

УДК 630*383

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

© 2019 С.И. Сушков¹, О.Н. Бурмистрова², В.А. Бурмистров², Р.С. Тимохов²

¹ Воронежский государственный лесотехнический университет,

² Ухтинский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 15.02.2019

В представленной статье приведено решение задачи максимального использования потенциала гидравлического экскаватора, путем разработки конструкции грузоподъемного механизма. Данная конструкция содержит дополнительный механизм, позволяющий изменять параметры грузоподъемного механизма в зависимости от вида рабочего оборудования.

Ключевые слова: грузоподъемный механизм, гидравлическая система, угловая скорость, угловое ускорение.

Уровень совершенства механизмов на стадии проектирования зависит от достоверности расчетных схем и нагрузок. Поэтому при расчете нагрузок, преодолеваемых в момент движения рабочего оборудования гидравлического экскаватора, необходимо оценить влияние параметров грузоподъемного механизма (ГМ) на динамическую нагруженность гидроцилиндра стрелы.

Установлено, что типовые ГМ гидравлических экскаваторов имеют постоянные параметры присоединения гидроцилиндров стрелы к платформе для всех видов рабочего оборудования (РО), что свидетельствует о целесообразности разработки ГМ позволяющего изменять технологические параметры в зависимости от вариации используемого РО [1].

Для решения задачи максимального использования потенциала гидравлического экскаватора разработана конструкция ГМ содержащая дополнительный механизм, позволяющий изменять параметры ГМ в зависимости от вида рабочего оборудования [2].

На рис. 1 приведена расчетная схема параметров ГМ. Исследование параметров ГМ производится на основании математической модели, которая включает в себя [3]:

- определение угловых параметров

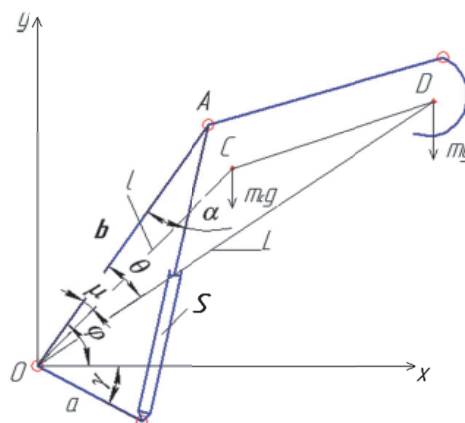


Рис. 1. Расчетная схема грузоподъемного механизма

$$\varphi = \arccos \left[\frac{a^2 + b^2 - S^2}{2ab} \right], \quad (1)$$

$$\alpha = \arcsin \left[\frac{a \sin(\varphi + \gamma)}{S} \right]. \quad (2)$$

- определение угловой скорости и ускорения

$$\omega = \frac{vS}{ab \sin \varphi}, \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{v}{ab} \frac{v \sin \varphi - S \omega \cos \varphi}{\sin^2 \varphi}. \quad (4)$$

- определение суммарной длины гидроцилиндра

$$S = S_0 + vt, \quad (5)$$

где S_0 – минимальная длина гидроцилиндра подъема стрелы, m ; t – время движения, с.

- определение усилия в гидроцилиндре стрелы в момент движения рабочего оборудования

Сушков Сергей Иванович, заведующий кафедрой промышленного транспорта, строительства и геодезии, доктор технических наук. E-mail: kafedra_prom_transporta@list.ru
 Бурмистров Валерий Алфеевич, доцент кафедры Инжиниринга технологических машин и оборудования УГТУ, кандидат технических наук. E-mail: rtimohov@ugtu.net
 Бурмистрова Ольга Николаевна, заведующая кафедрой Технологии и машины лесозаготовок УГТУ, доктор технических наук. E-mail: oburmistrova@ugtu.net
 Тимохов Роман Сергеевич, старший преподаватель кафедры Инжиниринга технологических машин и оборудования. E-mail: rtimohov@ugtu.net

$$F = \frac{[(J_c + mL^2)\varepsilon + g(m_c l \cos(\varphi - \mu) + mL \cos(\varphi - \theta))]}{ab \sin(\gamma + \varphi)} \times \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos(\gamma + \varphi)}, \quad (6)$$

где J_c – момент инерции стреловой группы манипулятора.

