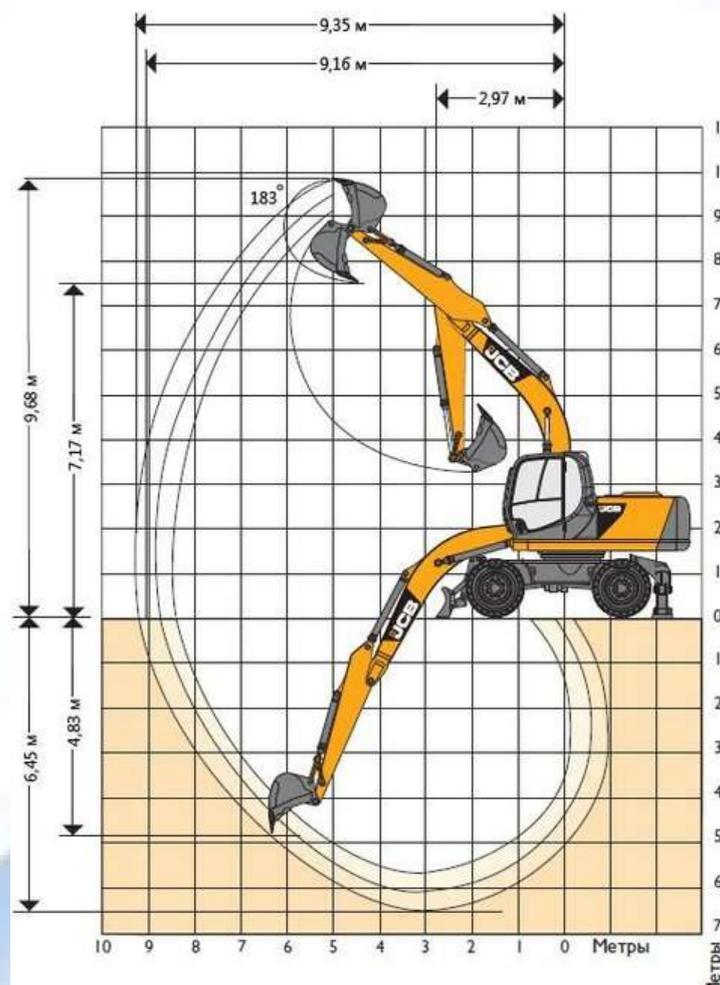


В. БАЛАБАНОВ  
А. ЛИ  
Н. МАРТЫНОВА  
И. ХУДАЕВ  
Х. АБДУЛМАЖИДОВ  
О. КУЙЧИЕВ



# ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИМЕЛИОРАТИВНЫХ МАШИН

/ Учебное пособие /



ТАШКЕНТ  
2021



МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ  
И МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ – МОСКОВСКАЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ им. К.А. ТИМИРЯЗЕВА

ДЖИЗЗАКСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

---

**В. БАЛАБАНОВ, А. ЛИ, Н. МАРТЫНОВА,  
И. ХУДАЕВ, Х. АБДУЛМАЖИДОВ, О. КУЙЧИЕВ**

# **ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ И МЕЛИОРАТИВНЫХ МАШИН**

*/ Учебное пособие /*

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений по специальности 23.03.02 - «Наземные транспортно-технологические комплексы», 5450300 - «Механизация водохозяйственных и мелиоративных работ» и 5310600 – «Наземные транспортные системы и их эксплуатация»  
(Автомобильный транспорт)

Ташкент  
2021

**Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к печати Министерством  
высшего и среднего образования Республики Узбекистан  
(Приказ №676 от 28 декабря 2020 года)**

УДК: 693:631.311 (075)

Учебное пособие составлено на основании учебной программы дисциплины: «Эксплуатация мелиоративно-строительных машин» и «Строительные и мелиоративные машины». Предназначено для студентов 3 и 4 курсов направлений бакалавриата: 23.03.02 - «Наземные транспортно-технологические комплексы» Российского государственного аграрного университета – Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева) и 5450300 - «Механизация водохозяйственных и гидромелиоративных работ» Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства (ТИИИМСХ) и 5310600 – «Наземные транспортные системы и их эксплуатация» (Автомобильный транспорт) Джизакского политехнического института.

Учебное пособие предназначено для организации и проведения самостоятельной работы студентов в процессе изучения дисциплин: «Эксплуатация мелиоративно-строительных машин», «Технические средства для природообустройства», «Теория, расчёт и потребительские свойства технологических машин природообустройства», «Строительные и мелиоративные машины» и «Наземные транспортные системы и их эксплуатация» (Автомобильный транспорт). Содержит методику и рекомендации по выполнению расчётов при разработке грунтов гидромониторным и землесосным способами, статического расчета технологических машин природообустройства и строительных и мелиоративных машин. Материал учебного пособия может быть использован студентами при выполнении курсовых работ (проектов), выпускных квалификационных работ (ВКР) для бакалавров, а также в практической деятельности молодых специалистов, инженеров, техников и других работников.

**Рецензенты:**

**Кизяев Б.М.**, д.т.н., профессор, академик РАН, научный  
руководитель ФГБНУ ВНИИГиМ.

**Усманов Н.К.**, к.т.н., доцент кафедры «Механизация  
гидромелиоративных работ» ТИИИМСХ.

---

В. Балабанов, А. Ли, Н. Мартынова, И. Худаев, Х. Абдулмажидов, О. Куйчиев  
/ Теория и методика расчета параметров строительных- мелиоративных машин /  
Учебное пособие. –Т.: 2021. –171 с.

---

©ТИИИМСХ 2020  
©В. Балабанов  
©А. Ли  
© Н. Мартынова  
©И. Худаев  
©Х. Абдулмажидов  
©О. Куйчиев

©. Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации  
сельского хозяйства (ТИИИМСХ), 2021 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие мелиорации, прежде всего орошения – характерная особенность современного сельского хозяйства во всем мире, так как орошаемые земли являются одним из главных факторов обеспечения продовольственной безопасности. На орошаемых землях, составляющих менее 20 % площади пашни, производится более 40 % продукции растениеводства в мире (зерновых культур около 50 %). Выход продукции с орошаемого гектара в 2-5 раз выше, чем с богарного, а производительность труда, эффективность использования природных и материально-технических ресурсов, в том числе удобрений, увеличиваются в 2-3 раза. За последние 25 лет общая площадь орошаемых земель увеличилась на 27 %, площадь, занимаемая оросительными системами, составляет 240 млн га, на осушении – 130,0 млн га, оросительно-осушительных систем – 60,0 млн га. На долю Азии приходится 68 % орошаемых площадей, Америки – 17 %, Африки – 5 %, Европы – 9 %, Океании – 1 %.

