

УДК 622.271.4

## ПРОХОДИМОСТЬ ЭКСКАВАТОРОВ ПО ПОРОДАМ

Алжибаев А. Е, студент гр. ГОc-152, IV курс ГИ

Научный руководитель: Мартынов В.Л., к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.  
Горбачева

Дальнейшее приоритетное развитие открытого способа угледобычи в Кузбассе ориентировано на интенсификацию производства путем применения все более тяжелых горнотранспортных машин большой единичной мощности, главным образом во вскрышной зоне, что предъявляет повышенные требования к их проходимости по породам. В противном случае неизбежно возникают ситуации, когда тяжелые машины вязнут в породах и, хоршо, если это происходит без риска их сползания с уступа или опрокидывания, что ведет к потерям их производительности, производству ряда вспомогательных работ для освобождения ходовой части и пр. Можно привести множество примеров этого, но достаточно одного, когда на разрезе «Назаровский» драглайн ЭШ 100/100 увяз в породе при перегоне в теплое время года и на освобождение его ушло несколько месяцев, пока порода не промерзла.

Проходимость тяжелых экскаваторов с различными ходовыми устройствами (база и лыжи драгайна, гусеницы мехлопат и гидролопат) зависит от величины осадки пород под опорными поверхностями, причинами которой являются превышение действующих нагрузок над допустимыми и величина уплотнения пород в результате уменьшения их пористости [1]. В связи с этим проходимость машин при расчетах оценивается двумя показателями: несущей способностью пород и допустимой величиной их осадки. Для оценки проходимости экскаваторов по массиву пород решающим из двух названных показателей является тот, предельное значение которого достигается раньше расчетного времени. Для оценки проходимости по навалам главным является второй показатель, поскольку осадка машины в разрыхленных породах достигает предельных значений раньше, чем произойдет выдавливание пород вокруг опорных поверхностей экскаваторов. Но во всех случаях оценка проходимости экскаваторов по массиву пород, навалам в забоях или отвалам, по трассам перегонов производится по двум указанным критериям [1].

Несущая способность пород под ходовыми устройствами определяется несколькими способами [1, 2, 3, 4].

На первом этапе расчета Межотраслевой научный центр научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела "ВНИМИ" рекомендует следующую формулу

для определения несущей способности пород под опорными элементами тяжелых горных машин [5]

$$q_0 = b \cdot \gamma \cdot N_y / 4 + K \cdot N_k + q \cdot N_q,$$

где  $q_0$  - несущая способность отвальных пород при двухстороннем выдавливании основания, кПа;  $b$  - ширина гусеницы экскаватора или лыжи, диаметр базы драглайна, м;  $\gamma$  - плотность пород, т/м<sup>3</sup>;  $q$  - интенсивность прочного слоя (пригрузки) на уровне его подошвы, кПа, определяется по формуле  $q = \gamma \cdot h_{cl}$ ;  $N_y$ ,  $N_k$ ,  $N_q$  - коэффициенты, зависящие от угла внутреннего трения пород и формы разрушения [6].

Приведенная формула отвечает условиям проходимости тяжелого оборудования при наличии в основании прочного твердого слоя, ниже которого расположены породы с низкими характеристиками сопротивляемости их сдвигу. Если такой слой отсутствует, то третий член формулы будет равен нулю.

Коэффициент запаса несущей способности, учитывающий погрешности при определении прочностных характеристик пород и способа их расчета должен приниматься  $n \geq 1,3$ . Он определяется как отношение  $q_0 / q_n$  (где  $q_n$  - удельная нагрузка под лыжами, базой, гусеницами) и  $q_0 / q_{mo}$  (где  $q_{mo}$  - удельная нагрузка под опорами машин с учетом динамических перегрузок оборудования в процессе работы).

