

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ
ВНЕДРЕНИЮ ИНСТРУМЕНТА В МЕРЗЛЫЙ ГРУНТ**

Процесс разрушения грунтов рабочими органами траншейных экскаваторов рассмотрен как совокупность стадии образования зоны пластических деформаций и стадии последующего отделения крупных элементов мерзлого грунта. Рассмотрены возможные схемы резания, от свободного до заблокированного, получены рекомендации по значениям коэффициента энергоемкости в функции угла резания грунта.

Ключевые слова: мерзлые грунты, землеройно-транспортные машины, пластические деформации, константа пластичности.

Процесс разрушения мерзлых грунтов поступательно движущимся инструментом землеройно-транспортных машин в соответствии с исследованиями [1, 2, 3] может быть разбит на два этапа деформирования. Первый этап – образование и развитие зоны пластических деформаций перед инструментом. Второй этап характеризуется отделением крупных элементов, вызванным повышением напряжений в упругой зоне до критической величины.

Для решения задачи о резании мерзлого грунта поступательно движущимся инструментом можно использовать модель плоской деформации жестко-пластического тела при неустановившемся пластическом течении с геометрическим подобием [2].

Мерзлый грунт в зависимости от его типа и состояния может вести себя как материал, обладающий различной степенью сжимаемости, т. е. может быть практически несжимаемым или обладать способностью сжиматься до перехода в пластическое состояние.

В обоих случаях процесс разрушения грунта рассматривается как частный случай внедрения соответствующего штампа в жестко-пластическую среду, ограниченную плоскостью.

Используем некоторые обозначения, принятые в работе [2] при рассмотрении задачи о давлении клинообразного штампа на вырез в жестко-пластической полуплоскости:

k – константа пластичности, равная пределу текучести грунта при сдвиге τ_{max} .

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2},$$

где σ_1, σ_2 – главные нормальные напряжения;

$$\varphi = \Theta + \frac{\pi}{4},$$

где φ – угол наклона наибольшей главной компоненты напряжения к оси X ; Θ – угол раствора центрированного поля.

На рис. 1, 2 показаны схемы резания грунта инструментом, подобным режущим элементам рабочих органов землеройных машин по оси. В качестве допущений принимаем: инструмент острый и абсолютно жесткий, объемные силы равны нулю.

На рисунках обозначены: α_p – угол резания инструмента, PA_0 – длина контакта режущей кромки (далее обозначим через a), α, β – параметры двух ортогональных семейств линий скольжения. Пунктирными линиями показаны возможные варианты поверхностей, по которым происходит отделение элементов грунта с углом α' .

Начало прямоугольных координат принято в т. 0, соответствующей моменту отделения последнего крупного элемента. При этом образуется поверхность ОС, наклонная к оси x – к текущей координате режущей кромки, под углом α' . Область $A_0A_1A_2A_3P$ перед резцом находится в пластическом состоянии и развивается геометрически подобно самой себе [2].

* – автор, с которым следует вести переписку.

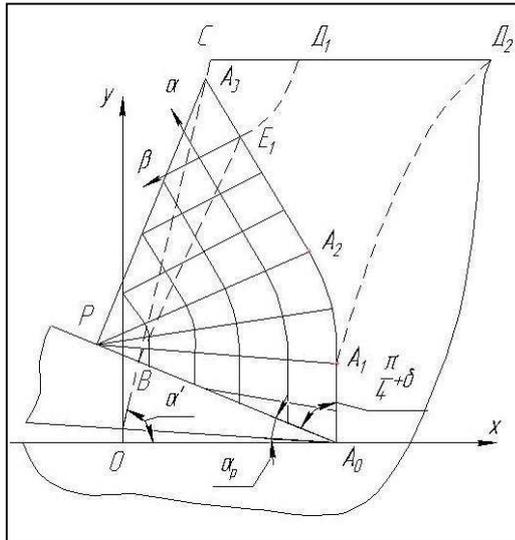


Рис. 1. Расчетная схема резания при угле резания при $\delta \geq \pi/2 - \alpha_p$.

