

На основании определённых и технически реализуемых законов непрерывного изменения скорости землеройных ТА определены и соответствующие им законы изменения мощности. При этом если непрерывную скорость этих агрегатов определяют как производную от оптимального объёма призмы грунта при постоянной длине бульдозерного отвала, то мощность на рабочем участке копания необходимо изменять по параболическому закону с достижением обязательного и безусловного максимума.

Список литературы

1. Погуляев Ю.Д., Серажева М.П. О квазиоптимальном управлении энергетическими режимами тракторных агрегатов // Строительные и дорожные машины. 2010. № 7. 41–44.
2. Погуляев Ю.Д., Серажева М.П. О квазиоптимальном управлении энергетическими режимами тракторных агрегатов. Ч.2 // Строительные и дорожные машины. 2010. № 8. С. 36–39.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1984. 831 с.
4. Погуляев Ю.Д., Наумов В.Н. Оптимальное управление мобильными агрегатами. Монография // Российская академия наук. УрО РАН. ВАК РФ. Межрегиональный Совет по науке и технологиям. Институт управления и экономики. Екатеринбург, 2004. 265 с.
5. Погуляев Ю.Д. Форсирование тракторного агрегата. Монография // Министерство науки и образования Российской Федерации. Российская академия наук. УрО РАН. ВАК РФ. Межрегиональный Совет по науке и технологиям. Институт управления и экономики. Екатеринбург, 2004. 146 с.
6. Погуляев Ю.Д. Повышение производительности машинно-тракторных агрегатов на основе оптимального и квазиоптимального управления энергетическими режимами: Дис. ... д-ра. техн. наук. Челябинск, 2006. 429 с.

Y.D. Pogulyaev, M.P. Serazheva
About the the quasioptimal control of energetic regimes of tractors aggregates.

The article deals with devoted to the quasioptimal control of energetic regimes of tractors aggregates.

The keywords: quasioptimal, control, energetic, regime, tractor, aggregate.

СДМ

Резание грунта является составной частью рабочего процесса многих машин: землеройно-транспортных, фрезерных, щелерезных, сельскохозяйственных, траншеекопателей, а также техники для разработки полезных ископаемых. Поскольку рабочий процесс этих машин характеризуется относительно высокими затратами энергии, то очень важно исследовать возможные варианты совершенствования рабочего оборудования с целью снижения энергоёмкости процесса в целом. Одним из таких путей, которому на современном этапе развития техники не уделяется достаточного внимания, является снижение трения между рабочей поверхностью режущего инструмента и перемещающимся по ней грунтом.

Этот вопрос достаточно широко исследовался в 60–80-е гг. прошлого века. Для снижения трения использовались различные типы покрытий с низким коэффициентом трения, а также физические методы воздействия на необходимые элементы рабочего оборудования. Так, применительно к бульдозерному отвалу, исследовались керамические и полимерные покрытия его рабочих поверхностей, а из физических методов [1] – использование электроосмоса, вибрации, газовой смазки, магнестрикционных устройств и др.

Анализ патентно-информационных источников позволил сделать вывод о том, что, несмотря на огромный накопленный материал, исследования в этой области нельзя считать завершёнными. Это подтверждается и тем, что в настоящее время в других сегментах строительства увеличивается объём публикаций, посвящённых проблемам снижения трения о грунт за счёт поверхностных покрытий – при погружении в грунт свай, колец и других строительных элементов, а также в других областях техники. Второй вывод – если результаты исследования антифрикционных покрытий характеризуют

Влияние трения грунта по поверхности ножа на сопротивление резанию

снижение сопротивления за счёт уменьшения трения между грунтом и рабочей поверхностью технологического оборудования, то результаты исследования воздействия физических методов приводятся обычно в общем виде, без чёткой дифференциации, какой эффект получен благодаря снижению сил трения по поверхности ножа, а какой — благодаря изменению физико-механических свойств грунта.

