

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ПРИВОДА РАБОЧЕГО ОРГАНА РОТОРНОГО ТРАНШЕЙНОГО ЭКСКАВАТОРА

Приводится описание математической модели привода роторного траншейного экскаватора на основе уравнений состояния и уравнений связи, учитывающих силы резания сезонно-мерзлых грунтов. Данные получены в результате проведения натурных экспериментов на грунтах различного гранулометрического состава.

Ключевые слова: структурная схема модели, уравнения состояния, уравнения связи, устойчивость системы, границы устойчивости, силы резания грунта, фракционный состав включений, смещение клапанно-регулирующей аппаратуры, скорость вращения вала привода рабочего органа.

Исходными данными для математической модели динамической модели гидравлического привода роторного траншейного экскаватора являются ее дифференциальные уравнения в пространстве переменных состояния.

В качестве переменных приняты:

- давление рабочей жидкости в гидравлической системе;
- перемещения рабочих элементов клапанно-регулирующей аппаратуры в функции давления;
- скорость вращения вала гидромотора;
- скорость вращения рабочего органа.

$$\frac{dP_H}{d\tau} = q_H \cdot A_1 \cdot \omega_{ГМ} \cdot A_2 - Q_{ПК}(x_{ПК}) \cdot A_3 + Q_{ОК}(x_{ОК}) \cdot A_3 - P_H \cdot A_4. \quad (1)$$

Переменная – смещение обратного клапана в функции давления:

$$\frac{dX_{ОК}}{d\tau} = A_5 \int_0^t (P_{ОК} - P_H) - A_6 \int_0^t \frac{Q_{ОК}^2}{x_{ОК}(p)} - A_7 \cdot X_{ОК} - A_8 \int_0^t X_{ОК}. \quad (2)$$

Переменная – смещение предохранительного клапана в функции давления:

$$\frac{dX_{ПК}}{d\tau} = A_9 \int_0^t (P_H - P_{ПК}) - A_{10} \int_0^t \frac{Q_{ПК}^2}{x_{ПК}} - A_{11} \cdot X_{ПК} - A_{12} \int_0^t X_{ПК}. \quad (3)$$

Переменная – скорость вращения вала гидромотора в функции давления:

$$\begin{aligned} \frac{d\omega_{ГМ}}{d\tau} = & A_{13} \cdot (P_H - P_C) - A_{14} \cdot \int_0^t \frac{d\omega_{ГМ}(t)}{dt} - A_{15} \cdot (P_H - P_C) - A_{30} - \\ & - A_{16} \cdot \left(\int_0^t \frac{d\omega_{ГМ}(t)}{dt} - A_{17} \cdot \int_0^t \frac{d\omega_{ГМ} po(t)}{dt} \right). \end{aligned} \quad (4)$$

Переменная – скорость вращения вала привода рабочего органа в функции скорости вращения вала гидромотора и действующих нагрузок (моментов M_1 , M_2 , M_3) сопротивления, являющихся функцией физико-механических свойств разрабатываемого грунта:

$$\frac{d\omega_{PO}}{d\tau} = A_{18} \cdot \left(\int_0^t \frac{d\omega_{ГМ}(t)}{dt} - A_{19} \cdot \int_0^t \frac{d\omega_{ГМ} po(t)}{dt} \right) - (M_1(\kappa_m) \cdot A_{20} + A_{21} \cdot M_2(h) + A_{21} \cdot M_3(V)); \quad (5)$$

Уравнения связи.

* - автор, с которым следует вести переписку.