Прогнозируемый ФАО рост мировых орошаемых площадей на 1,0-2,0 % в год в ближайшие 20 лет может привести к увеличению площадей до 350 млн га, урожайности по зерну – на 25 %, потребления энергии – на 50 %, ресурсов – на 40 %, запасов пресной воды – на 20 %. Это остро ставит проблемы экономии водных, энергетических и материально-технических ресурсов. Эффективность использования орошаемых земель в мире оценивается в среднем 60-65 %, то есть имеется возможность значительно повысить выход сельскохозяйственной продукции и эффективность природопользования.

С целью увеличения доли орошаемых земель, следует восстанавливать мелиоративные сети, строить каналы. Для обеспечения пропускной способности и сокращения поливной воды, русло каналов следует облицовывать. Для облицовки каналов основным материалом является бетон. Производство бетонных работ следует осуществлять специальными машинами.

Комплексная мелиорация сельскохозяйственных земель - одно из главных условий для эффективного производства продукции агропромышленного комплекса. Мелиорированные земли во многих странах мира занимают зна-

чительные площади и составляют более трети всего земельного фонда, например, в Китае – 44,4 %, в Индии – 35,9%, в США – 39,9%. При этом в Российской Федерации в настоящее время мелиорированные земли занимают всего лишь 7,9 % от общей площади пашни.

В связи с активной хозяйственной деятельности, особенно в дельтах, исчезают малые реки, мелеют и загрязняются крупнейшие реки мира.

Требуется осуществление больших объёмов очистных и дноуглубительных работ большинства рек не только в России, но и по всему миру, которые невозможно выполнить без применения гидромеханизации, позволяющей комплексно в едином непрерывном технологическом процессе разрабатывать грунты и транспортировать их к месту укладки. При возросших требованиях к охране окружающей среды, расширение области применения гидромеханизации приобретает особое значение.

Строительные и мелиоративные машины выполняют свои функции в самых разнообразных и сложных условиях рельефа местности (уклоны, неровности и т. д.) с рабочими органами, имеющими значительные габариты и массу, с большими вылетами рабочего оборудования по отношению к точке или ребру опрокидывания работающей машины.

Для стабильной и надёжной работы строительных и мелиоративных машин необходимо, при её проектировании и изготовлении, уметь грамотно производить статический расчёт, что позволит быстро определять внешние нагрузки и реакции, действующие на рабочие органы и на машину в целом. Устойчивость машины в рабочем и транспортном положениях является одним из важнейших условий работоспособности машины.

Статический расчёт производят для определения не только условий устойчивости, но и проходимости машин. С этой целью определяют давление на грунт, выбирается противовес экскаватора (для одного из видов сменного рабочего оборудования), проводится расчёт усилий в опорных рамах поворотного круга и реакций центральной цапфы (или захватных роликов).

В связи с этим требуется подготовка высококвалифицированных специалистов, обладающих теоретическими знаниями и практическими навыками для выполнения этих работ.

## ГЛАВА I. ОБЩАЯ МЕТОДИКА СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СТРОИТЕЛЬНЫХ И МЕЛИОРАТИВНЫХ МАШИН

*Устойчивость машины* - это её способность сохранять своё положение в пространстве относительно опор от воздействия различных сочетаний внешних и внутренних нагрузок. На устойчивость влияет расположение опор и сочетание внешних сил, действующих на машину в различных её положениях относительно опорной поверхности (горизонтальной плоскости). Схемы расположения опор различных, строительных и мелиоративных машин представлены на рисунке 1.1.

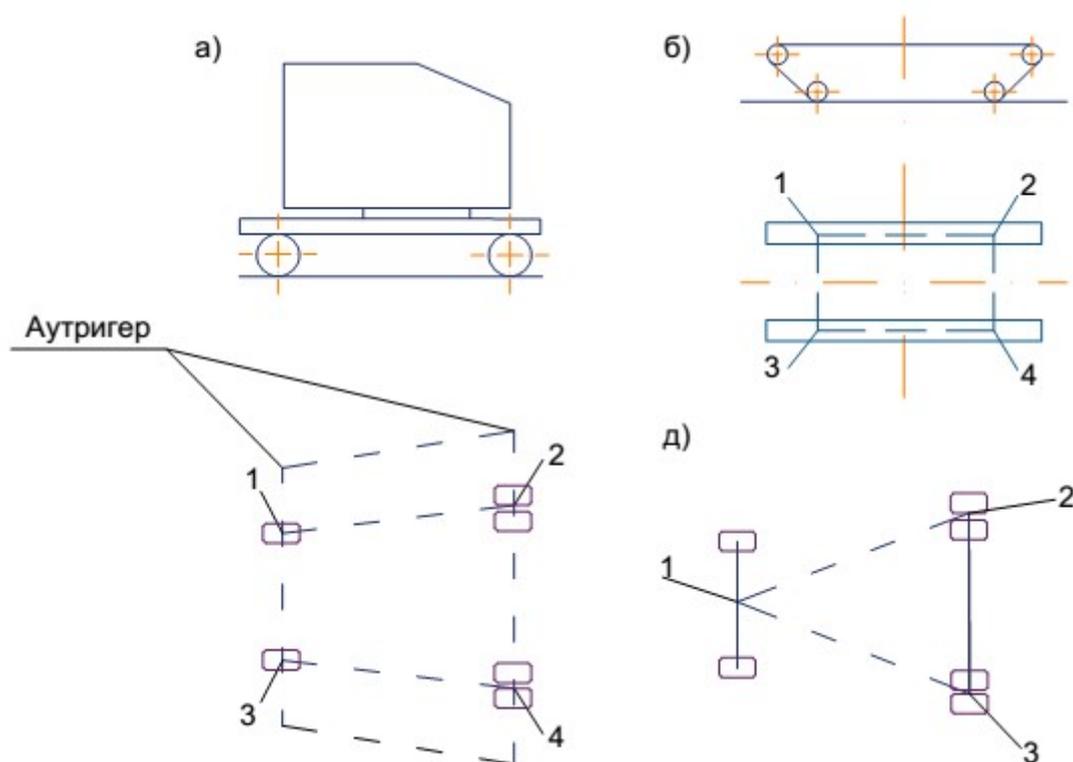


Рис. 1.1. Схемы расположения опор и виды опорных конструкций строительных и мелиоративных машин:

*a* - четырехугольник; *б* – прямоугольник; *в* – треугольник.

Прямые, соединяющие точки приложения реакций на опорах, называются рёбрами опрокидывания (рис. 1.1, рёбра 1-2; 4-3; 1-4; 2-3 и др.). Плоскость, ограниченная этими рёбрами, называется опорным контуром, и может иметь вид четырехугольника (рис. 1.1, *a*) или прямоугольника (рис. 1.1, *б*).

При опоре машины на точки 1, 2, 3, 4, (4 колеса) или две гусеницы опорный контур представляет собой четырехугольник (рис. 1.1, *a*, *б*). При

трехточечном опирании контура (два задних колеса и шарнир на передней оси), схема будет иметь вид треугольника (рис. 1.1,в).