Главными причинами потери интереса к данной проблеме являлись низкая долговечность покрытий, громоздкость оборудования для использования физических методов воздействия, а также вредное влияние некоторых из них, например, вибрации, на машину и необходимость защиты оператора от такого влияния.

В последние годы достигнуты значительные успехи в области создания материалов с заданными свойствами. Это способствует созданию антифрикционных материалов с высоким уровнем износостойкости для покрытия рабочего оборудования землеройных машин, что позволяет вновь обратиться к более глубокому теоретическому изучению проблемы снижения сил трения, что, в свою очередь, возможно лишь при наличии метода расчёта, идентичного рабочему процессу по параметрам, доступным проверке экспериментальными исследованиями.

Исследуем этот процесс на основе метода, рассматривающего разрушение грунта как процесс, состоящий из двух последовательных фаз: разрушения грунта в первой фазе внедряемой в него рабочей части исполнительного механизма (ножа) и дальнейшего его разрушения во второй фазе под воздействием давлений, возникающих при вытеснении отделённого при первой фазе элемента стружки [2]. Метод сводится к определению устойчивости откоса против дальнейшего его разрушения от действующего на него в момент сдвига давления и основан на использовании положений, предложенных учёными С. Garbotz и G. Drees [3], и методе расчёта угла сдвига по граничным условиям [2].

Использование этого метода позволяет наряду с силовыми показателями опреде-

лить и размерно-геометрические параметры грунта, перемещаемого по ножу, так как известны угол сдвига, размеры ножа и толщина срезаемой стружки, что позволяет оценивать его соответствие экспериментальным данным по всем параметрам, доступным измерению. Принятый метод расчёта успешно зарекомендовал себя при исследовании лобового и косо́го резания грунта [2].

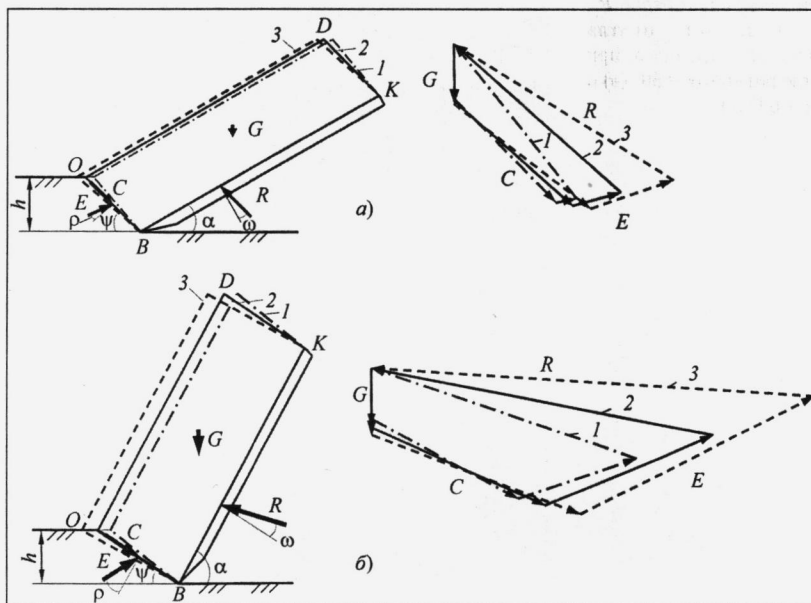
Применительно к наиболее простому процессу лобового резания суть метода сводится к следующему. Из условий равновесия грунтового фрагмента $OBKD$ (рис. 1) получим силу E_{\max} , действующую со стороны площадки сдвига, и силу R_{\max} , действующую со стороны ножа:

$$E_{\max} = \frac{G \sin(\alpha + \omega) - C_{OB} \cos(\alpha + \omega + \psi)}{\sin(\alpha + \omega + \psi + \rho)}; \quad (1)$$

$$R_{\max} = \frac{E_{\max} \sin(\psi + \rho) + C_{OB} \cos \psi}{\sin(\alpha + \omega)}, \quad (2)$$

где G — вес фрагмента $OBKD$; C_{OB} — сила сцепления грунта, действующая в момент сдвига по площадке OB ; α и ψ — углы соответственно резания и сдвига; ω и ρ — углы соответственно внешнего и внутреннего трения.