Расход гидравлической жидкости через клапан обратный, зависящий от давления рабочей жидкости P_H и давления насоса подпитки P_{HP} (const):

$$\begin{aligned} &\text{Если } P_{HP} < P_H, \text{ то } Q_{OK} = 0 \\ &\text{Если } P_{HP} > P_H, \text{ то } Q_{OK} = B \cdot x_{OK} \cdot \sqrt{(P_{HP} - P_H)}. \end{aligned} \quad (6)$$

Расход гидравлической жидкости через клапан предохранительный, зависящий от давления рабочей жидкости P_H и давления настройки клапана предохранительного P_{PK} (const):

$$\begin{aligned} &\text{Если } P_H \leq P_{PK}, \text{ то } Q_{PK} = 0 \\ &\text{Если } P_H > P_{PK}, \text{ то } Q_{PK} = A \cdot x_{PK} \cdot \sqrt{(P_H - P_{PK})}. \end{aligned} \quad (7)$$

Модуль упругости гидравлических трубопроводов,

$$\text{стальных: } K_{упр. тр} = \pi \cdot \ell \left(\frac{1-\mu}{8} \frac{d^3}{E_m \delta} + \frac{d^2}{4E_{жс}} \right); \quad (8)$$

$$\text{рукавов высокого давления: } K_{упр. р} = \frac{\pi d_p^2}{4E_p} \ell_p; \quad (9)$$

$$E_p = \frac{E_{ж} \cdot E_{тр}}{E_{ж} + E_{тр}} \frac{d_{тр}}{c_{\Sigma} \delta_{тр}}; \quad c_{\Sigma} = \left(\mu + \frac{r_1^2 + r_2^2}{r_1^2 + r_2^2} \right).$$

Момент от силы резания грунта, зависящий от силы резания P'_K :

$$M_1 = (P'_K) \cdot R_r, \quad R_r = 1,15 \text{ м}; \quad (10)$$

Сила резания грунта, зависящая от физико-механических свойств грунта C , толщины стружки h , ширины резца b , скорости резания V_p , шага расстановки резцов t , коэффициента блокированности μ и размера включений ζ (сила резания может быть задана и осциллограммой – рис. 1, 2, 3) [1]:

$$P'_K = P_k \cdot K'_V \cdot K'_\alpha \cdot K'_C \cdot \mu$$

$$P_k = 8,32(-0,283 + 0,149 \cdot 10^{-1} C - 0,221 \cdot 10^{-4} C^2) \times$$

$$\times (-0,419 \cdot 10^{-1} + 0,75 \cdot 10^{-1} h - 0,54 \cdot 10^{-3} h^2) \times (0,178 \cdot 10^{-2} + 0,06b - 0,67 \cdot 10^{-3} b^2) \cdot 10^2 \quad (11)$$

$$K'_V = (0,9244 + 0,063V_p) \left(0,98 + 0,023 \frac{t-b}{h} \right),$$

$$K'_\alpha = (0,456 + 0,068\alpha) \left(0,98 + 0,03 \frac{t-b}{h} \right).$$

$$K'_\zeta = 0,1033 + 39,18\zeta - 0,00043n^2$$

$$\mu = 0,516 + 0,2622 \left(\frac{t-b}{h} \right).$$

Показатели крупности включений ζ и их процентный состав n задаются в модели согласно таблице 1.

Осциллограммы нагрузок на рабочем органе роторного траншейного экскаватора, полученные при разработке сезонно-мерзлого грунта, показывают, что данный входной сигнал может быть задан в модели не только уравнениями (10) и (11), но и в виде единичных импульсов (рис. 1, 3 – зона А) и скачков (приложение нагрузки и сброс нагрузки – рис. 2, зона В и зона С), что существенно повышает достоверность результатов исследования модели.