Иногда опорная поверхность машины или поверхность расположения опор, находится наклонной к горизонту на некоторый расчетный угол  $\alpha$ , который зависит от типа машин и характера их эксплуатации (например, автогрейдер при планировке откосов канала).

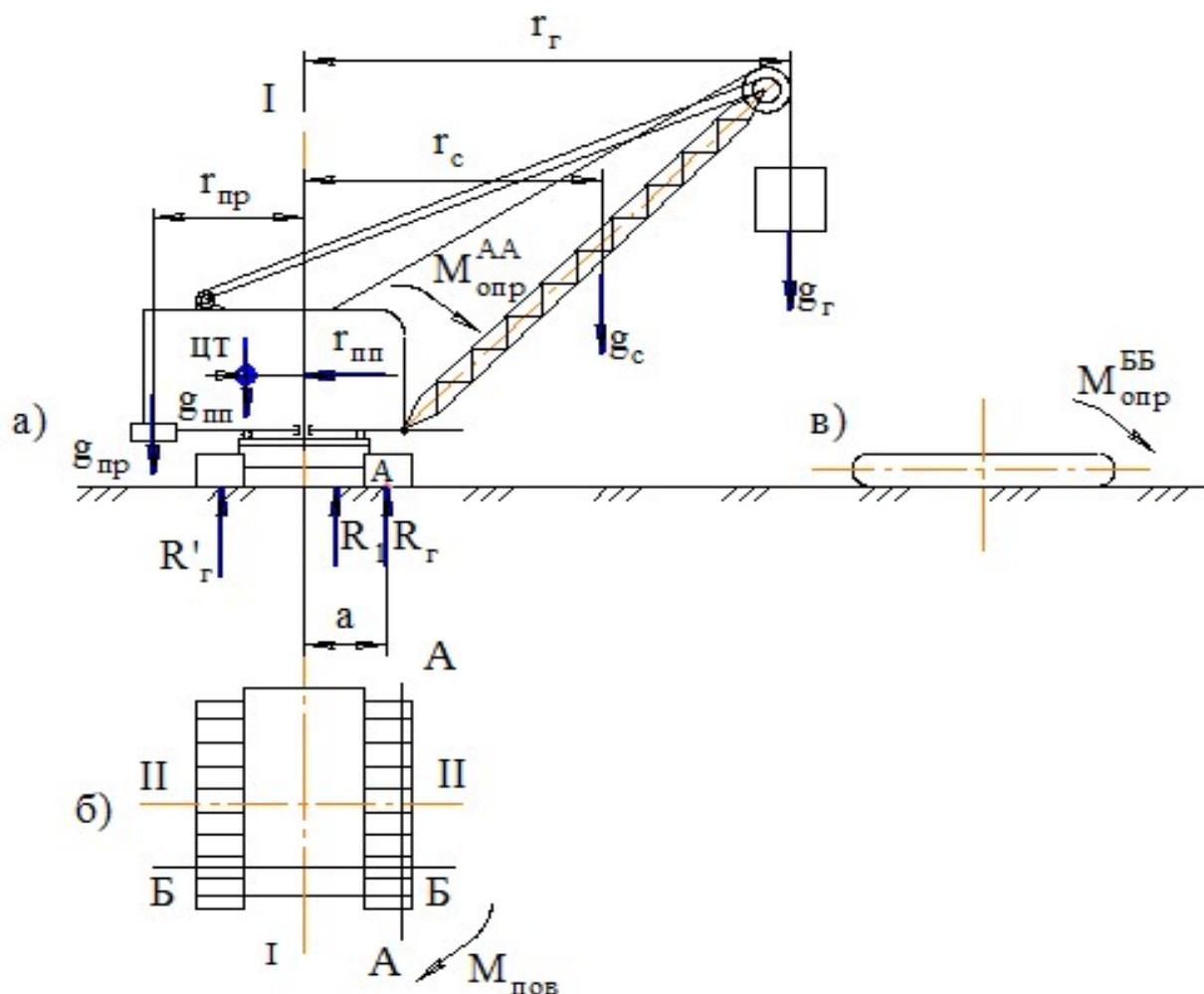


Рис. 1.2.Схема расчета устойчивости при асимметричном расположении рабочего оборудования:

$r_{пр}, r_{мп}, r_c, r_r$  - плечи сил соответственно тяжести противовеса, тяжести механизмов на поворотной платформе, тяжести стрелы и тяжести за:  $g_{пр}, g_{мп}, g_c, g_{к+г}$  - силы тяжести соответственно противовеса, механизмов на поворотной платформе, стрелы, груза

Внешние силы (моменты, другие силовые факторы), действующие на машину при расчете на устойчивость подразделяют: на удерживающие машину от опрокидывания и способствующие ее опрокидыванию. Численные значения указанных факторов, определяются как удерживающие или опрокидывающие моменты относительно ребра опрокидывания. За расчетное ребро опрокидывания берется такое, для которого отношение суммы удерживающих моментов к сумме опрокидывающих – минимальное (т.е. ребро более нагруженной гусеницы). Сами силовые факторы бывают как статические (не меняющиеся по времени), так и динамические – изменяющиеся во времени. Соответственно расчеты на устойчивость проводятся при статических и динамических нагрузках. При асимметричном расположении машины - рабочее оборудование расположено под углом к оси ходовой части.

Дополнительно, устойчивость рассчитывают для различных сочетаний силовых факторов (рабочее состояние при воздействии рабочих нагрузок или при отсутствии рабочих нагрузок). В первом случае считается – это «грузовая устойчивость», во втором случае подразумевается «собственная устойчивость». В общем случае рабочий орган располагают ассиметрично (рис. 1.2, а) относительно плоскости симметрии  $I-I$  рассматриваемой машины, при смещении от вертикальной плоскости  $II-II$ , проходящей в плане через середину опорной поверхности (рис. 1.2, б).

В этом случае силы тяжести рабочего органа (навесной системы) и суммарной составляющей равнодействующей реакции грунта на рабочий орган будут создавать опрокидывающие моменты продольный  $M_{\text{опр}}^{\text{ББ}}$  и ный  $M_{\text{опр}}^{\text{АА}}$  в вертикальных плоскостях и поворачивающий момент  $M_{\text{пов}}$  в горизонтальной плоскости. В случае, если рабочий орган и действующие на него реакции симметричны по отношению к плоскости  $I-I$ , то момент  $M_{\text{опр}}^{\text{АА}}$  равен нулю, и действует только опрокидывающий момент  $M_{\text{опр}}^{\text{ББ}}$  (рис. 1.2, в).

Опрокидывающие моменты  $M_{\text{опр}}^{\text{АА}}$  и  $M_{\text{опр}}^{\text{ББ}}$  определяют относительно линий опрокидывания  $A-A$  и  $B-B$  (рис. 1.2). Линия  $A-A$  для машин с гусеничным ходовым устройством проходит вдоль внешнего края опорных катков нагруженной гусеницы, в местах касания катков к беговой дорожке.

