**МЕХАНИЧЕСКОЕ РЫХЛЕНИЕ**

Механическое рыхление - послойное отделение породы от массива и разделение ее на куски при помощи механических рыхлителей. Размеры кусков породы, отделенных от массива, должны обеспечивать высокую производительность выемочно-погрузочного и транспортного оборудования при разработке пластов различной мощности.

Применяемые рыхлители по способу крепления рабочего органа разделяются на навесные и прицепные. Основным преимуществом навесных рыхлителей по сравнению с прицепными является возможность использования массы тягача для заглубления рабочего органа рыхлителя. Прицепные рыхлители осуществляют рыхление на глубину не более 0,5 м, а навесные - на глубину до 2 м.

Техническая характеристика рыхлителей приведена в табл. 1, а бульдозерно-рыхлительных агрегатов (тракторы, комплектно поставляемые с навесным оборудованием бульдозеров и рыхлителей) - в табл. 2.

Техническая характеристика отечественных рыхлителей.

Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | ДП- | ДП- | ДП- | ДП- | ДП- | ДП- | ДП- |
|  | 26С | 22С | 9ВХЛ | 10С | 29АХ | 141ХЛ | 35УХ |
|  |  |  |  |  | Л |  | Л |
| Базовыйтрактор | Т-130 | Т-180КС | ДЭТ-250М | ТТ-330 | ТТ-330 | Т-500 | Т-50.01 |
| Мощность | 118 | 133 | 243 | 250 | 250 | 353 | 523 |
| двигателя, кВт |
| Тяговый | 100 | 150 | 250 | 250 | 250 | 350 | 750 |
| класс, кН |
| Число зубьев | 1 | 1;3 | 1 | 1;3 | 1 | 1 | 1 |
| Расстояние между осями зубьев, мм  | - | 795 | - | 700 | - | - | - |
| Ширина наконечника зуба, мм | 66 | 86 | 105 | 114 | 114 | 120-125 | 125-130 |
| Глубина рыхления, мм | 450 | 500 | 1200 | 700 | 700 | 1300 | 1780 |
| Угол рыхления, градус | 45 | 48 | 45 | 45 | 45-50 | 25-50 | 30-83 |
| Масса рыхлительного оборудования, т | 1,4 | 3,1 | 3,9 | 5,4 | 6,6 | 7 | 12,7 |

Конструктивная схема навесного рыхлителя показана на рис. 1.

Основными параметрами, характеризующими рабочий угол рыхлителя, являются угол резания γ, угол заострения ω, задний угол φ, толщина и длина зуба и расстояние между зубьями (рис. 2).

Угол резания оказывает существенное влияние на силу резания. Увеличение угла резания (рыхления) с 40 до 60° повышает лобовое сопротивление режущему органу (зубу) в 2 раза. Чрезмерное уменьшение угла резания (до 30° и менее) может сопровождаться увеличением сопротивления породы рыхлению (особенно при резании вдоль напластования). Рациональные значения угла рыхления при разработке скальных, полускальных и мерзлых пород находятся в пределах 30 - 45°. При разработке глин с включением валунов угол рыхления несколько увеличивается.

Угол заострения наконечников находится в пределах 20 - 30°. Во всех случаях угол заострения должен быть таким, чтобы при любом заглублении зубьев задний угол Ф был не менее 5° при рыхлении полускальных и скальных пород. При меньшем значении заднего угла ф происходит смятие породы задней гранью наконечника, в результате чего возрастает сопротивление породы рыхлению и повышается износ наконечника.

Техническая характеристика бульдозерно-рыхлительных агрегатов отечественного производства.