Расчетные формулы (1 – 6), представляют собой математическую модель исследования и выбора параметров ГМ, при его движении, а именно параметров установки гидроцилиндра стрелы по критерию снижения величины усилия развиваемого гидроцилиндром стрелы и динамических нагрузок. Математическая модель ориентирована для реализации на ЭВМ с использованием программы написанной на языке Delphi [4], помимо выбора параметров, позволяет исследовать зависимость изменения режимных параметров от любых исходных. Исходными данными являются: $L; l; m_c; m; S_0; \mu; \theta; v$ (см. рис.1).

В ходе исследования параметров ГМ, задаем интервалами изменения параметров установки гидроцилиндра стрелы \mathbf{a} ($a_{j=0} < a < a_{j=n}$), \mathbf{b} ($b_{j=0} < b < b_{j=n}$), γ ($\gamma_{j=0} < \gamma < \gamma_{j=n}$) и поочередно меняем каждый из них, при этом два других соответствуют стандартным значениям параметров ГМ данной размерной группы экскаватора. Процесс исследования параметров заключается в полном переборе вариантов параметров ГМ при изменении одного из параметров и фиксированных значениях двух других.

Такого рода исследование обеспечивает возможность выбора параметров ГМ, в наибольшей степени соответствующих предъявляемым техническим требованиям.

По формулам (1) и (2) определяем углы φ и α , вычисляем суммарную длину S гидроцилиндра подъема стрелы по формуле (5). Определяем угловую скорость ω и угловое ускорение ε стреловой группы, формулы (3) и (4), определяем величину усилия F развиваемого гидроцилиндром стрелы при подъеме рабочего оборудования по формуле (6). Строим графики зависимости ω от t , ε от t и F от t , для значений исследуемого параметра и выбираем его значение исходя из снижения величины усилия развиваемого гидроцилиндром стрелы и динамических нагрузок.

Исследование параметров ГМ гидравлического экскаватора:

1. Параметры a и γ – постоянны и соответствуют аналогу проектируемого ГМ экскаватора. Параметр b равен:

$$b = 2,5 + 0,05j, \quad (7)$$

где $j = 0..10$.

По формулам (1), (2) определяем углы φ и α , вычисляем суммарную длину S гидроцилиндра подъема стрелы по формуле (5). Определяем угловую скорость ω и угловое ускорение

ε стреловой группы, формулы (3), (4). Строим графики зависимости ω от t , ε от t и F от t , для значений параметра согласно уравнению (7), а также графики зависимости ω от b , ε от b и F от b при движении стреловой группы $0 < t < i$. На рис. (2 – 4) представлены зависимости угловой скорости ω , углового ускорения ε и усилия в штоке F от времени t при различных значениях параметра b .

Увеличение параметра b приводит к уменьшению угловой скорости и углового ускорения стрелы и, как следствие, к увеличению динамических нагрузок. Минимальное (по абсолютной величине) усилие в штоке соответствует значениям $b = 2,7 - 2,9$ м.

Влияние параметра b на угловую скорость ω , угловое ускорение ε и усилие в штоке F при различных положениях стрелы отражено на рис. (5 – 7).

Вопреки ожиданиям, перемещение точки A (см. рис. 1) крепления гидроцилиндра вправо приводит к увеличению средних угловой скорости и углового ускорения стрелы. Это объясняется уменьшением плеча AB относительно точки O . Минимальные угловые ускорения, динамические нагрузки и усилие в штоке гидроцилиндра соответствуют значениям $b = 2,7 - 2,9$ м. При значениях $b = 2,95 - 3,0$ м в начальный момент движения ГПМ происходит резкое увеличение динамических нагрузок. Угол качания стрелы при параметре $b = 2,7 - 3,0$ м меняется со 100° до 115° .

2. Параметры b и γ – постоянны и соответствуют аналогу проектируемого ГМ экскаватора. Параметр a равен:

$$a = 0,8 + 0,05j, \quad (8)$$

где $j = 0..10$.

Аналогично, по формулам (1), (2) определяем углы φ и α , вычисляем суммарную длину S гидроцилиндра подъема стрелы по формуле (5). Определяем угловую скорость ω и угловое ускорение ε стреловой группы, формулы (3), (4). Строим графики зависимости ω от t , ε от t и F от t , для значений параметра a согласно уравнения (8), а также графики зависимости ω от a , ε от a и F от a при движении стреловой группы $0 < t < i$.

