

Необходимое давление p в гидросистеме привода механизма реверса плиты определяется:

$$p = \frac{T}{S_2},$$

где S_2 – площадь поршня 8.

Ход l_2 поршня 8 определяется из условия:

$$l_2 = \pi \cdot \rho_2 \cdot tg(\alpha),$$

где α – угол подъема винтовой линии паза в ступице ведомого зубчатого колеса 5, $\alpha = 15...18$ градусов.

Величина необходимого перемещения l_1 поршня 12 и угол γ поворота рукоятки 13 определяется из условий:

$$S_1 \cdot l_1 = S_2 \cdot l_2, \gamma = \frac{l_1}{r^*},$$

Литература

1. Евграфов А.Н. Теория механизмов и машин. 2-е изд. М.: Академия, 2008. 560 с.
2. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики. В 2 т. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. 640 с.

где S_1, r^* – соответственно площадь поршня 12 и радиус делительной окружности зубчатого колеса 11.

Зная площадь поршня 12 и давление в гидросистеме, определим усилие F_τ , действующее со стороны зубчатой рейки на зубчатое колесо:

$$F_\tau = S_1 \cdot p.$$

Усилие на рукоятке, необходимое для поворота, определяется из условия равенства моментов:

$$F_\tau \cdot r^* = F_P \cdot r^{**},$$

где F_P – усилие, прилагаемое оператором к рукоятке 13; r^{**} – радиус рукоятки.

References

1. Evgrafov A.N. Theory of machines and mechanisms. 2-e izd. M.: Akademiya, 2008. 560 s.
2. Loytsyansky L.G., Luriye A.I. Course of theoretical mechanics. V 2 t. 6-e izd., pererab. i dop. M.: Nauka, Gl. red. fiz.-mat. lit., 1983. 640 s.

УДК 621.879.48-83

Результаты численного моделирования рабочего процесса привода рабочего органа траншейного экскаватора

С.И. Васильев^{1*}, В.И. Иванчура¹

¹Сибирский федеральный университет, пр. Свободный, 79, Красноярск, Россия
Статья поступила 13.01 2012, принята 10.02.2012

Приводятся результаты исследования математической модели привода роторного траншейного экскаватора, учитывающей силы резания грунтов в мерзлом состоянии различного гранулометрического состава. Обоснован вывод о достаточности представления моментов, действующих на рабочие органы со стороны разрабатываемых сезонно-мерзлых грунтов в виде нагрузок первого, второго и третьего типа как наиболее представительных в исследованном спектре нагрузок и адекватно отражающих реальные условия нагружения систем гидромеханического привода при разработке мерзлых грунтов с гравийно-галечниковыми включениями мерзлых однородных грунтов и мерзлых грунтов с отдельными включениями в виде валунов. Выполнен анализ изменения таких параметров привода рабочего органа как давление рабочей жидкости в гидравлической системе, угловой скорости вращения вала, угловой скорости вращения вала рабочего органа экскаватора и динамического момента при воздействии нагрузок различного типа, полученных по аппроксимации результатов натурных исследований процесса резания сезонно-мерзлых грунтов. На разработанных имитационных моделях выполнено исследование динамических процессов системы гидромеханического привода, показано, исследуемые процессы являются устойчивыми. Рассмотрены результаты моделирования перемещения предохранительного клапана системы гидропривода рабочего органа при воздействии нагрузок на рабочие органы взаимодействующих с мерзлым грунтом.

Ключевые слова: численное моделирование, структурная схема модели, силы резания грунта, привод рабочего органа, гранулометрический состав грунта, фракционный состав включений, скорость вращения вала привода рабочего органа.