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатели | ДЗ-116А;ДЗ-116В | ДЗ-117;ДЗ-117А | ДЗ-35С;ДЗ-22С | ДЗ-126;ДЗ-126А | ДЗ-94С;ДЗ-95С | ДЗ-129ХЛ | ДЗ-141ХЛ | ДЗ-159УХЛ;ДП-35УХЛ |
| БазовыйтракторТяговый | Т-130.1 Г-1; Т-130.1 МГ-1; 100 | T-I80KC | ДЭТ-250М | Т-ЗЗО | ТТ-ЗЗОР-1-01 | Т-500Р-1 | Т-50.01 |
| 150 | 250 | 350 | 750 |
| класс, кН |
| Бульдозер | ДЗ-110АДЗ-110B | ДЗ-109;ДЗ-109Б | ДЗ-35С | ДЗ-118 | ДЗ-59С;ДЗ-59ХЛ | ДЗ-124ХЛ | ДЗ-141ХЛ | ДЗ-159УХЛ |
| Рыхлитель | ДП-26С | ДП-22С | ДП-9ВХЛ | 59ХЛДП-10С | ДП-29АХЛ | ДЗ-141ХЛ | ДП-35УХЛ |
| Габариты, мм:длинаширинавысота | 6400 | 6570 | 8350 | 9215 | 8740 | 9290 | 10305 | 11200 |
| 3220 | 4120 | 3640 | 4310 | 4730 | 4730 | 4800 | 6050 |
| 3087 | 3087 | 2825 | 3240 | 3450 | 4230 | 4295 | 4785 |
| Масса, т | 17,8 | 17,9 | 27 | 42 | 52,8 | 50,5 | 59,5 | 90,1 |

Рис. 1 - Конструктивная схема навесного рыхлителя: 1 - наконечник зуба: 2 - стопорное устройство; 3 - стойка: 4 - поворотная скоба; 5 - тяга; 6 - рабочая рама: 7 - гидроцилиндр привода; -V - опорный кронштейн: 9 - болты крепления на базовом тракторе: 10 – тягач

Рис. 2 - Параметры рыхления при заглублении прямого наконечника

Толщина стоек рыхлителя должна быть минимальной при достаточной прочности. У рыхлителей она составляет 60-100 мм.

Длина стоек должна быть на 250 - 300 мм больше максимального заглубления зуба рыхлителя, что обеспечивает беспрепятственный проход рамы рыхлителя над разрыхленной породой.

Вынос стоек относительно гусениц тягача *Lc* *= (1,5-2)h3*, где *hз* - максимальное заглубление зуба рыхлителя.

Механическое рыхление пород осуществляется при движении тягача с заглубленным зубом. При создании значительных усилий на режущей кромке зуба происходит отрыв кусков породы от массива и разрушение породы в пределах трапециевидной прорези (рис. 3). Разрушение породы происходит в результате развития в ней сложного напряженного состояния. В разных частях прорези разрушение идет разными путями. Порода разрушается преимущественно путем сжатия и сдвига перед лобовой гранью зуба, отрыва и сдвига - в боковых расширениях прорези и среза - у боковых ребер зуба возле режущей кромки. Кроме того, затупленной режущей кромкой или изношенным наконечником осуществляется смятие породы.

Рис. 3 - Сечения одиночных борозд рыхления: а, б - соответственно фактическое и теоретическое для монолитного массива; в, г – соответственно фактическое и теоретическое для трещиноватого массива.

Удельное сопротивление породы разрушению при рыхлении *K* ' изменяется в зависимости от свойств породы и формы наконечника. Его значение близко к пределу сопротивления пород растяжению, т.е. *К' =* (1,3- 1,5)σр, что свидетельствует о том, что данный способ разрушения наименее энергоемкий.

При рыхлении монолитного массива в нижней его части образуется щель (рис. 4), ширина которой соответствует ширине применяемого наконечника, а глубина составляет 15-20 % от заглубления зуба. Угол наклона боковых стенок борозды *α* изменяется в зависимости от состояния рыхлимого массива в пределах 30 - 80°. При рыхлении сложнотрещиноватого массива (см. рис. 4) разрушение происходит по плоскостям ослабления его трещинами. Внедрение зуба в массив при этом сопровождается интенсивным разрушением стенок по всей глубине борозды.