Максимальное трение T на поверхности PA_0 контакта инструмента с грунтом находим по формуле [2]

$$T = k \cdot \sin 2\delta, \quad 0 \leq \delta \leq \pi/4 \quad (1)$$

Угол δ связан с углом Θ соотношением

$$\Theta = (1 - \chi) \pi/4 + \chi \cdot \delta + n \cdot \pi,$$

где $\chi = \pm 1$, n – целое число.

В случае несжимаемого грунта материал выдавливается в сторону свободной поверхности. Граница PA_3 может быть аппроксимирована прямой линией. Исходя из принятых допущений, строим поля линий скольжения. Поле на рис. 1 соответствует условию $\delta < \pi/2 - \alpha_p$, удовлетворяющему основным значениям углов резания, поле на рис. 2 – условию $\delta \geq \pi/2 - \alpha_p$.

Используя зависимости [2], определяем распределение нормальных σ_n и касательных напряжений τ_{nt} на контактной прямой A_0P .

Удельное сопротивление движению инструмента (резанию) $P_{уд}$, приходящееся на единицу ширины инструмента, равно:

$$P_{уд} = a \cdot (\sigma_n \cdot \sin \alpha_p + \tau_{nt} \cdot \cos \alpha_p) = -p_o \cdot a \cdot \sin \alpha_p, \quad (2)$$

где p_o – сила давления острого штампа (резания острого резца), которая уравнивается нормальными и касательными напряжениями на контактной прямой.

В свою очередь:

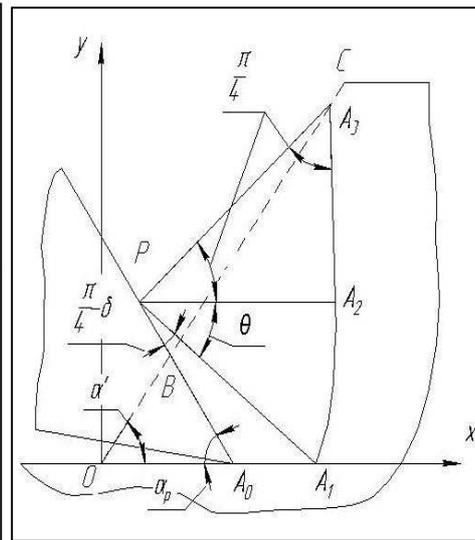


Рис. 2. Расчетная схема резания при угле резания $\delta < \pi/2 - \alpha_p$.

$$P_o = 2k [\Theta + \cos \delta \cdot \sin(\alpha_p + \delta) / \sin \alpha_p]$$

при $\delta < \pi/2 - \alpha_p$.

$$P_o = 2k [1 + \Theta + \cos(\pi/4) \cos(\pi/4 - 2\alpha_p)]$$

при $\delta \geq \pi/2 - \alpha_p$

Угол Θ раствора центрированного поля A_1A_2P определяется, согласно условию несжимаемости, исходя из равенства треугольников A_0OB и A_3PB .

В соответствии с замерах углов при вершине уплотненных ядер, приведенных в работе [4], величина угла резания δ может быть принята равной для глины 0° , суглинка – $2,5^\circ$, супеси – $13,5^\circ$, и $22,5^\circ$ – для песка.

Для учета различных схем резания (от свободного до заблокированного) в формулу (2) вводится коэффициент влияния боковых стенок реза на величину сопротивления резанию k_δ . На основании исследований [1, 3] значение k_δ для свободного, полублокированного и заблокированного резания можно принять равным соответственно 0,7, 1,0 и 1,3. Тогда полное сопротивление движению инструмента P_x в направлении оси x равно

$$P_x = k_\delta \cdot b \cdot P_{yo} = -k_\delta \cdot b \cdot a \cdot p_o \cdot \sin \alpha_p, \quad (3)$$

где b – ширина резания (ширина инструмента).