Рис. 1. Масштабные схемы резания и многоугольники сил при углах резания $\alpha = 30^\circ$ (а) и $\alpha = 60^\circ$ (б): 1 — $\omega = 5^\circ$; 2 — $\omega = 15^\circ$; 3 — $\omega = 25^\circ$



Силы, входящие в уравнения (1) и (2), определяются по следующим формулам:

$$G = Blh\rho_r g \frac{\sin(\alpha + \psi)}{\sin\psi}; \quad (3)$$

$$C_{OB} = \frac{Bch}{\sin\psi}; \quad (4)$$

где B — ширина ножа; ρ_r — плотность грунта в его фрагменте $OBKD$; l — длина ножа; h — толщина стружки; c — удельное сцепление грунта.

Угол сдвига ψ определяется по граничным условиям на поверхности грунта и площадке сдвига OB следующим образом:

$$\text{если } A > 1, \text{ то } \psi = \frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2} - \frac{\text{ctg}\rho}{2} \ln A, \quad (5)$$

$$\text{если } A < 1, \text{ то } \psi = \frac{3}{4}\pi - \frac{\rho}{2} + \Delta_P, \quad (6)$$

$$\text{где } \Delta_P = \arcsin \frac{\sin \delta_P}{\sin \rho};$$

$$\delta_P = -\arccos \left[\frac{\cos \rho (1 + A)}{2\sqrt{A}} \right]. \quad (7)$$

При этом

$$A = \frac{q}{H} \frac{1 - \sin \rho}{\cos \rho}, \quad (8)$$

где q — приведённое давление, действующее на площадку OB в момент сдвига; H — давление связности.

Последние параметры определяются по следующим формулам:

$$q = \frac{E_{\max}}{Bh} \sin \psi + \frac{c}{\sin \rho}; \quad (9)$$

$$H = \frac{c}{\text{tg}\rho}. \quad (10)$$

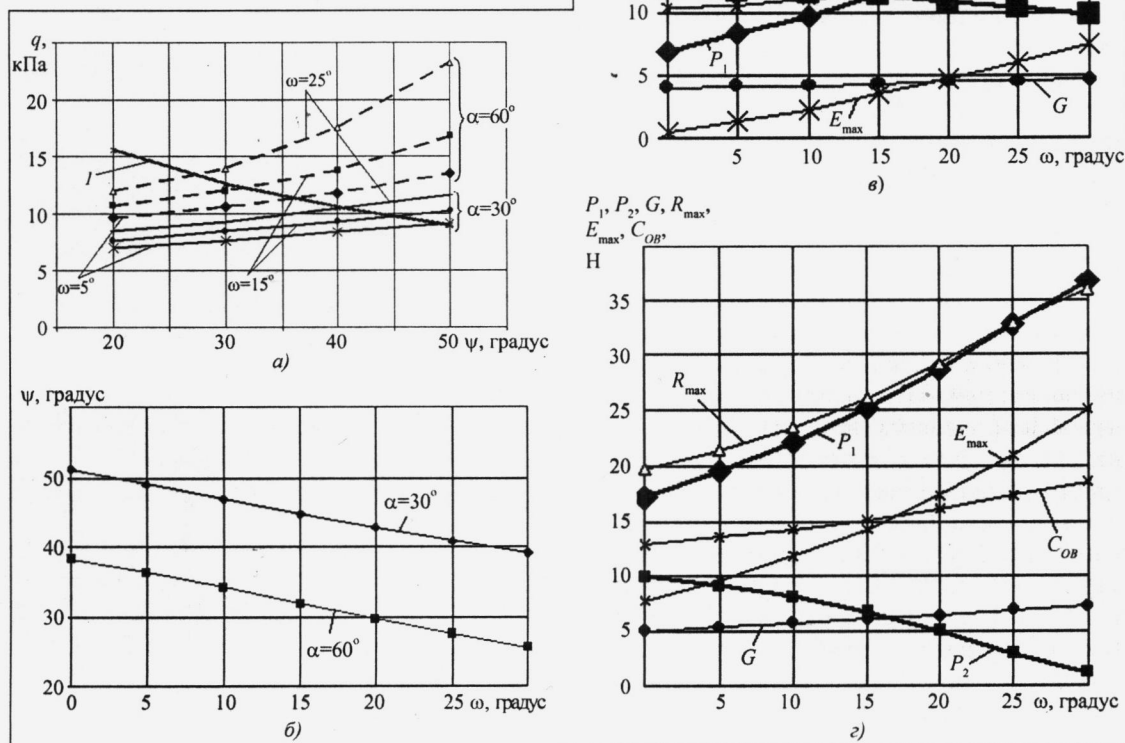
Таким образом, угол сдвига ψ определяется из решения системы уравнений (1)–(10).