При выполнении перегонов горных машин, когда имеется прочный верхний слой, коэффициент запаса несущей способности ( $n$ ) определяется по формуле

$$n = (q_0 \cdot \Delta q_c - \Delta q_n) / q_n,$$

где  $\Delta q_c$  - сопротивляемость опорного слоя сдвигу, кПа;  $\Delta q_n$  - интенсивность нагрузки за счет веса прочного слоя, кПа. Для лыж (гусениц)  $\Delta q_c = [2K_{np} \cdot h_{cl} (b + l)] / b \cdot l$ . Для базы  $\Delta q_c = 4K_{np} \cdot h_{cl} / D_b$ , где  $l$  - длина лыжи или гусеницы, м;  $b$  - ширина лыжи или гусеницы, м;  $D_b$  - диаметр базы, м;  $K_{np}$  - величина сцепления пород в прочном слое, кПа;  $h_{cl}$  - мощность прочного слоя, м.

Удельная нагрузка под опорами машин с учетом перегрузок оборудования, возникающих при выполнении им рабочих операций вычисляется по формуле

$$Q_{mo} = q_n \cdot R_{c,max} \cdot p / W,$$

где  $R_{c,max}$  - максимальный радиус черпания, м;  $p$  - вес ковша с породой или максимальное усилие на режущей кромке зубьев ковша, т;  $W$  - момент сопротивления опорных поверхностей тяжелого оборудования относительно их оси симметрии. Для базы драглайна  $W = \pi \cdot r^3 / 4$ , где  $r$  - радиус базы. Для лыж или гусениц  $W = b \cdot l^2 / 6$ .

На втором этапе определяется величина осадки ходового устройства. В работе [2] оценку осадок предлагается осуществлять по результатам исследования пород способом статистического зондирования, а их расчет производить методом послойного суммирования [6]. В работе [7]

приводится метод конечных элементов для определения осадки ходовых устройств экскаваторов. Эти методы позволяют определить конечные осадки различных ходовых устройств экскаваторов только в статике.

Условия реальной работы экскаваторов на слабых породах показывают, что для оценки их проходимости помимо конечной величины осадки необходимо знать ее развитие во времени с целью увязки параметров забоя и времени допустимой работы экскаваторов на таких породах, т.е. в динамике.

Известно, что уравнение напряженно-деформированного состояния водонасыщенных пород описывается уравнением теории фильтрационной консолидации Терцаги-Герсененванова-Флорина [7]. Полученные решения согласно этой теории позволяют учитывать ряд процессов, происходящих в породе при ее уплотнении, такие как нелинейное изменение пористости пород с учетом коэффициента фильтрации, начальный градиент фильтрации, сжимаемость пород и газа в порах, влияние давления на напряженное состояние и пластическое течение пород, раскрытие трещин и структурную прочность пород и др.

Если, для рассматриваемых слабых водонасыщенных пород ввести допущения, что они полностью водонасыщены, внешняя нагрузка передается на породу сразу и одновременно на поровую воду, деформация пород происходит от суммы главных напряжений, а структурная прочность пород в таком состоянии отсутствует, ползучесть пород мала и она пренебрегается, то уравнение плоской задачи фильтрационной консолидации [7] примет вид уравнения неразрывности жидкой и твердой фазы породы Дарси-Герсеванова

$$\frac{dt}{dt} = \left( \frac{1}{2} \gamma_w \right) \cdot \frac{dq}{dt} + \left[ \left( 1 + l_{icp} \right) / \gamma_w m_{oc} \right] \cdot \left( \frac{dH}{dx} \right) \cdot \left( K_v \frac{dH}{dx} \right) + \left( K_v \frac{dH}{dz} \right) \cdot \frac{dH}{dz},$$

где  $H$  - напор;  $\frac{dq}{dt}$  - скорость приложения нагрузки;  $K_v$  и  $K_z$  - соответственно коэффициенты фильтрации в вертикальном и горизонтальном направлениях;  $l_{icp}$  - среднее значение коэффициента пористости;  $\gamma_w$  - удельный вес воды;  $m_{oc}$  - коэффициент осевой сжимаемости породы;  $x$  и  $z$  плоские координаты элемента породы с входящими и выходящими потоками воды.