* E-mail address: S-vasilev1@yandex.ru

Results of the working process computational modeling for a trencher operating member drive

S.I.Vasiliyev^{1*}, V.I. Ivanchura¹

¹Siberian Federal University, 79, Svobodny av., Krasnoyarsk, Russia
Received 13.01.2012; Accepted 10.02.2012

The research results of a mathematical model for a bucket-wheel trench excavator drive taking into account the cutting forces of frozen soils of various granulometric compositions are proposed in the article. There has been substantiated the conclusion on the sufficiency of representing the moments acting on the operating members against the workable seasonally frozen soils in the form of the first, second and third type loads as the most representative ones. They adequately reflect the actual loading conditions of mechanical-hydraulic drive systems while excavating frozen soils which contain gravel-pebble inclusions of frozen closely graded soils and the ones containing certain inclusions in the form of boulders. There has been implemented the analysis of such operating member drive parametric variations as the working fluid pressure in the hydraulic system, the angular velocity of excavator operating member shaft rotation and the dynamic moment under the influence of different loads obtained by the approximation of field observation results of the seasonally frozen soils cutting process. The study of dynamic processes of the mechanical-hydraulic drive system has been implemented with the help of the developed simulation models. It has been shown that the processes under investigation are stable. The modeling results of a safety valve displacement in the operating member hydraulic actuator system under the impact of loads on the operating members interacting with frozen soil have been examined.

Keywords: computational modeling, block diagram of a model, cutting forces, operating member drive, soil granulometric composition, inclusions fractional composition, shaft rotating velocity of the operating member drive.

По результатам обработки большого количества осциллограмм экспериментальных исследований процесса резания сезонно-мерзлых грунтов [1, 3] произведена аппроксимация нагрузок, воздействующих на рабочие органы траншейных экскаваторов. На рис. 1, 2, 3 приведены указанные нагрузки, которым для удобства присвоены названия – нагрузка первого типа (рис.1), нагрузка второго типа (рис. 2), нагрузка третьего типа (рис. 3).

Аппроксимация нагрузок первого вида проведена применительно к процессу резания мерзлых грунтов с гравийно-галечниковыми включениями, второго вида – применительно к однородной мерзлой глине, третьего типа – применительно к мерзлой глине и суглинку, имеющим включения в виде валунов.

На рис. 4 – 6 представлены результаты имитационного моделирования параметров гидромеханической системы привода [2] при воздействии на рабочие органы траншейного экскаватора со стороны разрабатываемого мерзлого грунта нагрузок различного типа. Размерность для нагрузок по оси ординат – кН·м, по оси абсцисс (время) – с.

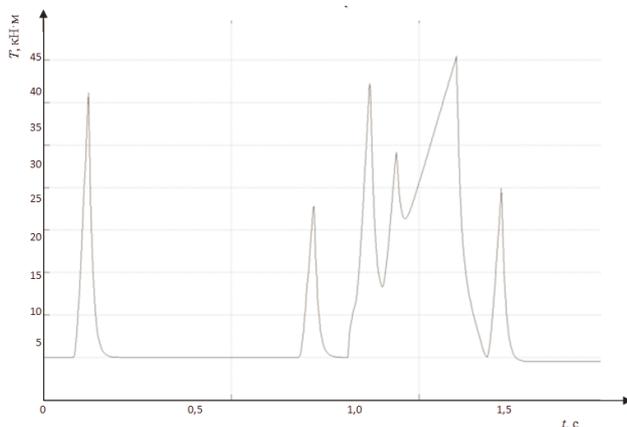


Рис. 1. Осциллограмма нагрузок первого типа, воздействующих на привод рабочего органа траншейного экскаватора.

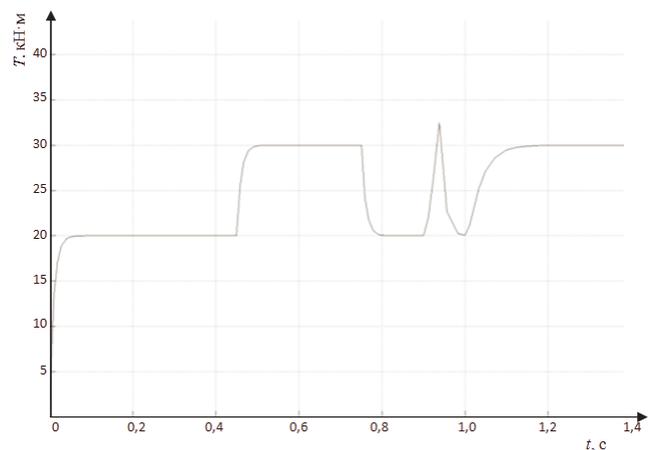


Рис. 2. Осциллограмма нагрузок второго типа, воздействующих на привод рабочего органа траншейного экскаватора.