При известном значении силы R_{\max} касательная P_1 и нормальная P_2 составляющие сопротивления копанью определяются из следующих формул:

$$P_1 = R_{\max} \sin(\alpha + \omega); \quad P_2 = R_{\max} \cos(\alpha + \omega).$$

Анализ выражений (1)–(10) и векторных многоугольников сил (см. рис. 1), а также графическое решение этой системы и результаты расчётов (рис. 2) показывают, что внешнее трение грунта по ножу изменяет величину приведённого давления q , действующего на площадку сдвига, а следовательно, и положение этой площадки, определяемое углом сдвига ψ (см. рис. 2, а). Величина угла сдвига ψ находится на точке пересечения кривой I ,

Рис. 2. Зависимости давления q от угла сдвига ψ (а), угла сдвига ψ от угла внешнего трения ω (б) и силовых параметров P_1 , P_2 , G , R_{\max} и C_{OB} от угла внешнего трения ω при угле резания $\alpha = 30^\circ$ (в) и $\alpha = 60^\circ$ (г)



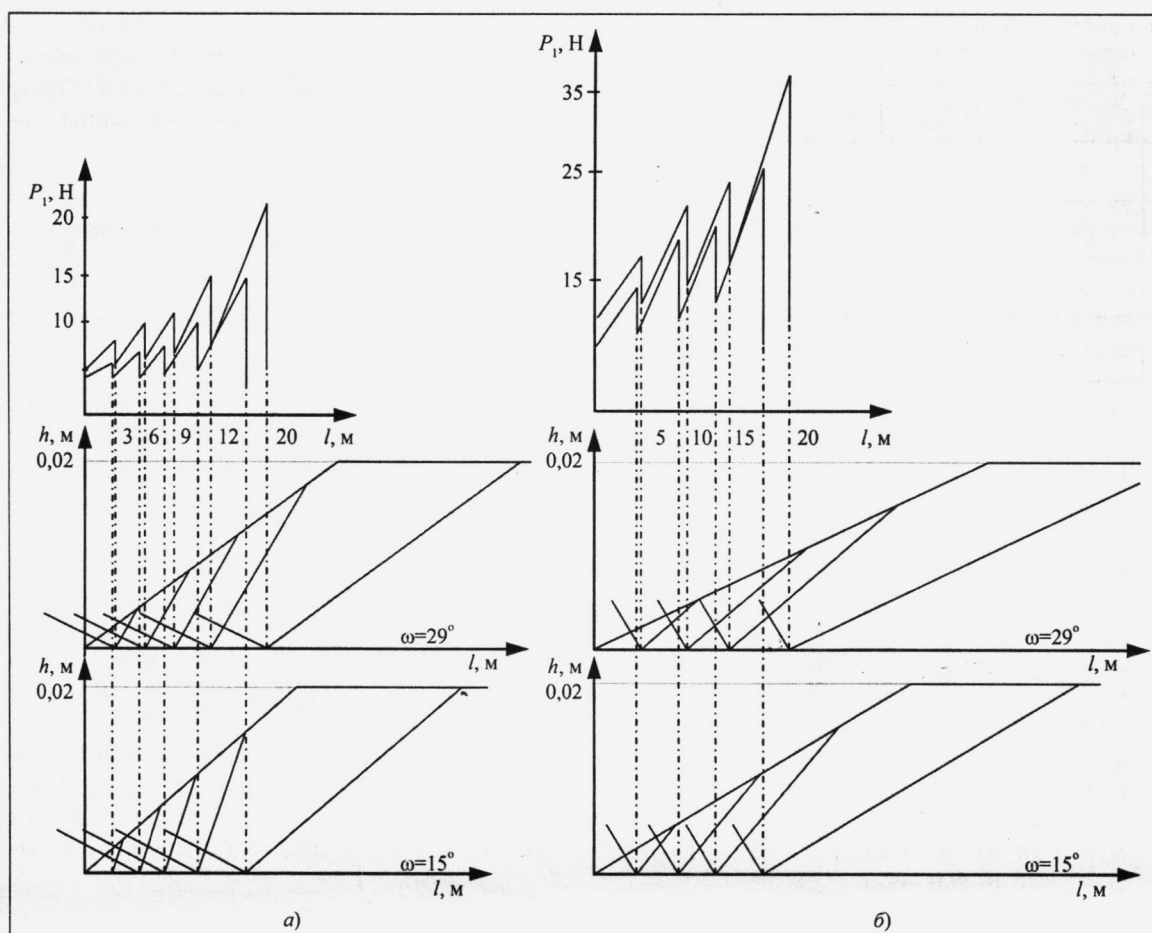


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика и масштабные схемы разрушения грунта при угле резания $\alpha = 30^\circ$ (а) и $\alpha = 60^\circ$ (б) для металлического ножа без покрытия ($\omega = 29^\circ$) и с покрытием из пластика ($\omega = 15^\circ$)

характеризующей устойчивостью площадки сдвига OB и полученной по уравнениям (5)–(8), (10), с остальными кривыми, полученными при разных значениях угла внутреннего трения ω и угла резания α по уравнениям (1)–(4), (9).