Единственным методом исследования математической модели является моделирование уравнений состояния и связи на цифровой вычислительной машине. В качестве метода исследования выбран метод представления уравнений в программе моделирования SIMULINK системы математического исследования MATLAB [2]. Результатом исследования являются действительные характеристики временных процессов переменных модели. Структура математической модели позволяет исследовать возможность влияния переменных рабочего процесса гидропривода роторного траншейного экскаватора на характер процессов, устойчивость системы и позволяет определить границы устойчивости [3]

Таблица 1

Фракционный состав гравийно-галечниковых включений сезонно-мерзлых грунтов

Размер частиц (ζ) · 10 ⁻³ м	0,1	0,1–2	2–8	8–30	30–50	50–90
Состав частиц (n), %	28–32	20–24	16–18	16–18	9–11	3–5

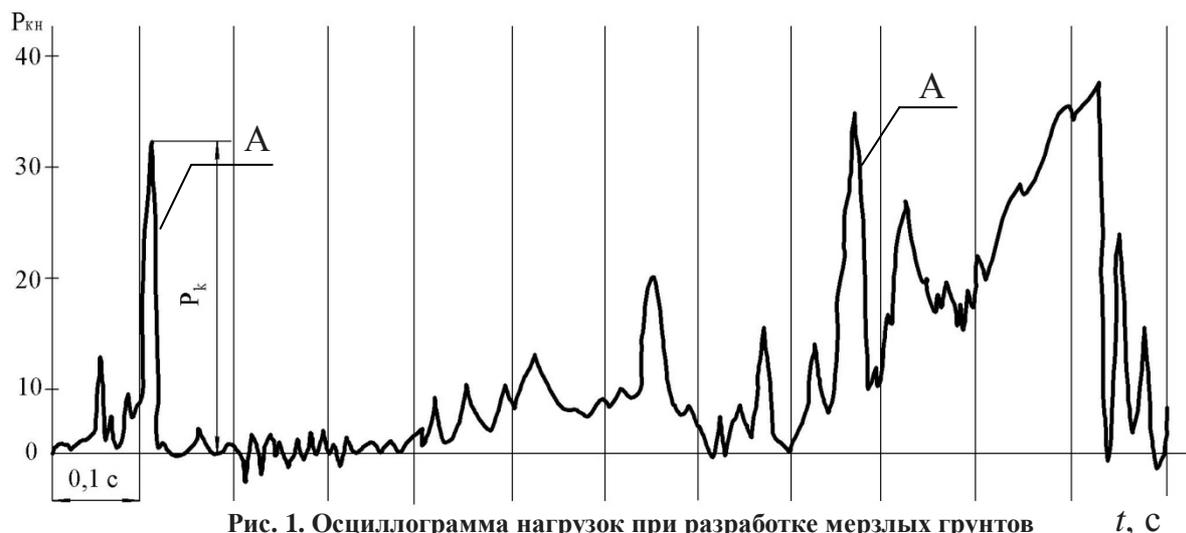


Рис. 1. Оциллограмма нагрузок при разработке мерзлых грунтов с гравийно-галечниковыми включениями резцом шириной 18 мм.

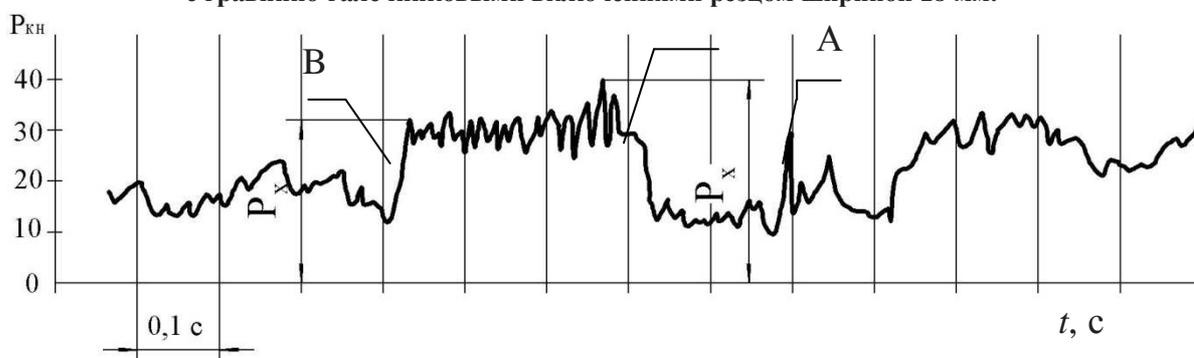


Рис. 2. Оциллограмма нагрузок, возникающих на резце при разрезании включения в среде мерзлого суглинка и глины.