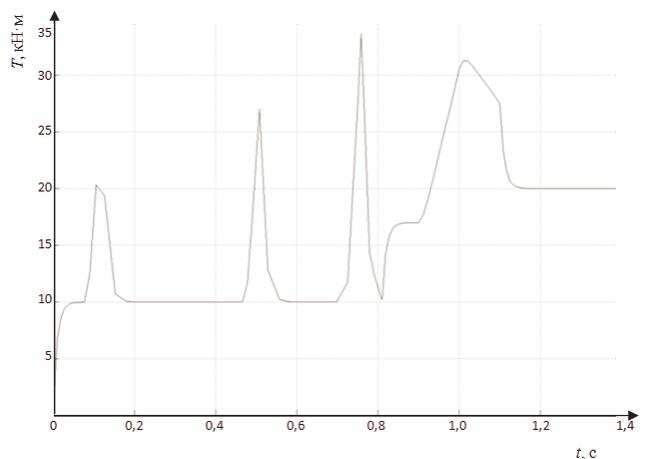


Рис. 3. Осциллограмма нагрузок третьего типа, воздействующих на привод рабочего органа траншейного экскаватора.

В каждом рассматриваемом варианте неизменными являются все подсистемы разработанной динамической модели, кроме модели нагрузки. В любом случае, вначале исследуются пусковые режимы на холостом ходу, затем подключается нагрузка соответствующего типа (осциллограмма – позиция 1). Нагрузка определяет характер динамических процессов изменения основных переменных состояния исследуемой системы гидромеханического привода траншейного экскаватора: давления рабочей жидкости P_n в гидравлической системе (осциллограмма – позиция 4), угловой скорости вращения вала гидромотора $\omega_{гм}$ (осциллограмма – позиция 2), угловой скорости вращения вала рабочего органа $\omega_{ро}$ экскаватора (осциллограмма – позиция 3), величины смещения предохранительного клапана $X_{пк}$. Для удобства представления на одном графике угловая скорость вращения вала рабочего органа траншейного экскаватора на осциллограммах приведена в масштабе 4:1, а величина давления – в МПа. Определяющими являются первые три переменные состояния, поэтому они и приведены вместе на фоне действующей нагрузки. Некоторые осциллограммы представлены в виде фрагментов по разным интервалам времени, которые легко могут быть состыкованы визуально.

На рис. 4 наблюдаем за началом процесса от времени $t = 0$ до момента подключения нагрузки первого типа $t = 1$ с. Видно, что наиболее быстро заканчивается процесс установления гидравлического давления, затем скорости гидромотора, и наименьшее быстродействие наблюдаем у скорости рабочего органа. Это объясняется различной инерционностью наблюдаемых объектов, в частности значительным моментом инерции рабочего органа, взаимодействующего с разрабатываемой средой. Менее инерционной, таким образом, является гидравлическая подсистема. Взаимное влияние переменных состояния в начале процесса не прослеживается. Начальный этап процессов не зависит от типа нагрузки и для других типов далее не описывается.

Этап работы траншейного экскаватора под нагрузкой первого типа, рис. 5 и рис. 7, начинается с момента ее подключения $t = 1$ с до момента окончания моделирования $t = 2,6$ с. Во время работы траншейного экскаватора на нагрузку первого типа подтверждается отмеченное в [4] взаимное влияние переменных состояния и характер их изменения.