Зависимости угловой скорости ω , углового ускорения ε и усилия в штоке F от времени t при различных значениях параметра a представлены на рис. (8 – 10).

Как следует из рис. 8, зависимость угловой скорости ω от времени t для малых значений параметра a (кривые 1, 2) носят немонотонный характер.

Минимальные значения ω , ε , F наблюдаются при увеличении (для больших) параметра a .

Влияние параметра a на угловую скорость ω , угловое ускорение ε и усилие в штоке F при различных положениях стрелы отражено на рис. (11 – 13).

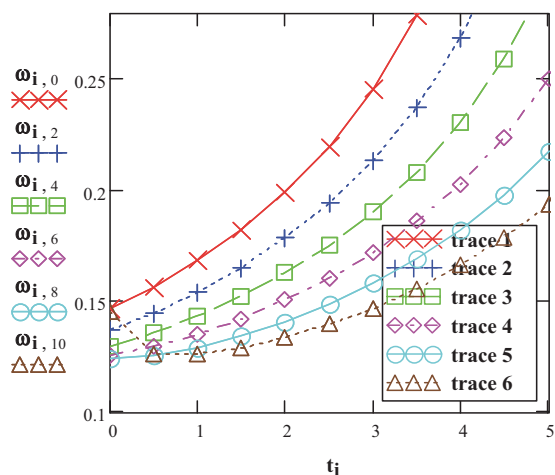


Рис. 2. Зависимость угловой скорости ω от времени t для различных значений параметра b :

1 – $b=2,5$ м; 2 – $b=2,6$ м; 3 – $b=2,7$ м;
4 – $b=2,8$ м; 5 – $b=2,9$ м; 6 – $b=3,0$ м

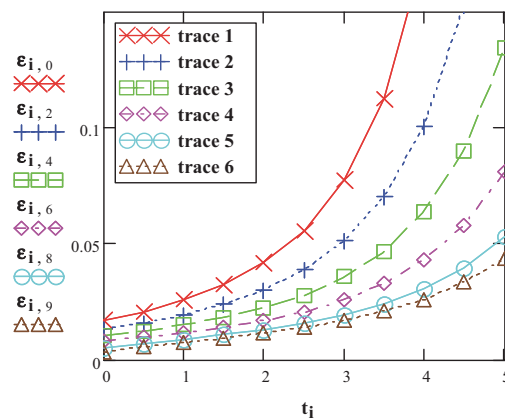


Рис. 3. Зависимость углового ускорения ε от времени t для различных значений параметра b :

1 – $b=2,5$ м; 2 – $b=2,6$ м; 3 – $b=2,7$ м;
4 – $b=2,8$ м; 5 – $b=2,9$ м; 6 – $b=3,0$ м

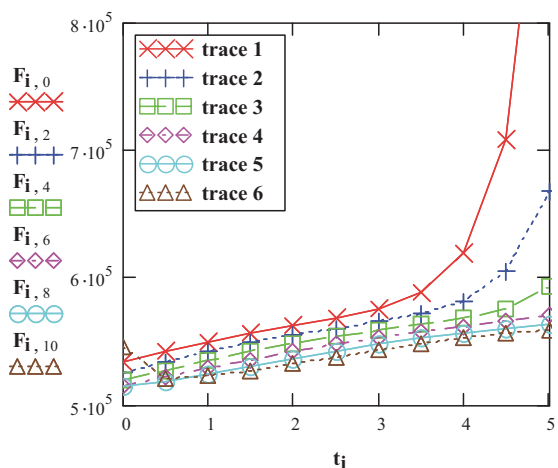


Рис. 4. Зависимость усилия в гидроцилиндре F от времени t для различных значений параметра b :

1 – $b=2,5$ м; 2 – $b=2,6$ м; 3 – $b=2,7$ м;
4 – $b=2,8$ м; 5 – $b=2,9$ м; 6 – $b=3,0$ м

Как следует из рис. 13, область изменения усилий F при $a=1,2$ м почти в два раза меньше соответствующей области при $a=0,8$ м. Параметр a должен быть четко согласован с параметром γ .

3. Параметры a и b – постоянны и соответствуют аналогу проектируемого ГМ экскаватора. Параметр γ равен:

$$\gamma = (38 + 2,5j) \frac{\pi}{180}, \quad (9)$$

где $j=0..10$.