Расчёты проводились для ножа шириной $B = 0,1$ м, длиной $l = 0,1$ м, образующего стружку толщиной $h = 0,02$ м, при двух значениях угла резания $\alpha = 30$ и 60° на грунте со следующими физико-механическими свойствами: $\rho = 28^\circ$; $\rho_r = 16$ кН/м³; $c = 4$ кПа для разных значений угла внешнего трения ω .

Таким образом, изменение трения между ножом и грунтом приводит к изменению положения площадки сдвига, а следовательно, к изменению параметров, характеризующих взаимодействие системы *нож–грунт* точно так же, как к этому приводит и изменение геометрических размеров ножа.

Результаты теоретических исследований влияния угла внешнего трения ω на некоторые силовые параметры, приведённые на рис. 2, в и г позволяют оценить влияние внешнего трения как на касательную P_1 и нормальную P_2 составляющие сопротив-

ления копания, так и на другие силовые параметры, рассчитанные по рассмотренному методу.

В работе [2] отмечено, что для оценки взаимодействия рабочего органа с грунтом, перемещаемым по нему, достаточно рассмотреть процесс при большом сдвиге, так как именно при таком сдвиге формируются размеры грунтового потока, а следовательно, и все основные факторы, характеризующие это взаимодействие. Если же необходимо получить амплитудно-частотную характеристику нагруженности рабочей поверхности режущего инструмента, то нужно рассматривать как большие, так и малые сдвиги.