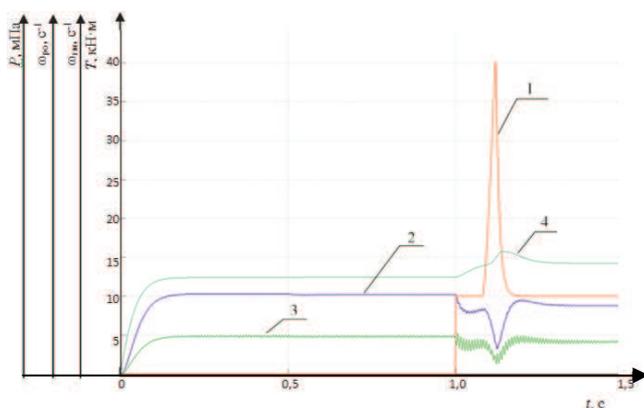


Рис. 4. Изменение характеристик привода рабочего органа при воздействии нагрузок первого типа (фрагмент осциллограммы, время подключения нагрузки $t_b = 1$ с).

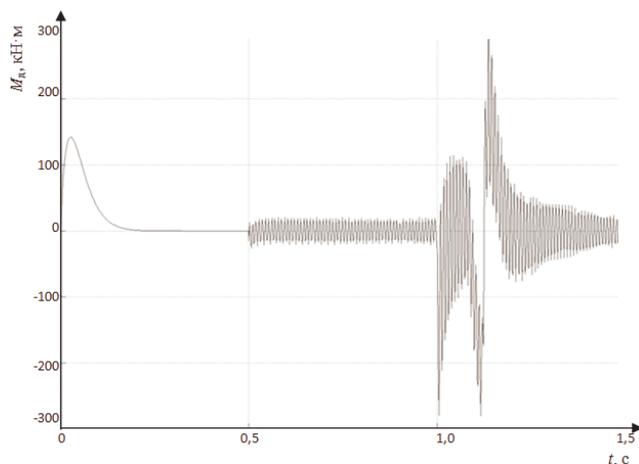


Рис. 5. Изменение динамического момента гидромотора при воздействии нагрузок первого типа (фрагмент осциллограммы, начальное время подключения нагрузки $t = 1$ с).

Так, уменьшение (увеличение) скорости вала рабочего органа, обусловленное изменением нагрузки, вызывает соответствующее уменьшение (увеличение) скорости вала гидромотора и соответствующее увеличение (уменьшение) давления в гидросистеме. Скорости вала гидромотора и вала привода рабочего органа имеют колебательную составляющую, обусловленную их конечными жесткостями и соотношением этих жесткостей. При этом амплитуда колебаний скорости вала рабочего органа траншейного экскаватора примерно в три раза превышает соответствующую амплитуду колебаний скорости вала гидромотора и определяется глубиной просадки скорости вала гидромотора и регулированием предохранительного клапана по давлению.

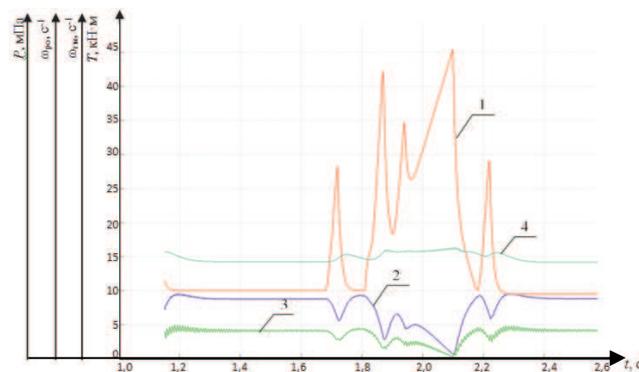


Рис. 6. Изменение параметров привода рабочего органа при воздействии нагрузок первого типа (фрагмент осциллограммы, начальное время подключения нагрузки $t_b = 1$ с).

Критерием, характеризующим работу экскаватора в динамических режимах, является динамический момент, развиваемый гидравлическим двигателем. Динамический момент отражает соответствующие изменения момента нагрузки рабочего органа, возникающей при взаимодействии с мерзлым грунтом. Характер изменения динамического момента гидравлического двигателя при отработке нагрузок первого типа показан на рис. 7.