Определяем углы φ и α по формулам (1) и (2), вычисляем суммарную длину S гидроцилиндра подъема стрелы по формуле (5).

Определяем угловую скорость ω и угловое

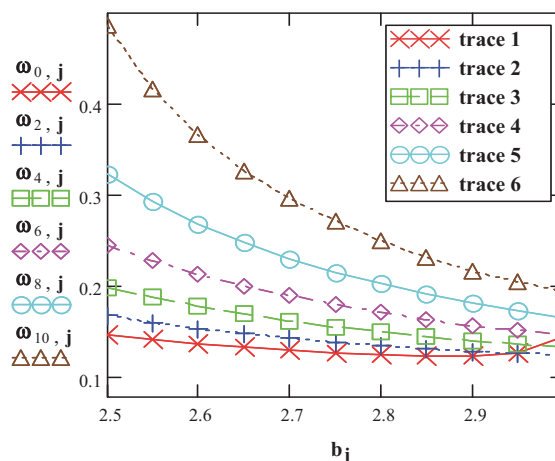


Рис. 5. Зависимость угловой скорости ω от параметра b :

1 – $t=1c$; 2 – $t=2c$; 3 – $t=3c$;
4 – $t=4c$; 5 – $t=5c$; 6 – $t=5c$

ускорение ε стреловой группы, формулы (3), (4). Строим графики зависимости ω от t , ε от t и F от t , для значений угла γ согласно уравнению (9), а также графики зависимости ω от γ , ε от γ и F от γ при движении стреловой группы $0 < t < i$.

Угол γ является важным геометрическим параметром, характеризующим положение гидроцилиндра. Зависимости ω , ε , F от времени t для различных значений γ представлены на рис. (14 – 16).

Наибольший разброс угловой скорости и ускорения в зависимости от угла γ установки гидроцилиндра наблюдается в верхней точке подъема стрелы (рис. 14, рис. 15). На усилии в

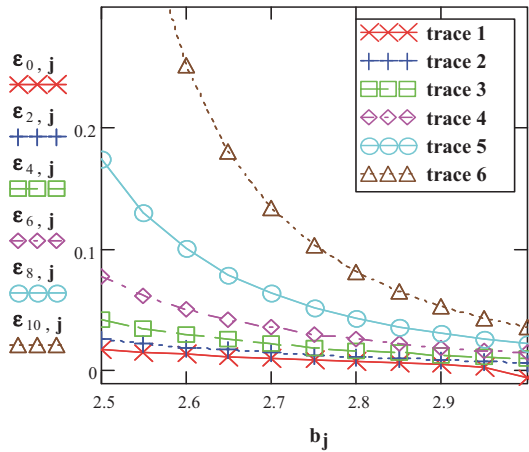


Рис. 6. Зависимость углового ускорения ε от параметра b :
 1 - $t = 1$ с; 2 - $t = 2$ с; 3 - $t = 3$ с;
 4 - $t = 4$ с; 5 - $t = 5$ с; 6 - $t = 5$ с

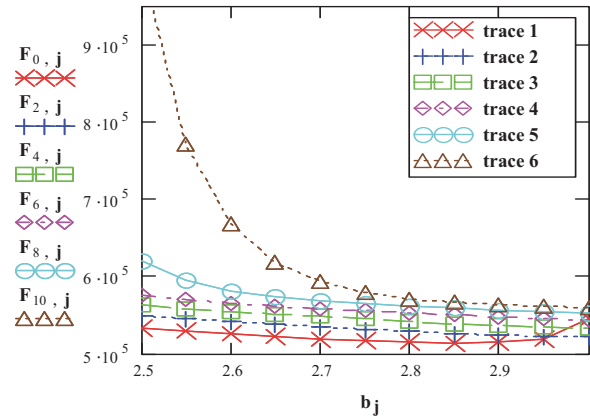


Рис. 7. Зависимость усилия в гидроцилиндре F от параметра b :
 1 - $t = 1$ с; 2 - $t = 2$ с; 3 - $t = 3$ с;
 4 - $t = 4$ с; 5 - $t = 5$ с; 6 - $t = 5$ с