Изменения состояния анизотропного по водонепроницаемости массива пород носит сложный характер и наряду с зонами уплотнения пород имеются и зоны их разуплотнения [8], что объясняется следующим образом.

Распределение суммы главных напряжений в условиях плоской задачи происходит по нелинейному закону. Допуская полную передачу нагрузки на поровую воду в начальный момент времени можно получить кривую распределения порового давления (напоров). Первая производная по этой кривой определяет градиент напора. При удалении от оси действия нагрузки происходит возрастание градиента напора до

некоторой величины, после которой он уменьшается, т.е. вторая производная  $d^2H/dx^2$  меняет знак на противоположный, а кривая из выпуклой становится вогнутой. Это уменьшение градиента напора означает, что объем поровой воды, профильтровавшейся в горизонтальном направлении в любой элементарный объем породы, будет больше объема поровой воды, инфильтровавшейся из него. Это ведет к возрастанию порового давления и разуплотнению породы в случае, если  $K_e > K_v$ , т.е. будет происходить преимущественная фильтрация в горизонтальном направлении, тоже происходит при консолидации сильно сжимаемых пород, у которых верхний наиболее уплотненный слой становится слабофильтрующим.

Таким образом, при работе экскаватора на слабых водонасыщенных породах можно выделить области увеличения порового давления в краевых зонах разуплотнения пород и уменьшения порового давления под опорным устройством. В тоже время изменение напряженно-деформированного состояния анизотропного по водонепроницаемости массива пород в любой момент времени описывается сложными дифференциальными уравнениями и определить какой процесс (уплотнения или разуплотнения) происходит в рассматриваемой точке весьма трудно, что неприемлемо для расчетов и требует поиска более простых, но достоверных решений, которые можно было бы использовать как в процессе проектирования, так и в производственных условиях в период строительства и эксплуатации разрезов.

### Список литературы

1. Загоруйко Л.Н., Шуберт Е.З. Обеспечение проходимости тяжелых горнотранспортных машин (обзор). - М.: НИА-Природа, 1974. 45 - с.
2. Загоруйко Л.Н. Метод определения осадок отвалов под тяжелыми горнотранспортными машинами по натурным испытаниям массива //Исследования по технологии и комплексной механизации разработки угля открытым способом/ ИГД им. А.А. Скочинского. - М., 1977. - Вып. 151. с. 14-19.
3. Сайтов В.И. Исследование особенностей рабочего процесса драглайнапри верхнем черпании и влияние их на его основные параметры: Автореф. Дис. ... канд. техн. наук, - Свердловск, 1975. - 24 с.
4. Технологические схемы разработки высоких уступов на разрезах Кузбасса / Кузнецкий филиал НИИОГР. - Кемерово, 1987. - 91 с.
5. Козлов Ю.С. Оценка проходимости и работы тяжелого горнотранспортного оборудования на уступах и отвалах разрезов //Тез.докл.конф. “Социально-экологические и научно-технические

проблемы интенсификации на открытой угледобыче Кузбасса. - Кемерово, 1987. с. 16-18.

6. Строительные нормы и правила. Основания зданий и сооружений: СНиП 2.02.01-83. -М.: Стройиздат, 1985. - 41 с.

7. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. М.: Недра, 1987. - с. 130-132.

8. Голли А.В. Исследование напряженно-деформированного состояния грунта в основании сооружений /А.В. Голли, О.А. Шулятьев//II научно-техн. конф. по эксплуатации и долговечности портовых и судоходных гидротехнических сооружений: Тез. докл./ЛИВТ. - Л.1983. - с. 87-89.

9. Флорин В.А.Основы механики грунтов. – М.: Госстройиздат, 1961. - Т2. – 543 с.