Величина динамического момента пропорциональна ускорению вала гидромотора $d\omega_{гм}(t)/dt$ и приведенному к этому валу моменту инерции $J_{гм. пр.}$

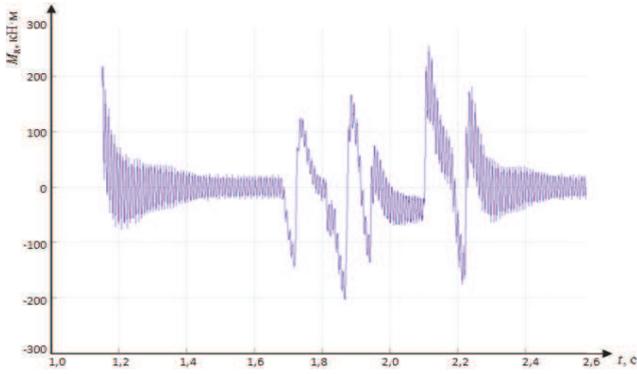


Рис. 7. Изменение динамического момента гидропривода рабочего органа при воздействии нагрузок первого типа (фрагмент осциллограммы, начальное время подключения нагрузки $t = 1$ с).

Характер изменения динамического момента привода рабочего органа показывает наличие зон перерегулирования, но итоговым результатом является его значение с уменьшением амплитуды изменения по истечению 1,26 с. времени работы системы.

Характерной особенностью влияния нагрузки второго типа на параметры гидромеханического привода рабочего органа траншейного экскаватора (рис. 8 и 12) является ее более равномерный характер по сравнению с нагрузками первого и третьего типов при сохранении верхней величины диапазона нагрузки ($40 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}$).

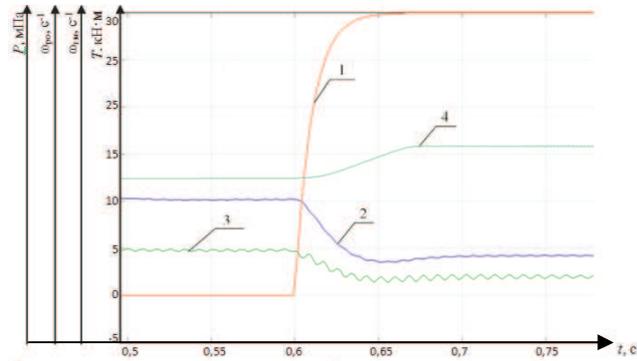


Рис. 8. Изменение параметров привода при воздействии на рабочий орган нагрузок второго типа (начало осциллограммы).

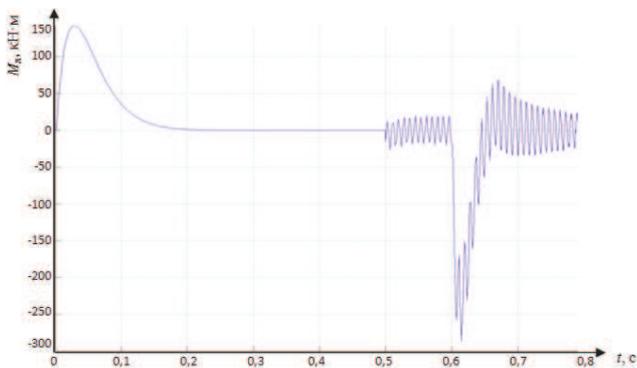


Рис. 9. Изменение динамического момента гидропривода при воздействии на систему привода рабочего органа нагрузок второго типа.

Это приводит к уменьшению величины установившейся скорости (ниже 5 рад/с) и, как следствие, к повышению рабочего давления в гидросистеме, что вызывает срабатывание предохранительного клапана. Динамический момент имеет значительную, до 50 %, пульсацию (рис. 9 и 11).