Для машин с колёсным ходовым устройством, ребро опрокидывания получают соединением средних точек площадок контакта нагруженных переднего и заднего колёс. Линия  $B-B$  (ребро опрокидывания) для машин на гу-

сеничном ходу проходит через точки касания к беговым дорожкам двух наиболее нагруженных, крайних опорных катков с каждой стороны. Для машин на колёсном ходовом устройстве линия *Б-Б* проходит через средние точки площадок контакта нагруженных колёс.

Если машина оснащена аутригерами (выносными опорами) и аутригеры выступают за контур тележки, то контур проходит по поперечным и продольным осям аутригеров в наиболее напряжённых зонах опоры. При статическом расчете машин природообустройства и машин водохозяйственного строительства рассматриваются три расчетных положения в вертикальных (продольной и поперечной) плоскостях:

1. *рабочее положение* – рассматривают при разработке сооружения заданных параметров, при максимальном сопротивлении разрабатываемой среды, максимальном радиусе копания (или вылете рабочего оборудования) относительно оси симметрии базовой машины и при прямолинейном движении в горизонтальной плоскости.

2. *транспортное положение* – рассматривают при движении по продольному или поперечному уклону, действию сил инерции, ветровой нагрузки и установке рабочего оборудования в сторону опрокидывания.

3. *при переводе из рабочего положения в транспортное* – рассматривают положение при подъёме рабочего оборудования с максимальным вылетом (без изменения ориентации машины).

При этом учитывают 3 случая:

1. торможение при движении под уклон с направлением рабочего оборудования также под углом и ветровой нагрузки в сторону спуска;

2. разгон при движении на подъём и рабочем оборудовании, повернутом под уклон при действии на него ветровой нагрузки;

3. движение с транспортной скоростью поперёк уклона с поворотом при минимальном радиусе, направленном под уклон (при транспортном положении рабочего оборудования) и воздействии силовой нагрузки под уклон.

В горизонтальной плоскости рассчитывается только рабочее положение. В статическом расчете схему машины разбивают на части, вес которых известен. Сумму моментов сил тяжести этих частей относительно координат *У* или *Х* приравнивают к моменту силы тяжести всей машины относительно той же оси.

Из этих двух уравнений определяют координаты центра тяжести.

Методика расчета предусматривает несколько последовательных этапов:

- методами теоретической механики определяются силы тяжести и положения центров тяжести всех сборочных единиц (СЕ) механизмов, агрегатов (веса которых известны), расположенных (на раме машины или поворотной платформе экскаватора) и машины в целом;

- определяются силы и реакции, действующие на машину в данном расчетном положении учитывая, при необходимости, ветровые, инерционные и центробежные нагрузки;

- ориентировочно принимают скоростной напор воздуха в рабочем положении 25-40 Н/м<sup>2</sup> и транспортном положении 100-200 Н/м<sup>2</sup>.

Ветровая нагрузка (сопротивление от силы ветра), Н:

$$F_B = k_{\text{опт}} \gamma_B S_B \vartheta^2$$

где:  $k_{\text{опт}}$  – коэффициент обтекаемости, Н·с<sup>2</sup>/(кг·м);  $k_{\text{опт}} = 0,6-0,7$  Н·с<sup>2</sup>/(кг·м);

$\gamma_B$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $\gamma_B = 1-1,25$  кг/м<sup>3</sup>;

$S_B$  – подветренная площадь (площадь лобового сопротивления), м<sup>2</sup>;

$\vartheta$  – скорость ветра, м/сек;

Ветровая нагрузка учитывается в основном на пневмоколесных технологических машинах при транспортном режиме.

Силы инерции при разгоне с места или торможении для базовой машины  $F_B$  и навесной или полуприцепной части  $F_H$  (Н) определяют по формулам:

$$F_{\text{ИБ}} = X' \cdot g_B \cdot v_P (3,6 \cdot 10^3 g \cdot t_P)^{-1} F_{\text{ИН}} = X' \cdot g_H \cdot v_P (3,6 \cdot 10^3 g \cdot t_P)^{-1}$$

где:  $X'$  – коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся масс трансмиссии и двигателя,  $X' = 1,1 - 1,3$ ;

$g_B$  и  $g_H$  силы тяжести базовой машины и навесной (полунавесной) части, кН;

$v_P$  – скорость машины, м/ч;

$g$  – ускорение свободного падения, м/сек<sup>2</sup>

$t_P$  – время разгона,  $t_P = 3 - 4$  с.

При движении по поперечному уклону с поворотом центробежную силу машины  $F_{\text{иц}}$  определяют по формуле:

$$F_{\text{иц}} = \sum g_H \cdot v^2 (g \cdot r_{\text{пов}})^{-1} \cdot 3,6^{-2} \cdot 10^{-6}$$

где:  $\sum g_H$  – суммарная сила тяжести машины, кН;

$v_P$  – скорость движения м/сек;

$r_{\text{пов}}$  – максимальный радиус поворота, м.

При статическом расчете составляют в масштабе схему машины в необходимых расчетных положениях с нанесёнными реакциями и внешними силами и определяют графически длину плеч  $X_i, Y_i, Z_i$  –каждой из сил и реакций до соответствующих рёбер (точек) опрокидывания; плечи обозначают  $X, Y, Z$  с индексами соответствующими силам и реакциям.