Рыхление массива производится параллельными смежными проходами рыхлителя. Расстояние между двумя смежными проходами *Сс.п* выбирается из условия обеспечения требуемой кусковатости и глубины рыхления массива. При параллельных проходах рыхлителя между двумя смежными бороздами в нижней части последних образуются целики, которые затрудняют выемку породы на полную глубину внедрения (см. рис. 4). Поэтому глубина эффективного рыхления массива *hэ* меньше заглубления зуба *hз*. Разрушение целиков может производиться перекрестными проходами рыхлителя, перпендикулярными (диагональными) к первоначальным (параллельным смежным) проходам.

Рис. 4 - Сечения борозд рыхления при параллельных проходах рыхлителя: α – в монолитном массиве; б - в трещиноватом массиве; 1 - целики

**Расчёт параметров механического рыхления**

Эффективность рыхления горных пород зависит от тяговых характеристик трактора, параметров рыхлителя, физико-механических свойств пород и структуры массива. Существенное влияние на производительность рыхлителя оказывают глубина погружения зуба и скорость движения рыхлителя. Эти параметры не могут приниматься произвольно, а должны рассчитываться по тяговой характеристики тяговой машины с учётом свойств рыхлимых пород.

Область применения и эффективность механического рыхления определяются степенью рыхлимости массива. Быстрое и сравнительно недорогостоящее получение необходимой информации о свойствах разрабатываемого массива дают сейсмоакустические методы исследований, основанные на изучении характера распространения упругих колебаний в массиве. Установлено, что скорость распространения упругих волн достаточно полно коррелируется с прочностью и трещиноватостью массива и может служить в качестве обобщенного показателя, учитывающего изменение этих факторов. С увеличением прочности породы скорость распространения упругих волн увеличивается, а с увеличением трещиноватости - уменьшается. Скорость распространения упругих волн в массиве горных пород и в образцах существенно различается. Это различие обусловлено структурой массива, и, прежде всего, трещиноватостью. Учитывать структурную характеристику массива рекомендуется через параметр, называемый акустическим показателем:

где *υс* – скорость распространения продольных упругих волн в массиве, м/с;

*υу* – скорость распространения продольных упругих волн в монолитном образце рыхлимой породы, м/с.

По величине акустического показателя и тягового класса трактора оптимальное заглубление зуба можно определить по предлагаемой номограмме (рис. 5) [1].

Породы вскрыши Зашуланского каменноугольного месторождения представлены четвертичными отложениями, включающими в себя почвенно-растительный слой мощностью от 0,2 до 0,6 м, суглинками мощностью от 15 до 18 метров, песчано-галечниковыми образованиями мощностью от 0,5 до 15 метров и коренными породами, состоящих из аргиллитов и алевролитов. Удельный вес вскрышных пород составляет 2,2 т/м3. Согласно геологического отчёта породы вскрыши в талом состоянии хорошо поддаются прямой экскавации и не требуют предварительного рыхления. Породы вскрыши находящиеся в мёрзлом состоянии и уголь могут разрабатываться только после предварительного рыхления. Коэффициент крепости мёрзлых пород находится в пределах 3-5 и данные породы можно отнести к классу средне- и труднорыхлимых, характеризуемых скоростью распространения продольных упругих волн в массиве в среднем 3000 м/с при акустическом показателе 0,4.

С целью оптимизации параметров подготовки пород к выемке механическим рыхлением рассмотрим три типоразмера бульдозерно-рыхлительных агрегатов различного тягового класса, в том числе ДЗ-35С (150 кН), ДЗ-94С (250 кН), ДЗ-141ХЛ (350 кН). Характеристики базовых тракторов приведены в таблице 1.

По данным номограммы величина заглубления зуба рыхлителя соответственно будет составлять 0,35; 0,51; 0,69 м.