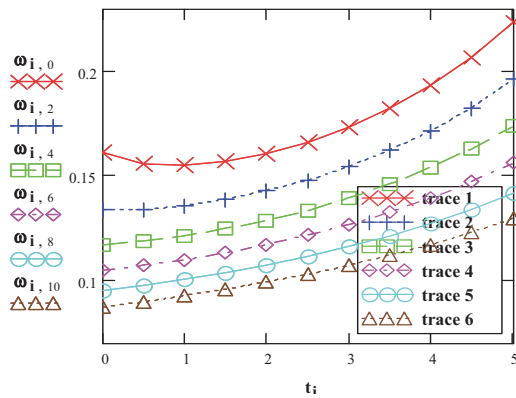


Рис. 8. Зависимость угловой скорости ω от времени t для различных значений параметра a :
 1 - $a = 0,8$ м; 2 - $a = 0,9$ м; 3 - $a = 1,0$ м;
 4 - $a = 1,1$ м;
 5 - $a = 1,2$ м; 6 - $a = 1,3$ м

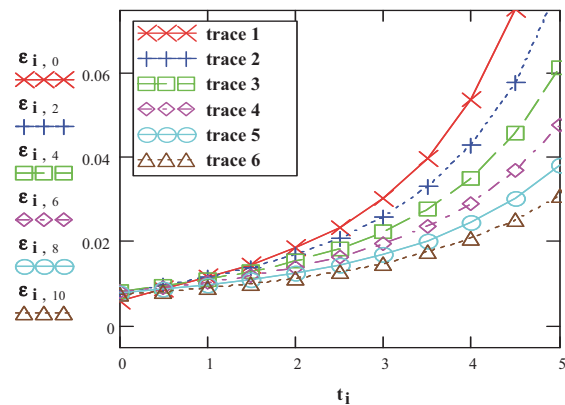


Рис. 9. Зависимость углового ускорения ε от времени t для различных значений параметра a :
 1 - $a = 0,8$ м; 2 - $a = 0,9$ м; 3 - $a = 1,0$ м;
 4 - $a = 1,1$ м; 5 - $a = 1,2$ м; 6 - $a = 1,3$ м

гидроцилиндре угол γ оказывает существенное влияние (рис.16), при значительном увеличении угла $\gamma = 50 - 60^\circ$, наблюдается возрастание усилия, развиваемого гидроцилиндром. Это объясняется уменьшением плеча АВ относительно точки О. Уменьшение угла γ дает снижение усилия, развиваемого гидроцилиндром. Таким образом, увеличение и уменьшение угла γ в момент движения дают зеркальное отображение по показателю развиваемого усилия гидроцилиндром, соответственно. Параметр γ в меньшей степени влияет на режимы движения ГМ, однако он должен быть согласован с параметром a .

На рис. 17 - 19 представлены зависимости ω , ε , F от угла γ при различных положениях стрелы.

Минимальные динамические нагрузки и усилия в штоке наблюдаются при значениях $\gamma = 38 - 50^\circ$. Угол γ рекомендуется принимать

для прямой лопаты меньшим нежели, чем для обратной.

Исследование параметров ГМ, проводить с учетом наиболее благоприятных условий по динамическим нагрузкам и усилиям в штоке гидроцилиндра подъема стрелы для различных видов рабочего оборудования, каждый из параметров при этом уточняется.

Для обратной лопаты со стандартным видом рабочего оборудования наиболее благоприятны следующие значения параметров ГМ: $\gamma = 45 - 50^\circ, b = 2,7 - 2,9$ м, $a = 1,1 - 1,2$. Для прямой лопаты параметры ГМ следующие: $\gamma = 38 - 45^\circ, \gamma = 38 - 45^\circ, b = 2,6 - 2,8$ м, $a = 1,0 - 1,1$ м. При изменении геометрических параметров рабочего оборудования параметры ГМ рационально изменять.

Исходя из выполненного исследования, следует, что наиболее существенное значение при

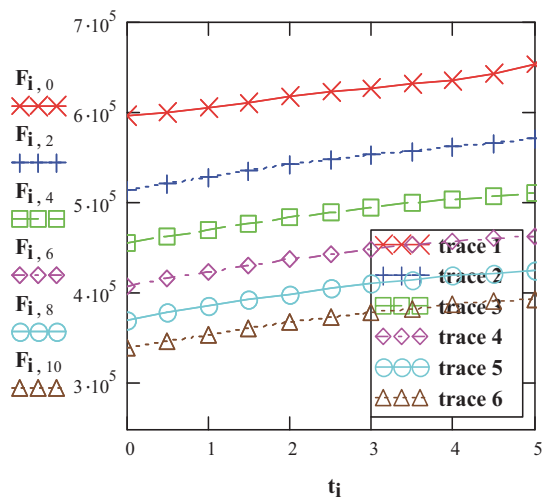


Рис. 10. Зависимость усилия в штоке F от времени t для различных значений параметра a :
 1 - $a = 0,8$ м; 2 - $a = 0,9$ м; 3 - $a = 1,0$ м;
 4 - $a = 1,1$ м; 5 - $a = 1,2$ м; 6 - $a = 1,3$ м