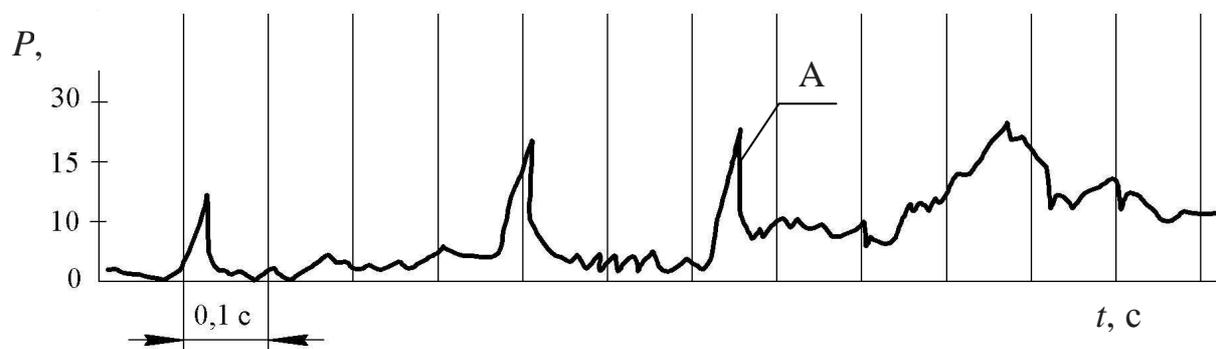


Рис. 3. Оциллограмма нагрузок, возникающих на резце при разрезании включения в среде.

. Одним из методов выхода из неустойчивости системы управления является использование явной схемы с корректором. Использование корректора предполагает предсказание скорости изменения границы устойчивости со стороны привода и нагрузки со стороны разрабатываемого сезонно-мерзлого грун-

та на следующем шаге расчета. Нагрузки, используемые в модели, приняты по результатам натурного эксперимента, что позволяет точно предсказать результаты исследования модели и обеспечивает ее устойчивость за счет изменения закона корректора, зависящего от действующей нагрузки.