При расчете сил сопротивления резанию рабочим инструментом роторных экскаваторов необходимо учитывать, что в контакте с грунтом находится несколько резцов. В этом случае коэффициент k_δ должен быть заменен коэффициентом энергоёмкости K_δ , приведен-

ным ниже.

Траектория резания грунта траншейными экскаваторами с роторным рабочим органом складывается из поступательного движения базовой машины и вращательного движения ротора. Толщина стружки при этом увеличивается от нуля в нижней части траншеи до максимальной величины на уровне горизонтальной оси ротора. Поэтому при определенном расстоянии между резами в соседних линиях резания на роторе (шаге резания) форма элементов стружки, срезаемой каждым резцом, постоянно меняется на протяжении всего пути резания.

При малых значениях коэффициента режима резания коэффициент энергоемкости меньше по величине, чем у блокированного резания и у однородных мерзлых грунтов. Это объясняется тем, что при ступенчато-шахматной схеме расстановки резцов, вследствие влияния предыдущих резцов на последующие, часто происходят сколы крупных элементов мерзлого грунта, при этом резец испытывает незначительные нагрузки.

Проведенная математическая обработка экспериментальных данных [5] при условии, что зависимость коэффициента энергоемкости от угла резания можно считать прямолинейной, позволила получить следующие расчетные формулы:

для резцов в крайних линиях резания:

$$K_3 = [0,446(1-0,00038C)(1+0,00493 \cdot \alpha_p) \cdot 0,0404 \times \frac{t-b}{h}] (1-0,049V_p); \quad (4)$$

для резцов в средних линиях резания:

$$K_3 = [0,406(1-0,00038C)(1+0,00482 \cdot \alpha_p) \cdot 0,02 \times \frac{t-b}{h}] (1-0,049V_p), \quad (5)$$

где C – прочность грунта (число ударов плотномером ДорНИИ); α_p – угол резания; t – шаг расстановки резцов; h – глубина резания; V_p – скорость резания.

Результаты экспериментальных исследований [5] позволили сделать вывод, что увеличение коэффициента энергоемкости резания мерзлых грунтов резами, установленными по ступенчато-шахматной схеме, способствует выравниванию коэффициента вариации сил резания K_b на крайних и средних резах. Этот коэффициент может служить мерой влияния на сопротивление внедрению (реза-

нию) инструмента (степень его износа).

Среднеквадратичные отклонения значений σ_p , характеризующих рассеивание силы резания, показывают, что σ_p незначительно отличается как для острых, так и для затупленных резцов. Коэффициент вариации для изношенных резцов можно определить по формуле

$$K_p = \frac{K_{p0}}{1 + \frac{\Delta P}{P_0}},$$

где K_p , K_{p0} – коэффициенты вариации силы резания соответственно затупленными и острыми резами; P_0 – средняя сила резания острыми резами; ΔP – дополнительная сила для преодоления силы сопротивления затупленным резцом, определяемая по формуле Ю.А. Ветрова.

При ступенчато-шахматной схеме расстановки резцов в нижней части траншеи имеет место глубокое блокированное резание, которое по мере движения резца вверх переходит в сотовое. Это объясняется разным соотношением толщины стружки и шага резания в различных точках траектории движения резца.

Выводы.

1. Полное сопротивление движению режущего инструмента в мерзлом грунте линейно зависит от угла резания и длины контакта его режущей кромки.

2. Достоверность расчета силы резания в условиях блокированного и полублокированного резания мерзлого грунта возрастает при замене коэффициента влияния боковых стенок реза на коэффициент энергоемкости резания грунта, учитывающего соотношение ширины резания, шага расстановки резцов и глубины резания, а также и скорость резания.