Рис. 5 - Номограмма для определения возможного заглубления *hз* зуба рыхлителя в зависимости от акустических характеристик массива *υу* и *R*, мощности тягача *N* и силы тяги *F* рыхлителя: 1,2,3,4 *-* при значениях *υу* соответственно 1000, 2000, 3000 и 4000 м/с

Выполним расчёт основных параметров рыхления для бульдозера-рыхлителя ДЗ-35С.

Определим ширину прорези понизу

*в = Кз× вз,* м;

где *вз* – ширина коронки, м;

*Кз* – (1 - 1,1) – коэффициент

*в = 1,05×0,086 =0,09* м.

Определим ширину прорези поверху

*В= в+2×Кт×hз×ctgα*, м;

где *Кт = 0,85* коэффициент трещиноватости;

*α=500* – угол наклона стенок прорези;

*hз* – возможное заглубление зуба рыхлителя, м.

*В=0,09+2×0,85×0,35×ctg50=0,59* м.

Определим глубину эффективного рыхления

*hэ=0,6 × hз*, м;

*hэ=0,6 × 0,35 = 0,21* м.

Определим расстояние между соседними проходами рыхлителя

*С=в+[(hз-hэ)×2ctgα]×Кт*, м;

*С=0,09+[(0,35-0,21)×2ctg50]×0,85=0,29* м;

Для других бульдозеров-рыхлителей расчёт параметров механического рыхления выполнен аналогично, результаты расчётов приведены в таблице 3.

Расчёт параметров механического рыхления

Таблица 3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование показателя | ед. изм | Тип бульдозерно-рыхлительного агрегата |
| ДЗ-35С (150 кН) | ДЗ-94С (250 кН) | ДЗ-141ХЛ (350 кН) |
| Ширина прорези понизу, (*в*) | м | 0,09 | 0,12 | 0,13 |
| Ширина прорези поверху, (*В*) | м | 0,59 | 0,85 | 1,11 |
| Глубина эффективного рыхления, (*hэ*) | м | 0,21 | 0,31 | 0,41 |
| Расстояние между проходами рыхлителя, (*С*) | м | 0,29 | 0,40 | 0,53 |

**Технология отработки уступа**

Необходимость разработки уступов слоями небольшой мощности и, как следствие этого, незначительная высота забоя погрузочного механизма несколько ограничивают область применения рыхлителей и оказывают существенное влияние на выбор рациональных средств комплексной механизации и технологии добычных работ. С одной стороны, незначительная высота забоя затрудняет непосредственную выемку разрыхленной горной массы механическими лопатами, так как для производительной их работы в данном случае требуется предварительное ее штабелирование. С другой стороны, механическое рыхление, обеспечивая высокое качество подготовки скальных и полускальных пород, позволяет повысить эффективность работы и расширить область применения таких выемочно-погрузочных механизмов, как скреперы, бульдозеры, одноковшовые погрузчики, многочерпаковые и роторные экскаваторы, погрузочные машины непрерывного действия и др.

Рыхление массива навесными рыхлителями можно вести горизонтальными или наклонными слоями. При работе горизонтальными слоями по мере рыхления и погрузки породы высота уступа в зоне погрузки постоянно уменьшается, что приводит к снижению производительности экскаватора и требует дополнительных объёмов бульдозерных работ. Поэтому наиболее рациональной при рыхлении горизонтальными слоями является подъуступная схема, при которой разрыхленная порода сталкивается бульдозером по выположенному откосу на подошву уступа, где и производится её погрузка в транспортные средства (рис 6).

При рыхлении наклонными слоями откос уступа выполаживается до 20-25о, что позволяет значительно увеличить производительность рыхлителей и бульдозеров.

Объём готовых к выемке запасов (*Vз*) в зимний период должен соответствовать 7-10 дневной производительности выемочно-погрузочной машины. Для условий Зашуланского разреза, при суточной производительности экскаватора 3900 м3/сут, этот объём будет составлять 39 тыс.м3. Параметры блока определяются исходя из высоты уступа, ширины заходки и нормативного объёма готовых к выемке запасов. В соответствие с этим, размеры блока принимаются равными: высота (*Hу*) – 10 м; ширина (*B*) – 27 м; длина (*L*) - м.