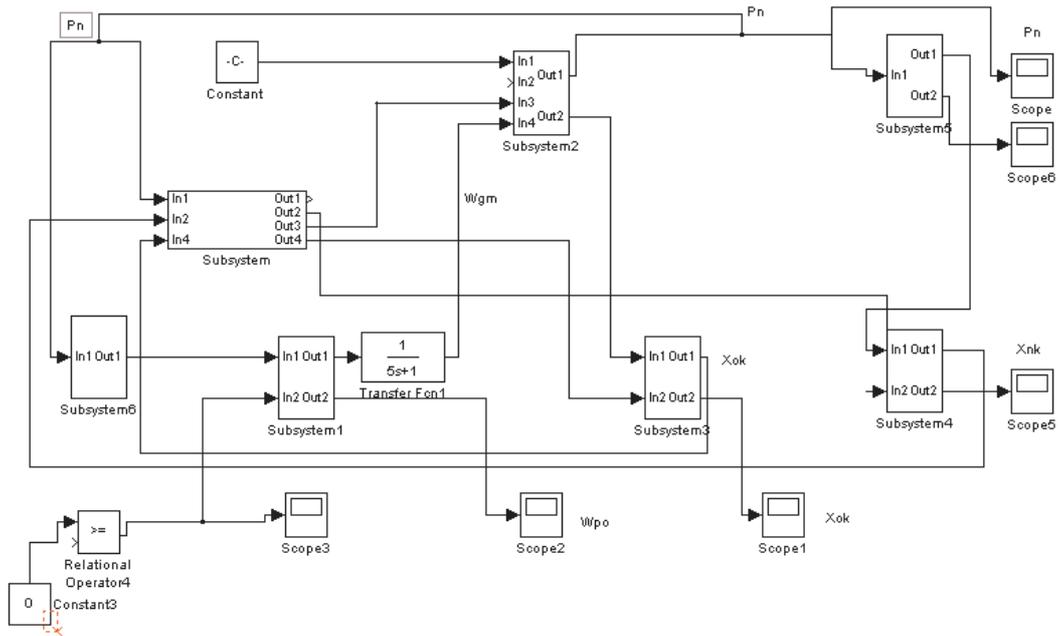


Рис. 4. Структурная схема математической модели.

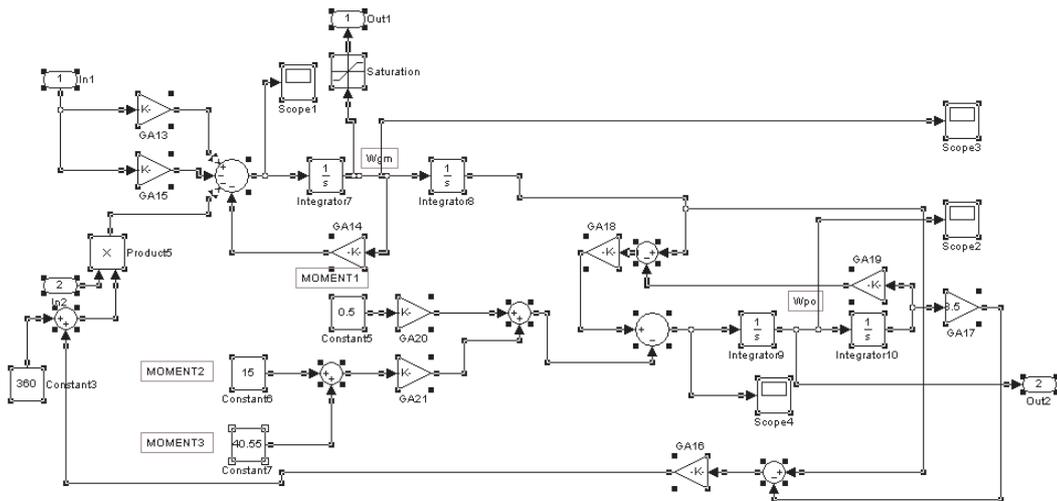


Рис. 5. Структурная схема подсистемы – отображение действующих моментов на рабочем органе.

Выводы

1. Результаты численного исследования математической модели привода, оснащенного корректором, изменяющего закон в зависимости от нагрузки на рабочем органе траншейного экскаватора, взаимодействующего с мерзлым грунтом, подтверждают расширение границ устойчивости алгоритма и снижение амплитуды заброса давления в напорной магистрали привода.

2. Входному воздействию в виде единичного сигнала и приложения нагрузки соответствует экспоненциальный закон изменения

корректирующего элемента, обеспечивающий расширение диапазона устойчивости работы алгоритма в широком диапазоне указанных нагрузок.

3. Период воздействующей нагрузки на рабочий орган соответствует периоду корректирующего воздействия.

Литература

1. Разработка сезонномерзлых грунтов Восточной Сибири траншейными экскаваторами: монография / С. И. Васильев [и др.] ;

Сиб. федер. ун-т. Красноярск : ИПК СФУ, 2010. 139 с.

2. Герман - Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0.-Спб.: КОРОНА принт, 2001. 320с.

3. Мехатронные подходы к математическому моделированию в механических колебательных системах / С.В. Елисеев, С.В. Белокобыльский, В.Б. Кашуба, И.С. Ситов // Системы Методы Технологии. 2010. № 4 (8). С. 9-14.