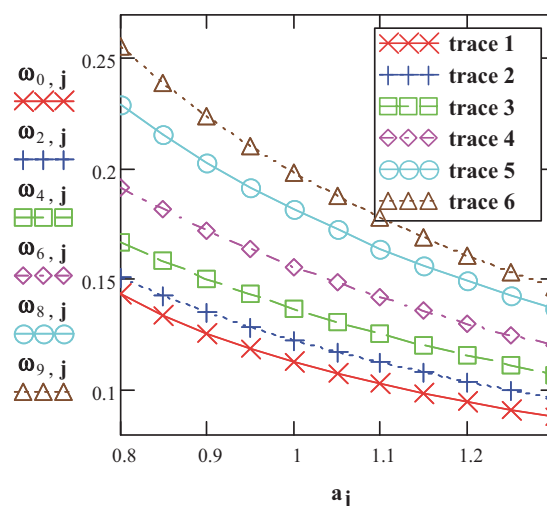


Рис. 11. Зависимость угловой скорости ω от параметра a :
 1 - $t = 1$ с; 2 - $t = 2$ с; 3 - $t = 3$ с; 4 - $t = 4$ с;
 5 - $t = 5$ с; 6 - $t = 5$ с

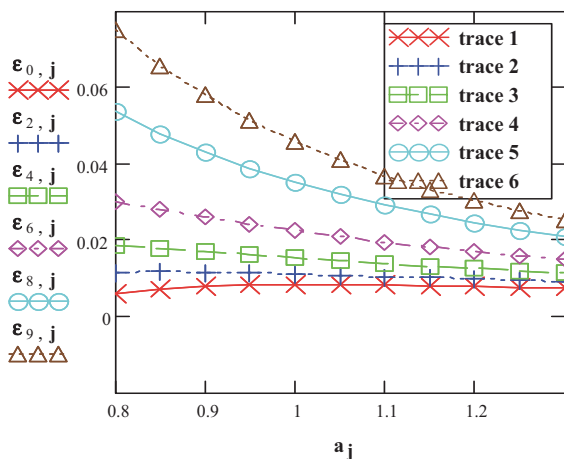


Рис. 12. Зависимость углового ускорения ϵ от параметра a :
 1 - $t = 1$ с; 2 - $t = 2$ с; 3 - $t = 3$ с; 4 - $t = 4$ с;
 5 - $t = 5$ с; 6 - $t = 5$ с

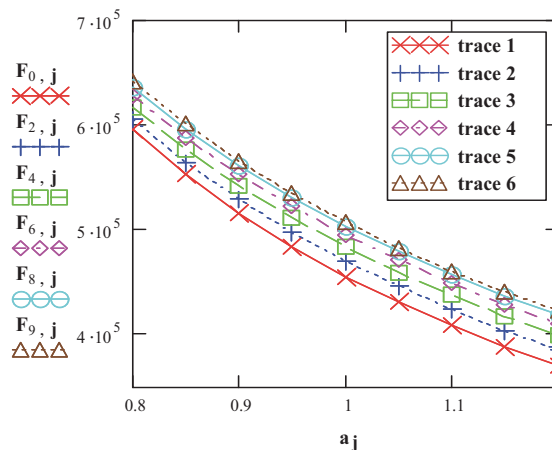


Рис. 13. Зависимость усилия в гидроцилиндре F от параметра a :
 1 - $t = 1$ с; 2 - $t = 2$ с; 3 - $t = 3$ с; 4 - $t = 4$ с;
 5 - $t = 5$ с; 6 - $t = 5$ с

снижении динамических нагрузок и усилия в гидроцилиндре стрелы оказывает параметр a , незначительное изменение параметра b необходимо при применении различных видов рабочего оборудования удлиненного исполнения, параметр γ рационально менять для прямой и обратной лопаты в силу специфики производства ими земляных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сушков С.И., Макеев В.Н., Плешков Д.Д. Анализ конструктивных особенностей грузоподъемных механизмов гидравлических экскаваторов // Строительные и дорожные машины. 2012. № 6. С. 13 – 15.