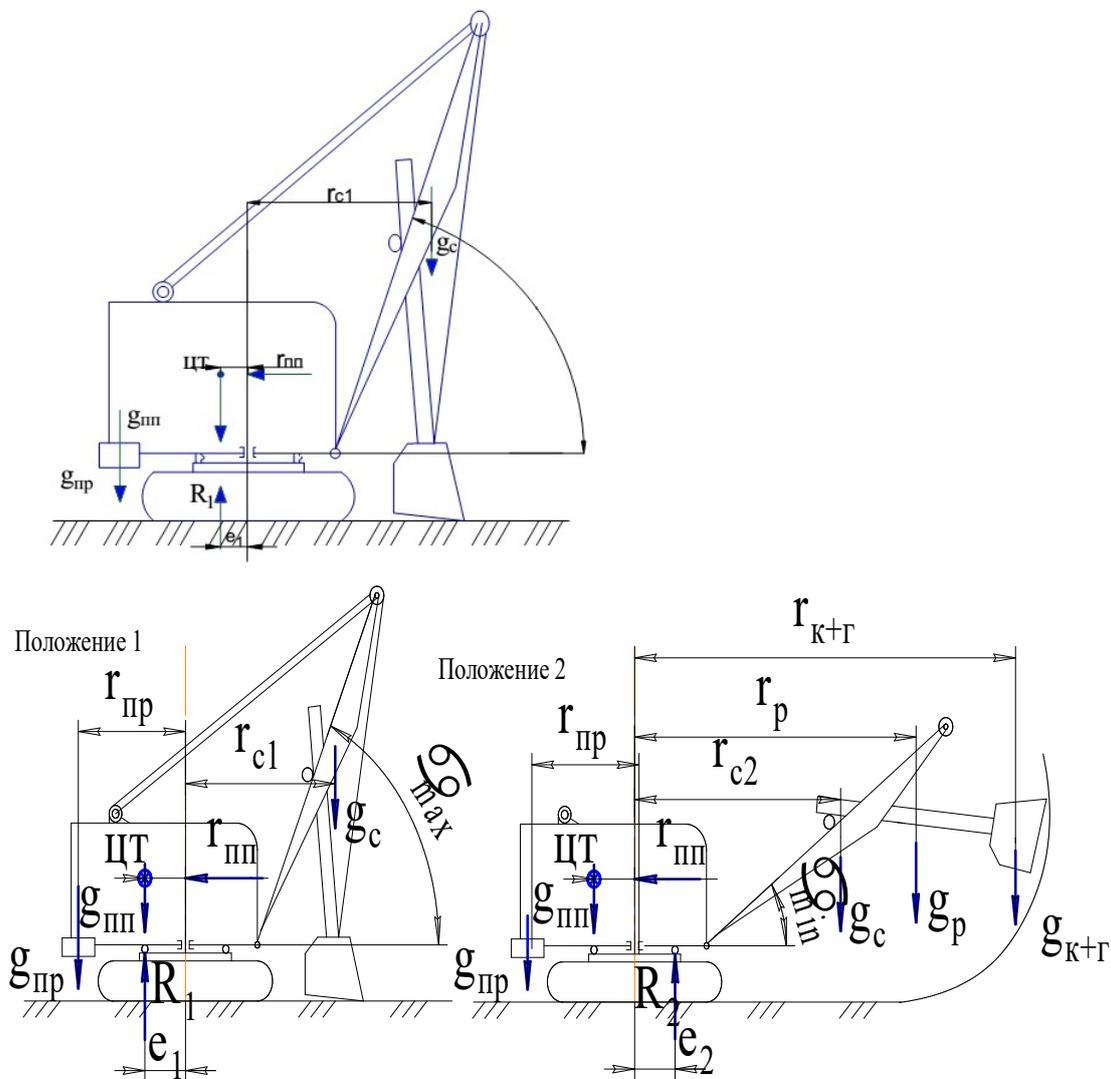


Рис. 1.3.Схема к расчету выбора противовеса для рабочего оборудования прямая лопата:

$g_{пр}, g_{пш}, g_c, g_p, g_{к+г}$  – силы тяжести соответственно противовеса, механизмов на поворотной платформе, стрелы, рукояти, ковша с грунтом;  $r_{пр}, r_{пш}, r_c, r_p, r_{к+г}$  – плечи сил соответственно тяжести противовеса, тяжести механизмов на поворотной платформе, тяжести стрелы, тяжести рукояти и тяжести ковша с грунтом.

При расчете одноковшовых экскаваторов (ЭО) на устойчивость, в общем случае, поворотная платформа находится в равновесии, если результирующая сил тяжести поворотной части не выходит за пределы опорного контура, проходящего через центральные точки контактов опорных катков с опорно-поворотным кругом во время поворота платформы с механизмами и рабочим оборудованием. Это же условие является основным и при определении (подборе) минимального противовеса.

При подборе противовеса рассматривают 2 положения нагрузки машины (рис. 1.3):

*1-е положение* - когда есть возможность выхода равнодействующей  $R_1$  силы тяжести поворотной платформы ЭО за пределы опорно-поворотного круга в сторону противовеса;

*2-е положение* – когда есть возможность выхода равнодействующей  $R_2$  силы тяжести поворотной платформы ЭО за пределы опорно-поворотного круга в сторону рабочего оборудования.

Противовес подбирают аналитически или графически. При аналитическом подборе пользуются уравниванием моментов всех сил относительно точек (ребер) опрокидывания опорного контура. При графическом подборе используется способ веревочного многоугольника. Противовес, подобранный по первой расчетной схеме может не обеспечить устойчивость, во втором расчетном положении, если механизмы на поворотной платформе смещены вперед, рабочее оборудование длинное и тяжелое, а опорный контур небольшой. В этом случае платформу уравнивают смещением механизмов на поворотной платформе назад, уменьшением веса рабочего оборудования и увеличением опорного контура затем расчет повторяют.

Для универсальных одноковшовых экскаваторов подбирают противовес, удовлетворяющий условиям применения как можно большего числа видов рабочего оборудования. Обычно подбирают три противовеса: один для рабочего оборудования прямая лопата, второй для крана и третий для остальных видов рабочего оборудования.

Расчетные схемы одноковшовых экскаваторов с другими видами рабочего оборудования принимаются по тем же принципам: первая – при положении рабочего оборудования перед началом копания, вторая – при ковше с грунтом в положении, соответствующем началу поворота экскаватора на выгрузку.

Рассмотрим методику выбора противовеса, для одноковшового экскаватора с рабочим оборудованием прямая лопата. Равнодействующую масс поворотной платформы и рабочего оборудования смещают в два крайних положения. Начало копания рисунке 1.3 (*положение 1*): ковш опирается на грунт, его сила тяжести и сила тяжести рукояти не оказывают влияния на равновесие платформы, стрела поднята под углом  $\alpha_{та} = 60^0$ , в равновесии платформы участвуют сила тяжести стрелы  $g_c$ , сила тяжести противовеса  $g_{np}$  и сила тяжести поворотной платформы  $g_{пп}$  со всеми механизмами и сборочными единицами без противовеса и рабочего оборудования.

Расчетный вылет ковша, полностью загруженного грунтом (*положение 2*): стрела расположена под углом  $\alpha_{min} = 35 \dots 40^0$ . В равновесии платформы участвуют силы тяжести рукояти  $g_p$ , ковша с грунтом  $g_{к+г}$ , стрелы  $g_c$ , противовеса  $g_{np}$  и механизмов на платформе  $g_{пп}$ .

Равнодействующие силы (Н) тяжести в соответствующих положениях:

$$R_1 = g_{пп} + g_{np} + g_c,$$

$$R_2 = g_{пп} + g_{np} + g_c + g_p + g_{к+г}$$

Результирующие опрокидывающие моменты (Н·м) относительно оси поворотной платформы:

$$M_1 = g_{пп} \cdot r_{пп} + g_{np} \cdot r_{np} - g_c \cdot r_{c1};$$

$$M_2 = g_c \cdot r_{c2} + g_p \cdot r_p + g_{к+г} \cdot r_{к+г} - g_{пп} \cdot r_{пп} - g_{np} \cdot r_{np}$$

Смещение  $e_1$  и  $e_2$  (м) равнодействующих относительно оси центральной цапфы:

$$e_1 = \frac{M_1}{R_1};$$

$$e_2 = \frac{M_2}{R_2};$$

$$\frac{e_1}{e_2} = 1,0 \dots 1,1$$

Величина противовеса, рассчитанная при соблюдении данных условий, принимается как наиболее рациональная.