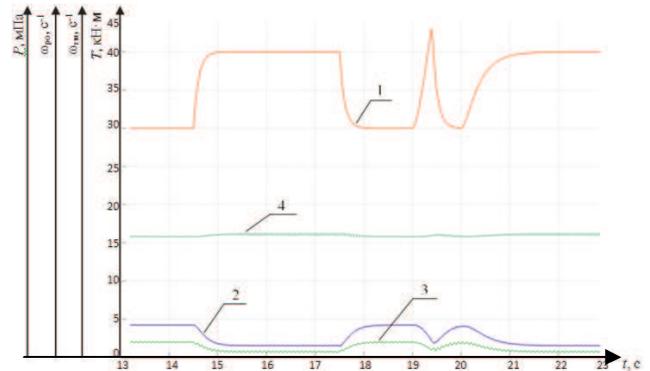


Рис. 10. Изменение параметров привода при воздействии на рабочий орган нагрузок второго типа.

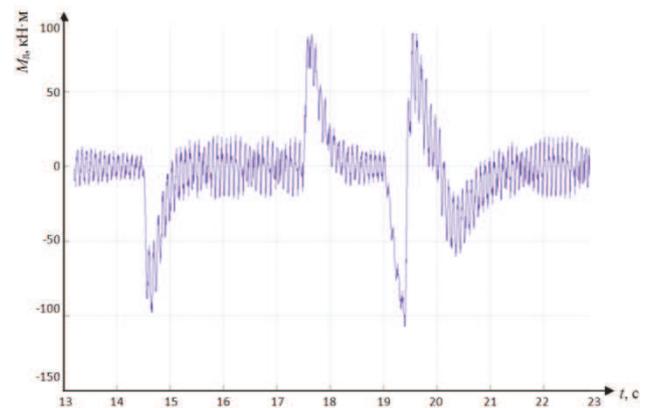


Рис. 11. Изменение динамического момента гидропривода при воздействии на систему привода рабочего органа нагрузок второго типа.

Величины моментов нагрузок третьего типа находятся в том же диапазоне, что и нагрузки первого и второго типов. Результаты исследования приведены на рис. 12, 13, 14. Разница заключается в большей величине возникающих усилий при импульсном характере нагрузки и большей их частоте. Это приводит к более значительным, по сравнению с первым типом, изменениям в скоростях механических валов гидромеханической подсистемы, ниже 6 рад/с для гидромотора, что вызывает срабатывание предохранительного клапана (рис. 13).

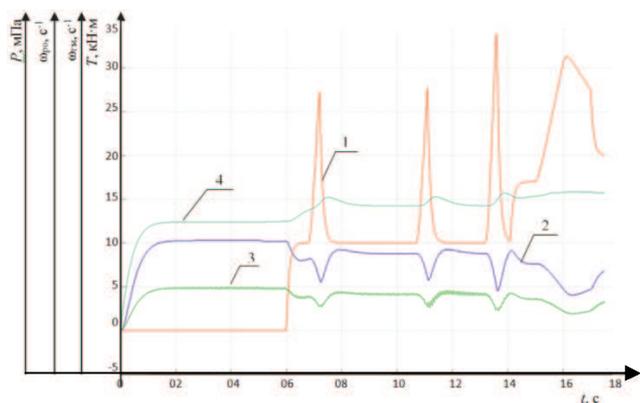


Рис. 12. Изменение параметров привода при воздействии нагрузок третьего типа на привод рабочего органа.

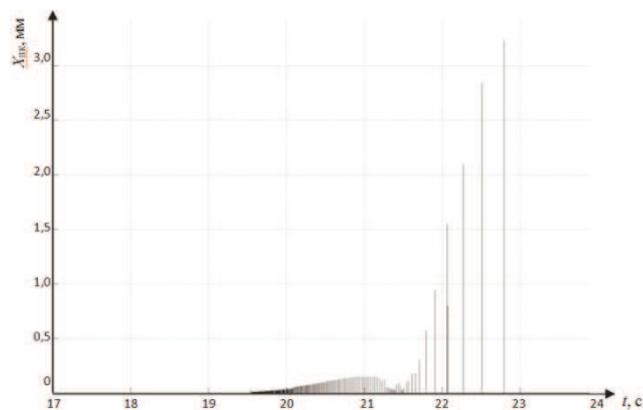


Рис. 13. Перемещение предохранительного клапана при воздействии нагрузок третьего типа на систему привода.