Рис. 6 - Схема производства добычных работ с применением рыхлителей: а - разработка уступа наклонными слоями; б - разработка уступа горизонтальными слоями с нормальным откосом уступа; в - то же, с выположенным откосом; 1 - экскаватор; 2 – бульдозер; 3 - погрузчик

Для рыхления мёрзлых откосов уступов необходимо провести их выполаживание до угла 20о. Рыхление верхней площадки уступа производится поперечными ходами с предварительным созданием вдоль фронта работ зоны ослабления мёрзлого массива, которая выполняется заездами рыхлителя продольными параллельными полосами и служит для снижения усилия при заглублении зуба. Рыхление откосов осуществляется в направлении уклона по мере понижения уступа. Разрыхленная порода очередного слоя бульдозером транспортируется к забою экскаватора. На работах по рыхления и транспортированию пород применяем бульдозерно-рыхлительный агрегат. Схема ведения работ приведена на рисунке 7.

**Расчёт производительности рыхлителя**

Выполним расчёт производительности бульдозерно-рыхлительного агрегата ДЗ-35С.

Определим время на рыхление мёрзлых пород в пределах одного заезда

, мин;

где *tз, tв* – время заглубления и выглубления зуба рыхлителя, мин (принимается равным соответственно 0,15 и 0,1);

*tр –* время рыхления пород в пределах одного заезда, мин:

,мин;

где *В* – ширина верхней площадки уступа, м;

*Hу* – высота уступа, м;

*α* – угол откоса уступа, град;

*υр* – скорость движения рыхлителя, м/мин;

мин.

мин.

Рассчитаем время заезда рыхлителя на новую борозду

, мин;

где *tм, tп* – время на маневры рыхлителя и переключение передач, мин, соответственно принимаются равными 0,3 и 0,15 мин;

*tд* – время движения холостым ходом, мин

, мин;

где *υХХ* – скорость движения рыхлителя на холостом ходу, м/мин;

мин.

мин.

Определим часовую производительность рыхлителя

, м3/час;

где *kи* – коэффициент использования рыхлителя в течение смены.

м3/час;

В пределах подготавливаемого блока объём рыхления мёрзлых пород равен

,м3;

где *Hм* – мощность слоя мёрзлых пород, м.

тыс.м3.

Определим время необходимое для рыхления мёрзлых пород в блоке

ч.

**Расчёт производительности бульдозера**

Определим время цикла бульдозера

где *Lн* – расстояние набора породы бульдозером, м;

*Lг* – расстояние на которое перемещается порода, м;

*υн* – скорость движения бульдозера при наборе породы, м/с;

*υг* и *υп* – установленная скорость хода соответственно гружёного и порожнего бульдозера, м/с;

*tп* – время на переключение скорости, с.

с.

Определим объём призмы волочения перемещаемой бульдозером

где *hо* и *l* – соответственно высота и длинна отвала бульдозера, м;

*a* – угол откоса развала, град.

м3.

Определим часовую производительность бульдозера по формуле

где *Тц* – время цикла бульдозера, с;

*V* – объём призмы волочения, м3;

*kв* – коэффициент использования машины во времени в смену;

*kр* – коэффициент разрыхления породы.

м3/час.

Определим время необходимое для перемещения мёрзлых пород в блоке

ч.

Время необходимое для подготовки пород к выемке в границах рассматриваемого блока составит

ч.

Для других бульдозеров-рыхлителей расчёт производительности выполнен аналогично, результаты расчётов приведены в таблице 4.