Литература

1. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическим способом - М.: «Машиностроение» 1968.-399 с.
2. Соколовский В.В. Теория пластичности. М.: «Высш. школа», 1969.-608с.
3. Родин И.И., Соколов Л.К. Основы проектирования многоковшовых экскаваторов непрерывного действия. – Красноярск: Изд – во Краснояр. ун – та, 1987, - 224 с.
4. Ровинский М.И., Тёлушкин В.Д. Влияние ядер уплотнения на характер разрушения мерзлого грунта при послойном рыхлении. «Строительные и дорожные машины», 1968, №2.

5. Разработка сезонномерзлых грунтов Восточной Сибири траншейными экскаваторами: монография / Васильев С.И. [и др.]; Сиб. федерал. ун-т. – Красноярск : ИПК СФУ, 2010. – 140 с.

6. Васильев, С.И. Повышение эффективности работы траншейных экскаваторов / С.И. Васильев, Б.В. Осипенко, В.Г. Жубрин // Транспортные средства Сибири : межвуз. сб. науч. тр. Вып. 7. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2003. – С. 452-458..

УДК 630*656.073.7

Y.Y. Gerasimov, A.P.Sokolov, V.S. Syuneyv*

OPTIMIZATION OF INDUSTRIAL AND FUEL WOOD SUPPLY CHAIN ASSOCIATED WITH CUT-TO-LENGTH HARVESTING

The paper presents the results of the development and application of the computer information system for optimization of wood supply chain in Russian conditions. The system is designed to support of strategic, tactical and operational decisions in terms of logging companies applying cut-to-length technology taken into account the needs of forest bioenergy. Two case-studies in logging companies in Northwestern Russia are analyzed and discussed.

Key words: Cut-to-length method, bioenergy, logistics, wood harvesting, optimization.

Full-tree (FT), tree-length (TL), and cut-to-length (CTL) methods are applied in wood harvesting. These methods differ in relation to the technology utilized. Delimiting and bucking can take place at a stump, road-side, or a central processing yard. Although lack of appropriate domestic machinery has hindered implementation of the CTL method, it has become increasingly common in Russia due to technology transfer from the Nordic countries. Better suitability of this method in particular compared to felling other than just clear-cutting, smaller environmental impacts, work safety, cleaner wood, and less requirements for road-side landings compared to FT and TL methods have been, among other things, reasons for the increasing popularity of the CTL method [1-3]. For example, in the Republic of Karelia, 93% of the harvested wood is already logged with the CTL method.

It is quite easy to manage logistic issues related to the traditional TL method, as all wood from cutting areas is transported to a central processing yard. Applying the CTL harvesting method or use of a processor at a road-side storage requires more attention to wood logistics, as different timber assortments and possibly also energy wood from cutting areas should be delivered directly to several customers: pulp mills, sawmills, wood-based boards mills, power plants, and so on. Therefore logistic approaches used with FT and TL do not work well for CTL logis-

tics.

Logistic approaches for CTL operations are not yet well developed in Russia. This is due to the specific organizational structure of Russian logging companies, which usually include logging and transportation departments with their own vehicle fleets (harvesters, forwarders, trucks), garages, and repair workshops. Russia also has specific requirements for the axle load of trucks, its own standards for roundwood, categories of roads, poor state and maintenance of roads, seasonality of road availability, uneven distribution of logging during the year, and so on. Moreover, solutions are usually company-specific, and thus tailored programming tools need to be developed to improve the planning and optimization of wood procurement for operational and tactical tasks.

We introduce a decision support system (DSS) for planning and analyzing industrial and fuel wood supply chain associated with CTL operations at the logging company level for Russian conditions [4-10]. Work was carried out in the projects “Wood harvesting and logistics”, financed by the European Union through the Finnish Funding Agency for Technology and Innovation (TEKES), and “Decision support system to promote the rational use of woody biomass and logging residues into bio-energy”, financed by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation. This DSS gives the logging

* - автор, с которым следует вести переписку.