Результаты имитационного моделирования показывают, что во всех исследуемых режимах динамические процессы, возникающие при работе траншейного экскаватора, остаются устойчивыми. Колебательный характер процессов в механических элементах (амплитудные значения) зависит от типа нагрузки. Амплитуда изменений динамического момента, отнесенного к моменту инерции, при воздействии нагрузок первого и

третьего типа на 50% превышают амплитудные значения, возникающих при нагрузках второго типа.

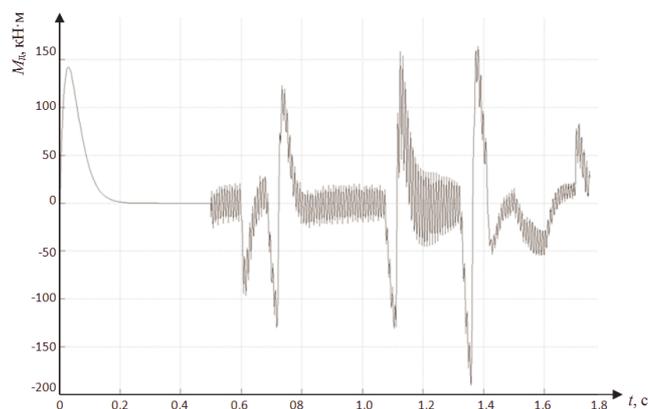


Рис. 14. Изменение динамического момента, отнесенного к моменту инерции, при воздействии на систему привода рабочего органа нагрузок третьего типа.

Выводы.

1. Нагрузки первого, второго и третьего типов, используемые в имитационном моделировании процессов привода рабочего органа траншейного экскаватора, адекватно отражают реальные условия нагружения систем привода при разработке мерзлых грунтов с гравийно-галечниковыми включениями, мерзлых однородных грунтов и мерзлых грунтов с отдельными включениями в виде валунов.

2. Имитационная модель позволяет исследовать работоспособность системы гидропривода по изменению динамического момента при воздействии на систему привода рабочего органа нагрузок всех типов.

3. Численные эксперименты, проведенные на разработанных имитационных моделях, показали, что во всех исследуемых режимах динамические процессы, наблюдаемые при работе траншейного экскаватора, являются устойчивыми.

Литература

1. Васильев С.И. Разработка сезонномерзлых грунтов Восточной Сибири траншейными экскаваторами: моногр. Красноярск: СФУ, 2010. 139 с.
2. Елисеев С.В., Белокобыльский С.В., Кашуба В.Г., Ситов И.С. Мехатронные подходы к математическому моделированию в механических колебательных системах // Системы Методы Технологии. 2010. № 4 (8). С. 914
3. Васильев С.И. Методика экспериментальных исследований процесса резания сезонно-мерзлых грунтов с включениями // Системы. Методы. Технологии. 2011. № 4 (7). С.164–151.
4. Васильев С.И., Иванчура В.И. Численное моделирование рабочего процесса привода рабочего органа роторного траншейного экскаватора // Там же. С. 15-21.

Reference

1. Vasiliev S.I. Digging of the Eastern Siberia seasonally frozen grounds by trenchers: monogr. Krasnoyarsk: SFU, 2010. 139 s.
2. Mechatronic approaches to the mathematical modeling in mechanical vibrating systems / S.V. Eliseev, S. V. Belokobyl'sky, V. B. Kashuba, I. S. Sitov // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2010. № 4 (8). S. 9–14.
3. Vasiliev S. I. Experimental research methods of the process of cutting seasonally frozen soils containing inclusions // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2011. № 4 (7). S. 164–151.
4. Vasiliev S. I., Ivanchura V.I. Numerical modeling of the drive working process for a rotary trenching machine operating member // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2011. № 4 (7). S. 15–21.