2. Сушков С.И., Макеев В.Н. Методика определения оптимального уровня инерционности и коэффициента надежности транспортно-грузового процесса лесопромышленного предприятия // Строительные и дорожные машины. 2017. № 3. С. 60-63.
3. Макеев В.Н., Плешков Д.Д. Исследование и выбор параметров грузоподъемного механизма гидравлического экскаватора // Строительные и дорожные машины. 2010. № 9. С. 24 – 25.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2008613799 РФ. Программа расчета режимных параметров стрелоподъемного механизма гидравлического экскаватора / Д.Д. Плешков, патентообладатель ВГЛТА. № 2008612575. Заявл. 16.06.2008. Оpubл. 08.08.2008. Бюл. № 9.

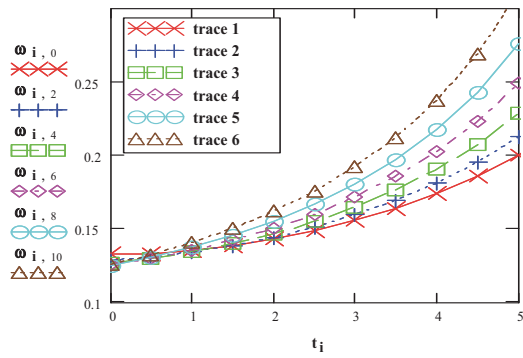


Рис. 14. Зависимость угловой скорости ω от времени t для различных значений углов γ :
 1 - $\gamma=38^\circ$; 2 - $\gamma=43^\circ$; 3 - $\gamma=48^\circ$; 4 - $\gamma=53^\circ$; 5 - $\gamma=58^\circ$; 6 - $\gamma=63^\circ$

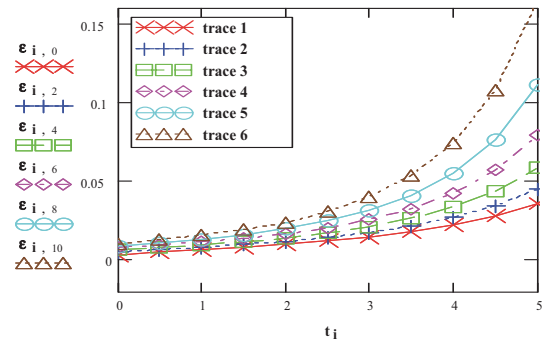


Рис. 15. Зависимость углового ускорения ε от времени t для различных значений углов γ :
 1 - $\gamma=38^\circ$; 2 - $\gamma=43^\circ$; 3 - $\gamma=48^\circ$; 4 - $\gamma=53^\circ$;
 5 - $\gamma=58^\circ$; 6 - $\gamma=63^\circ$

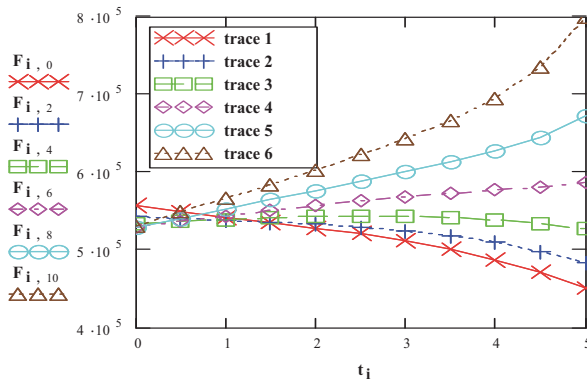


Рис. 16. Зависимость усилия в штоке F от времени t для различных значений углов γ :
 1 - $\gamma=38^\circ$; 2 - $\gamma=43^\circ$; 3 - $\gamma=48^\circ$; 4 - $\gamma=53^\circ$;
 5 - $\gamma=58^\circ$; 6 - $\gamma=63^\circ$