Расчёт производительности бульдозеров-рыхлителей

Таблица 4

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование показателя | ед. изм | Тип бульдозерно-рыхлительного агрегата |
| ДЗ-35С (150 кН) | ДЗ-94С (250 кН) | ДЗ-141ХЛ (350 кН) |
| ***Рыхление блока***  |
| ***Tрз*** | мин | 1,71 | 1,57 | 1,16 |
| ***tр*** | мин | 1,46 | 1,32 | 0,91 |
| ***TХХ*** | мин | 1,62 | 1,51 | 1,18 |
| ***tд*** | мин | 1,17 | 1,05 | 0,73 |
| ***Qр*** | м3/ч | 59,8 | 131,6 | 303,5 |
| ***Vр*** | м3 | 29 400 |
| ***Tбр*** | ч  | 492 | 223,4 | 96,7 |
| ***Сталкивание пород***  |
| ***Tц*** | с | 449 | 336 | 285,6 |
| ***V*** | м3 | 6,9 | 12,5 | 16,7 |
| ***Qб*** | м3/ч | 31,9 | 77,2 | 121,4 |
| ***Tбб*** | ч | 921,6 | 380,1 | 242,2 |
|  |
| ***ТП*** | ч | 1413,6 | 603,5 | 338,9 |

**Расчёт затрат на механическое рыхление пород**

Затраты на механическое рыхление мёрзлых пород выполним на основании расчёта стоимости одного машино-часа работы бульдозера. В общем случае в данном расчёте рассматриваются следующие статьи затрат:

- оплата труда (*ЗОТ*);

- амортизация (*А*);

- стоимость ГСМ (*ЗГСМ*);

- затраты на текущий ремонт (*ЗТР*);

- стоимость запасных частей (*ЗЗЧ*);

- стоимость малоценных предметов (*ЗМЛ*);

- прочие неучтённые затраты (*ЗПР*), т.е.

**,** руб/ч

Базовую часовую ставку (*СБ*) оплаты труда машиниста бульдозера назначаем в зависимости от мощности и производительности оборудования для принятых типоразмеров соответственно 68,2; 85,2; 102,3 руб. Определим часовую ставку оплаты труда машиниста бульдозера с учётом дополнительных выплат:

- районный коэффициент (*кР = 1,2*);

- надбавка за выслугу лет (*кл = 1,3*);

- дополнительные выплаты за работу в ночное время и праздничные дни (к*Д = 1,4*);

- стимулирующая надбавка за выполнение плановых объёмов работ (к*П = 1,4*);

- единый социальный налог (кс = 1,268)

;

руб/ч.

Амортизационные отчисления рассчитаем исходя из нормативного срока окупаемости оборудования (*TОК = 7 лет*) и годовой наработке бульдозерно-рыхлительного агрегата (ТН = 4320 ч), при балансовой стоимости машин (ЦБ) соответственно 4,2; 9,0; 11,9 млн.р.

руб/час.

Стоимость дизельного топлива (*ЦДТ*) при цене за 1 килограмм 29,4 руб определим из нормативного удельного расхода топлива (*gУД*)отечественными бульдозерами 3,24 грамма на 1 кВт мощности двигателя (*N*) в минуту. Расходы на моторное, трансмиссионное и гидравлическое масла и густые смазочные материалы принимаем в размере 20% от затрат на дизельное топливо, что учтём через коэффициент дополнительных затрат (*кДЗ = 1,2*).

руб/ч.

Затраты на текущий ремонт для гусеничной техники в среднем составляют 20% от величины амортизационных отчислений, т.е

руб/ч.

Стоимость запасных частей в среднем составляет 30% от величины затрат на текущий ремонт оборудования, т.е

руб/ч.

Стоимость малоценных предметов принимается в размере 10% от величины затрат на текущий ремонт оборудования, т.е

руб/ч.

Величина неучтённых затрат принимается в размере 20% от суммы затрат на эксплуатацию оборудования

руб/ч.

Определим сумму затрат на рыхление мёрзлых пород бульдозером-рыхлителем ДЗ-35С

руб/ч

