:

$$P_n(|t_n| < \delta) = 2 \cdot \Phi \left( \frac{\delta}{\sigma_t} \right), \quad (20)$$

где  $\delta$  – абсолютная величина отклонения случайной величины от ее математического ожидания;  $\Phi$  – интегральная функция Лапласа.

Задаваясь требуемой вероятностью события, например  $P = 0,95$ , по табличным данным [4] определяется значение интегральной функции Лапласа. Подстановка известных параметров в выражение (20) позволяет определить абсолют-

ную величину отклонения случайной величины от ее математического ожидания.

Диапазон изменения исследуемой величины определяется по зависимостям:

$$t_n(\min) = m_t - \delta \text{ и } t_n(\max) = m_t + \delta,$$

Плотность распределения вероятности события для рассчитывается по выражению вида:

$$f(t_n) = \frac{1}{\sigma_t \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(t_n - m_t)^2}{2 \cdot \sigma_t^2}}.$$

Таблица 2

### Типы распределений и их функции плотности распределения

| Тип распределения                | Функция плотности распределения   |
|----------------------------------|---|
| нормальное                       | $f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{2 \cdot \sigma^2}},$ <p>где <math>a</math> – математическое ожидание,<br/><math>\sigma</math> – среднее квадратическое отклонение.</p>   |
| Экспоненциальное (показательное) | $f(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < 0, \\ \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot x} & \text{при } x \geq 0, \end{cases}$ <p>где <math>\lambda</math> – постоянная положительная величина</p>   |
| хи квадрат                       | $f(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq 0, \\ \frac{1}{2^{\frac{k}{2}} \Gamma \cdot \frac{k}{2}} e^{-\frac{x}{2}} x^{\frac{k}{2}-1} & \text{при } x > 0, \end{cases}$ <p>где <math>k</math> – степень свободы,<br/><math>\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt</math> – гамма-функция;<br/>в частности <math>\Gamma(n+1) = n!</math>.</p>  |
| Стьюдента                        | $f(x) = \frac{1}{\sqrt{k}} \frac{\Gamma\left(\frac{k+1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} \left(1 + \frac{x^2}{k}\right)^{-\frac{k+1}{2}}.$  |
| F Фишера – Снедекора             | $f(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq 0, \\ C_0 \frac{x^{\frac{k_1-2}{2}}}{(k_2 + k_1 \cdot x)^{\frac{k_1+k_2}{2}}} & \text{при } x > 0, \end{cases}$ <p>где <math>C_0 = \frac{\Gamma\left(\frac{k_1+k_2}{2}\right) \cdot k_1^{\frac{k_1}{2}} \cdot k_2^{\frac{k_2}{2}}}{\Gamma\left(\frac{k_1}{2}\right) \cdot \Gamma\left(\frac{k_2}{2}\right)}</math>,<br/><math>k_1, k_2</math> – степени свободы.</p> |



Анализ полученных результатов начинается с обработки и обобщения результатов численных и экспериментальных исследований и их сравнения с целью верификации разработанной математической модели сверлящего перфоратора. Выбор метода статистической обработки экспериментальных данных должен обосновываться соответствующими объемами выборок, а также сравнением результатов статистической обработки с экспериментальными данными.

При верификации математической модели сверлящего перфоратора результаты численных расчетов сопоставляются с результатами экспериментальных исследований, таким образом, проверяется адекватность математической модели сверлящего перфоратора реальному объекту.

Если по результатам верификации математической модели сверлящего перфоратора расхождение теоретических и экспериментальных данных составляет более 10 %, то принимается решение о доработке математической модели: уточнения перечня стохастических коэффициентов, определения их статистических параметров, выработке рекомендаций по использованию разработанных математических моделей сверлящего перфоратора с указанием необходимых ограничений по моделированию и использованию результатов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана и реализована на ЭВМ методика идентификации параметров и характеристик электрогидравлического сверлящего перфоратора, позволяющая поэтапно проводить идентификацию характеристик аппаратуры для вторичного вскрытия продуктивных пластов.

Разработана математическая модель контура фиксации сверлящего перфоратора, учитывающая случайный разброс входящих в нее параметров, и позволяющая оценивать степень влияния стохастических коэффициентов на характеристики прибора.

Реализованные на ЭВМ математические модели позволяют в случае необходимости дополнять и изменять перечень стохастических параметров и коэффициентов, влияющих на разброс статических и динамических характеристик сверлящих перфораторов, учет которых повысит адекватность математических моделей реальным объектам.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Арефьев К. В., Месропян А. В., Телицын Ю. С.** и др. Идентификация и адаптивное управление струйными гидравлическими рулевыми машинами / под ред. Месропяна А. В. М.: МАИ, 2007. 282 с.
2. **Галлямов, Ш. Р., Месропян, А. В., Митягина, М. О.** Введение безразмерных переменных при моделировании гидросистемы сверлящего перфоратора // Вестник УГАТУ. Уфа, 2012. Т. 16, № 2 (47). С. 169–173.
3. **Казакова Т. Г., Месропян А. В., Митягина М. О.** Разработка сверлящего перфоратора с электрогидравлической системой // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2012. №1. С. 25–31.
4. **Гмурман В. Е.** Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 2003. 479 с.

### ОБ АВТОРАХ

**Галлямов Шамиль Рашитович**, доц. каф. ПГМ. Дипл. магистра (УГАТУ, 2006). Канд. техн. наук (УГАТУ, 2009). Иссл. в обл. пневмо-гидросистем, разработка перспективной малогабаритной техники.

**Месропян Арсен Владимирович**, проф. той же каф. Дипл. инж.-мех. (УГАТУ, 1996). Д-р техн. наук по гидромашинам и гидропневмоагрегатам (УГАТУ, 2010). Иссл. в обл. гидроприводов систем управления ЛА и гидрофицированных систем испытаний и вскрытия нефтеносных пластов.

**Митягина Мария Олеговна**, аспирант той же каф. Диплом магистра (УГАТУ, 2012). Готовит дис. в обл. проектирования электрогидравлических сверлящих перфораторов для вторичного вскрытия продуктивных пластов.