## 1.1. Одноковшовый экскаватор с рабочим оборудованием прямая лопата

Общую устойчивость одноковшового канатного экскаватора с рабочим оборудованием прямая лопата проводят для двух рабочих и двух транспортных положений. Наиболее неблагоприятным случаем работы считается тот, при котором режущая кромка ковша находится на уровне оси напорного вала при максимальном выдвигении (вылете рукояти с ковшом) и максимальной расчетной толщине стружки (рис. 1.3, Положение 2, рис. 1.4).

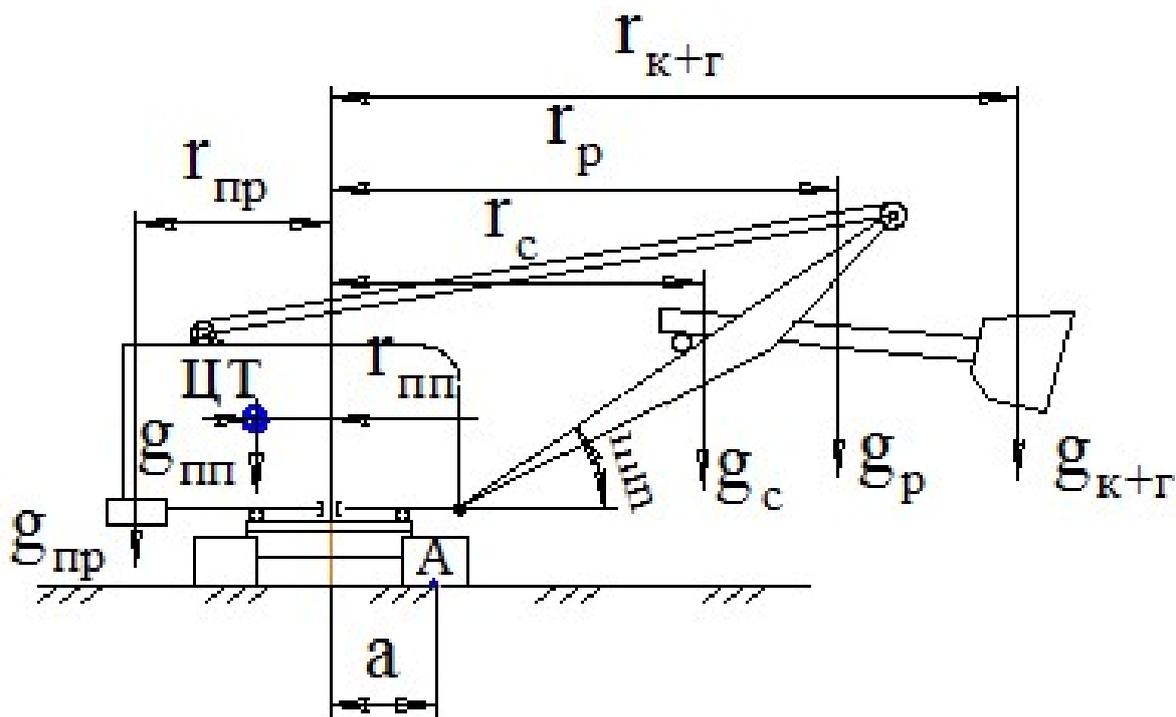


Рис. 1.4. Схема к определению устойчивости одноковшового экскаватора с рабочим оборудованием прямая лопата:

$G_{пр}, G_{пп}, G_c, G_p, G_{к+г}$  – силы тяжести соответственно: противовеса, механизмов на поворотной платформе, стрелы, рукояти, ковша с грунтом;  $r_{пр}, r_{пп}, r_c, r_p, r_{к+г}$  – плечи сил соответственно: тяжести противовеса, тяжести механизмов на поворотной платформе, тяжести стрелы, тяжести рукояти и тяжести ковша с грунтом.

При этом рассматривают два случая: режущая часть ковша максимально изношена (затуплена) и острая (не изношенная). При затуплённой режущей кромке касательная сила сопротивления грунта  $P_{коп}$  – максимальна, а нормальная сила сопротивления грунта  $P_{н\ коп.}$ , направлена в сторону от грунтового массива (ковш выталкивается из забоя).

При острой режущей кромке – касательная сила сопротивления грунта меньше чем в первом случае, но зато нормальная сила сопротивления направлена в сторону забоя. Для проверки устойчивости машины составляют уравнения моментов всех сил, действующих на ЭО относительно точки  $A$ , находящейся на наружной грани опорных катков гусеницы.

Обычно коэффициент устойчивости находится в пределах  $K_{уст} = 1,05 \dots 1,15$ . Большие значения коэффициентов указывают на излишнюю массу ЭО.

Устойчивость экскаватора оценивают коэффициентом собственной устойчивости  $K_{с.у.}$ , который определяется по формуле:

$$K_{с.у.} = \frac{\sum M_y}{\sum M_o}$$

где:  $\sum M_y$  – сумма удерживающих моментов;  $\sum M_o$  – сумма опрокидывающих моментов.

При определении устойчивости по основным нагрузкам экскаватора, оборудованного прямой лопатой, исходят из того, что ось поворотной платформы перпендикулярна оси ходовой части, рукоять выдвинута на полный вылет, ковш наполнен грунтом, стрела наклонена к горизонту  $35-40^\circ$  и работа производится на горизонтальном участке (рис. 1.4).

Коэффициент рабочей устойчивости определяют из равновесия сил, действующих на машину относительно точки  $A$ :

$$K_{р.у.} = \frac{g_{пп}(r_{пп} + a) + g_{пр}(r_{пр} + a)}{g_c(r_c - a) + g_p(r_p - a) + g_{к+г}(r_{к+г} - a)}$$

Расчет устойчивости выполняют по основным нагрузкам, обеспечивая при этом  $K_{с.у.} = 1 \dots 1,15$

## 1.2. Драглайн

Устойчивость экскаватора с рабочим оборудованием драглайн проверяют при наихудших условиях работы, т.е. при установке рабочего оборудования поперёк движителя на наклонной площадке с углом  $\gamma = 5-10^\circ$ , под минимальным рабочим углом установки стрелы  $\alpha = 25-30^\circ$  с груженым ковшом на максимальном вылете, с учётом ветровых нагрузок в сторону опрокидывания и действия инерционных нагрузок, вызываемых моментом поворота (рис. 1.5).