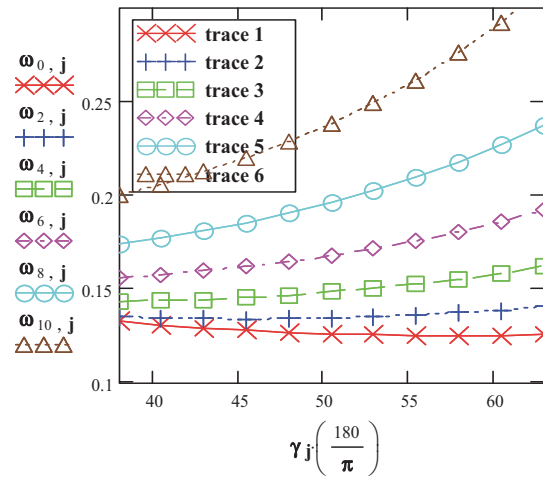


Рис. 17. Зависимость угловой скорости ω от угла γ для различных положений стрелы:
 1 - $t=1\text{ c}$; 2 - $t=2\text{ c}$; 3 - $t=3\text{ c}$; 4 - $t=4\text{ c}$;
 5 - $t=5\text{ c}$; 6 - $t=5\text{ c}$

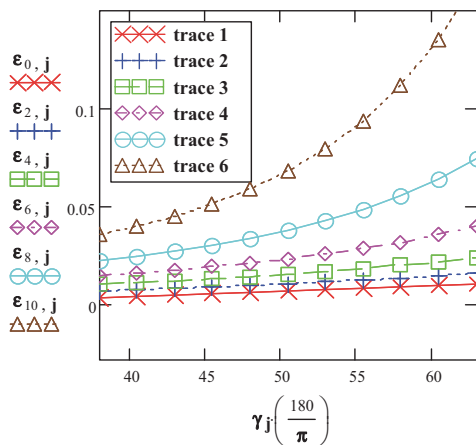


Рис. 18. Зависимость углового ускорения ε от угла γ для различных положений стрелы:
 1 - $t=1\text{ c}$; 2 - $t=2\text{ c}$; 3 - $t=3\text{ c}$; 4 - $t=4\text{ c}$;
 5 - $t=5\text{ c}$; 6 - $t=5\text{ c}$

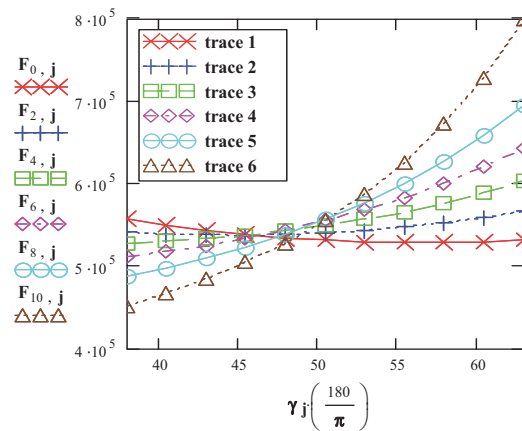


Рис. 19. Зависимость усилия в штоке F от угла γ при различных положениях стрелы:
 1 - $t=1\text{ c}$; 2 - $t=2\text{ c}$; 3 - $t=3\text{ c}$; 4 - $t=4\text{ c}$; 5 - $t=5\text{ c}$;
 6 - $t=5\text{ c}$

IMPROVING THE HYDRAULIC WORK EQUIPMENT OF ROAD-BUILDING MACHINES

© 2019 S.I. Sushkov¹, O.N. Burmistrov², V.A. Burmistrov², R.S. Timokhov²

¹ Voronezh State Forestry University

² Ukhta State Technical University

The presented article provides a solution to the problem of maximizing the potential of a hydraulic excavator, by developing the design of a lifting mechanism. This design contains an additional mechanism that allows you to change the parameters of the lifting mechanism, depending on the type of working equipment.

Keywords: lifting mechanism, hydraulic system, angular velocity, angular acceleration.

Sergey Sushkov, Head of the Department of Industrial Transport, Construction and Geodesy, Doctor of Technical Sciences. E-mail: kafedra_prom_transporta@list.ru

Valeriy Burmistrov, Associate Professor of the Department of Engineering of Technological Machines and Equipment of the Ural State Technical University. E-mail: rtimohov@ugtu.net

Olga Burmistrova, Head of the Department of Technologies and Logging of the USTU, Doctor of Technical Sciences. E-mail: oburmistrova@ugtu.net

Roman Timokhov, Senior Lecturer, Department of Engineering of Technological Machines and Equipment. E-mail: rtimohov@ugtu.net