Такие исследования были проведены с помощью специального метода расчёта [4], базирующегося на изложенных принципах. Результаты расчётов, выполненных для металлического ножа без покрытия и с покрытием из пластика, приведены на рис. 3, а и б, из которых видны характер изменения касательной составляющей P_1 сопротивления резанию и положение площадок малых и больших сдвигов за цикл между двумя

Результаты измерения коэффициента трения и расчётов параметров сопротивления резанию

Материал	Металл	Крашенный металл	Пласт-масса	Пластик	Вибрирующий металл
Коэффициент трения μ	0,56	0,53	0,47	0,28	0,14
Угол трения φ , градус	29	28	25	15	7,5
Угол сдвига ψ , градус	39	39,4	40,9	44,8	48
P_1 , Н	16,4	16	14,8	11,3	9
P_2 , Н	10	10	10,4	11,3	11,7

соседними большими сдвигами при установившемся процессе резания. Анализ этих графиков свидетельствует о том, что влияние угла внешнего трения ω наиболее существенно на амплитуду колебаний сил и незначительно на частоту их появлений.

Таким образом, исследования по методам [2, 4] позволяют оценить эффективность конструктивных способов снижения трения между ножом и грунтом аналитическими расчётами, без проведения экспериментальных исследований. Необходимо только определить коэффициент трения между грунтом и ножом с новым покрытием или с новым способом снижения трения. Исключение дорогостоящей измерительной аппаратуры позволяет в значительной степени снизить стоимость таких экспериментов. Дальнейшая оценка новой разработки будет сводиться к её анализу и оптимизации геометрических параметров режущего инструмента по изложенной методике. Экспериментальные исследования будут необходимы лишь для оценки работоспособности и долговечности используемого метода снижения сил трения по поверхности рабочего органа.

На основании изложенного были проведены предварительные опыты по измерению коэффициента трения между грунтом и разными материалами, который определялся отношением силы, необходимой для перемещения предмета по грунту, к весу предмета. Эти эксперименты показали, что влияние типа и шероховатости поверхности материала на коэффициент трения очень сильное, о чём можно судить по результатам, приведённым в таблице, в которой приведены значения угла сдвига ψ и составляющих сопротивления копания P_1 и P_2 для условного ножа из исследуемых материалов, имеющего размеры, приведённые ранее, при $\alpha = 30^\circ$.

Приведённые результаты достаточно убедительно показывают, что за счёт при-

менения специальных покрытий или иных способов снижения трения между грунтом и рабочей поверхностью ножа силу сопротивления резанию можно значительно уменьшить.

Выводы:

- одним из важных факторов, на который может повлиять человек, является трение между грунтом и рабочей поверхностью специализированного оборудования;
- количественная оценка влияния этого фактора на сопротивление резанию и другие параметры резания грунта в технической литературе практически отсутствуют;
- использованные авторами методы расчёта позволяют оценить влияние трения не только на силовые, включая и амплитудно-частотную характеристику, но и на геометрические параметры процесса резания;
- значительного снижения сопротивления резанию можно достигнуть использованием наплавов из материалов с низким коэффициентом трения или вибрации рабочих элементов;
- необходимо выяснить, какие параметры вибрации оказывают максимальное влияние на трение между рабочими поверхностями режущего оборудования и грунтом с целью рационального использования вибрации при проведении землеройных работ.

Список литературы

1. Баловнев В.И. Дорожно-строительные машины с рабочими органами интенсифицирующего действия. М: Машиностроение, 1981. 223 с.
2. Берестов Е.И., Смоляр А.П. Современные проблемы и методы расчёта сопротивления грунта резанию (обзор) // Изв. национальной академии наук Беларуси. Серия физ.-техн. наук. № 3. 2005. С. 44–49.
3. Garbotz C., Drees G. Untersuchungen über das Kraftspiel an Flachbagger-Schneidwerkzeugen in Mittelsand und schwach bindigem, sandigem Schluff unter besonderer Berücksichtigung der Planierschilde und ebenen Schurfkubelschneiden // Im Buch: Forschungsberichte des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westfalen, Köln und Opladen, 1958, Nr. 430, S. 156.
4. Берестов Е.И. Сопротивление грунтов резанию // Изв. Вузов. Строительство. 1997. № 10. С. 102–107.