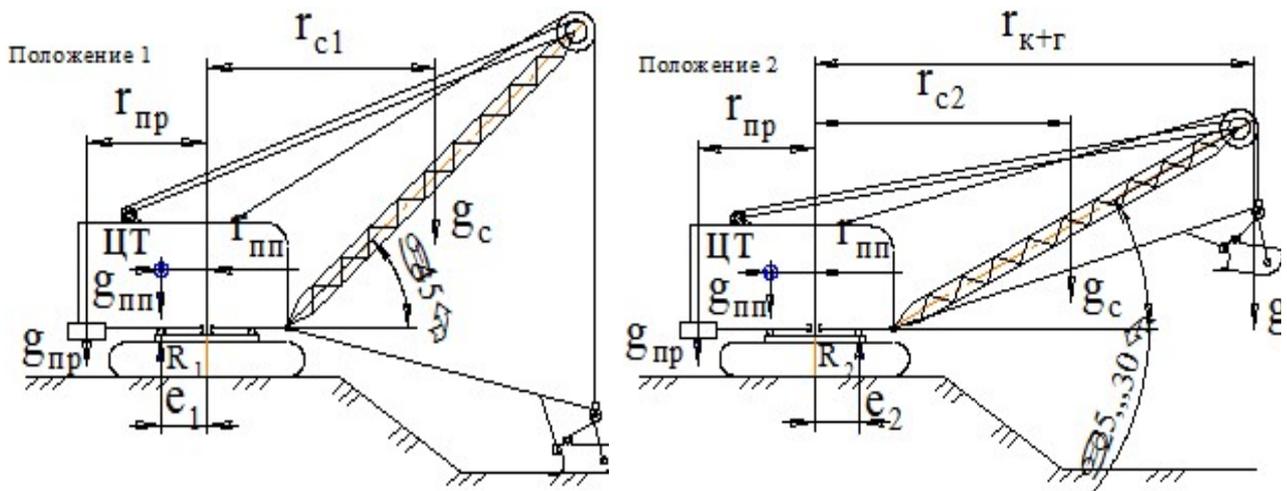


Рис. 1.5. Схема к расчету по выбору противовеса для рабочего оборудования драглайн:

$G_{пр}$ ,  $G_{пп}$ ,  $G_{с}$ ,  $G_{к+Г}$  – силы тяжести соответственно противовеса, механизмов на поворотной платформе, стрелы, ковша с грунтом;  $r_{пр}$ ,  $r_{пп}$ ,  $r_{с}$ ,  $r_{к+Г}$  – плечи сил соответственно тяжести противовеса, тяжести механизмов на поворотной платформе, тяжести стрелы и тяжести ковша с грунтом.

Удерживающий момент  $M_{уд}$  равен сумме моментов от весов всех сборочных единиц экскаватора, установленных на поворотной платформе без рабочего оборудования, относительно точки опрокидывания  $A$ .

Необходимый коэффициент запаса устойчивости определяется по условию:

$$1,15 > K_{р.у.} = \frac{M_{уд}}{M_{опр}} > 1,1$$

Методика выбора противовеса, для рабочего оборудования драглайн осуществляется следующим образом. Равнодействующую весов всех сборочных единиц (узлов) установленных на поворотной платформе и рабочего оборудования, смещают в два крайних положения:

*положение 1* – начало копания: ковш лежит на грунте, его сила тяжести не оказывают влияния на равновесие платформы, стрела поднята под углом  $\alpha_{max} = 45^{\circ}$ , в равновесии платформы участвуют: сила тяжести стрелы  $G_{с}$ , сила тяжести противовеса  $G_{пр}$  и сила тяжести поворотной платформы  $G_{пп}$  со всеми механизмами и сборочными единицами без противовеса и рабочего оборудования;

*положение 2* – расчетный вылет ковша, полностью загруженного грунтом, стрела расположена под углом  $\alpha_{\min} = 25 \dots 30^\circ$ . В равновесии платформы участвуют силы тяжести ковша с грунтом  $g_{к+г}$ , стрелы  $g_c$ , противовеса  $g_{np}$  и механизмов на платформе  $g_{пп}$ .

Равнодействующие силы (кН) тяжести в соответствующих положениях:

$$R_1 = g_{пп} + g_{np} + g_c,$$

$$R_2 = g_{пп} + g_{np} + g_c + g_{к+г}$$

Результирующие опрокидывающие моменты (Н·м) относительно оси поворотной платформы определяются по формулам:

$$M_1 = g_{пп} \cdot r_{пп} + g_{np} \cdot r_{np} - g_c \cdot r_{c1};$$

$$M_2 = g_c \cdot r_{c2} + g_{к+г} \cdot r_{к+г} - g_{пп} \cdot r_{пп} - g_{np} \cdot r_{np}$$

Смещение  $e_1$  и  $e_2$  (м) равнодействующих сил относительно оси поворота

$$e_1 = \frac{M_1}{R_1}; e_2 = \frac{M_2}{R_2};$$

$$\frac{e_1}{e_2} = 1,0 \dots 1,1$$

При соблюдении этих условий найденный противовес принимается как наиболее рациональный (рис. 1.6).

Расчетный вылет ковша, полностью загруженного грунтом (*положение 1*): стрела расположена под углом  $\alpha_{\min} = 25 \dots 30^\circ$ .

Устойчивость экскаватора оценивают коэффициентом собственной устойчивости  $K_{с.у.}$  определяемым по формуле:

$$K_{с.у.} = \frac{\sum M_y}{\sum M_o}$$

где:  $\sum M_y$  – сумма удерживающих моментов;  $\sum M_o$  – сумма опрокидывающих моментов.

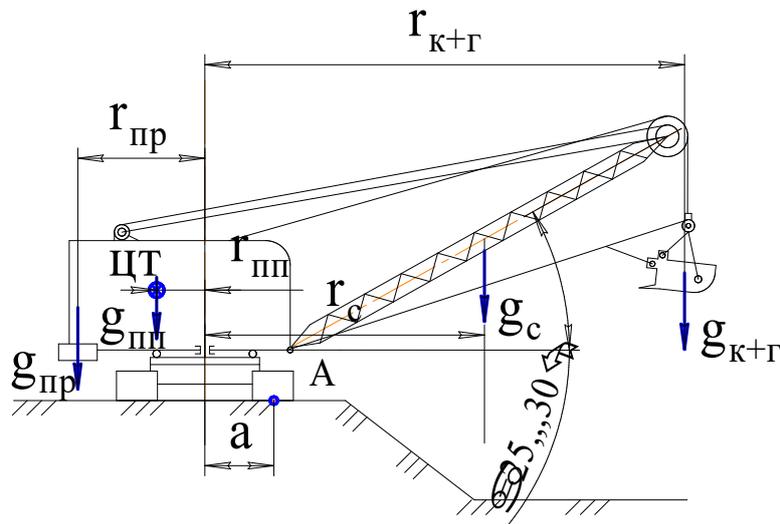


Рис. 1.6. Схема сил к определению устойчивости экскаватора с рабочим оборудованием драглайн:

$g_{пр}$ ,  $g_{пп}$ ,  $g_{с}$ ,  $g_{к+г}$  – силы тяжести соответственно противовеса, механизмов на поворотной платформе, стрелы, ковша с грунтом;  $r_{пр}$ ,  $r_{пп}$ ,  $r_{с}$ ,  $r_{к+г}$  – плечи сил соответственно тяжести противовеса, тяжести механизмов на поворотной платформе, тяжести стрелы и тяжести ковша с грунтом;  $a$  – расстояние от оси поворота экскаватора до точки опрокидывания.

Расчет устойчивости выполняют по основным нагрузкам, обеспечивая при этом  $K_{с.у.} = 1 \dots 1,15$ . Коэффициент рабочей устойчивости определяют из равновесия сил, действующих на машину относительно точки  $A$ :

$$K_{р.у.} = \frac{g_{пп}(r_{пп} + a) + g_{пр}(r_{пр} + a)}{g_{с}(r_{с2} - a) + g_{к+г}(r_{к+г} - a)}$$

### 1.3. Одноковшовый экскаватор с гидравлическим рабочим оборудованием обратная лопата

Отличительной чертой гидравлических экскаваторов от землеройных машин с канатно-блочным приводом элементов рабочего оборудования является более высокие скорости проведения рабочих операций.

На рисунках 1.7 ... 1.12, представлены рабочие положения для проверки одноковшовых гидравлических экскаваторов на устойчивость.

На рисунке 1.7 представлено расчетное положение движения экскаватора на подъем с максимальным углом подъёма " $\alpha$ ". Рабочее оборудование находится в продольной плоскости ходового устройства. Ребро опрокидыва-

ния находится под задней осью ходового устройства. Наиболее неустойчивым для данной позиции состоянием будет положение экскаватора при максимально поднятой стреле, наиболее приближенными к поворотной платформе рукоятью и ковшом (без грунта), при максимальном ветровом давлении в направлении возможного опрокидывания экскаватора. Ветровая нагрузка способствует созданию опрокидывающего момента. При этом все силы тяжести сборочных единиц экскаватора создают удерживающий момент. Для предотвращения опрокидывания и повышения устойчивости в данном положении добиваются путем опускания стрелы и выноса рукояти с ковшом на максимально возможный вылет.

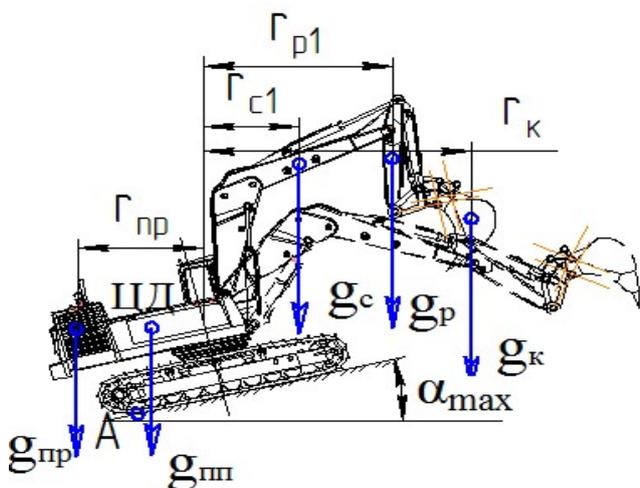


Рис. 1.7. Проверка на устойчивость гидравлического экскаватора при движении на максимальный подъем:

$g_{пр}$ ,  $g_{пп}$ ,  $g_c$ ,  $g_p$ ,  $g_k$  – силы тяжести соответственно противовеса, механизмов на поворотной платформе, стрелы, рукояти, ковша;  $r_{пр}$ ,  $r_{пп}$ ,  $r_c$ ,  $r_p$ ,  $r_k$  – плечи сил соответственно тяжести противовеса, тяжести механизмов на поворотной платформе, тяжести стрелы, тяжести рукояти и тяжести ковша.

На рисунке 1.8 представлено расчетное положение при движении экскаватора на спуск с максимальным углом.

Рабочее оборудование находится в продольной плоскости ходового устройства, стрела опущена, рукоять с порожним ковшом максимально выдвинута в направлении движения. Максимальное ветровое давление находится в том же направлении.

Возможное ребро опрокидывания находится под передней осью ходового устройства. Повышение устойчивости в данном положении достигается путем максимального подъема стрелы и максимальном приближении рукояти с ковшом к поворотной платформе.

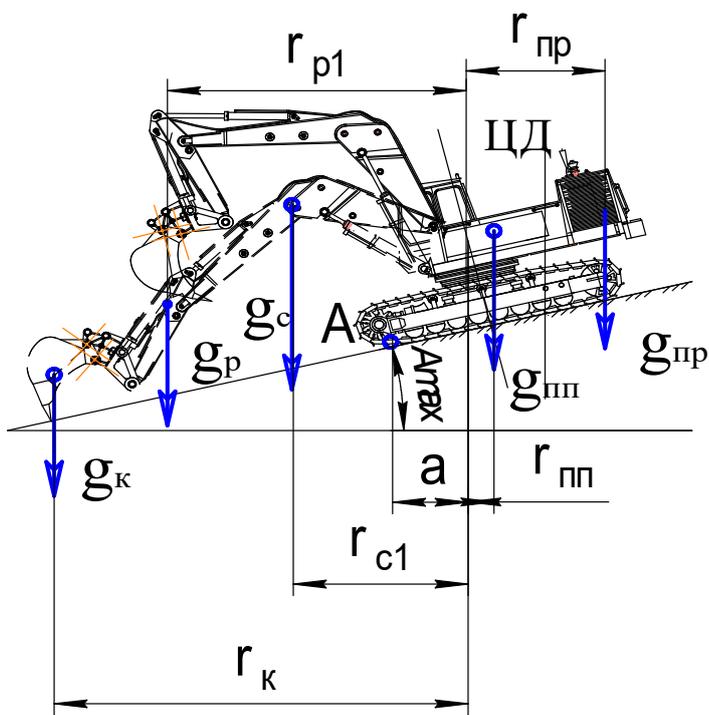


Рис. 1.8. Проверка на устойчивость гидравлического экскаватора при движении на спуск под максимальным углом:

$G_{пр}, G_{пп}, G_c, G_p, G_k$  – силы тяжести соответственно противовеса, механизмов на поворотной платформе, стрелы, рукояти, ковша;  $r_{пр}, r_{пп}, r_c, r_p, r_k$  – плечи сил соответственно тяжести противовеса, тяжести механизмов на поворотной платформе, тяжести стрелы, тяжести рукояти и тяжести ковша;  $a$  – расстояние от точки опрокидывания до вертикальной составляющей оси поворота.

На рисунке 1.9 представлено расчетное положение при движении экскаватора на косогоре с уклоном  $15^\circ$  при положении рабочего оборудования вдоль оси движения.

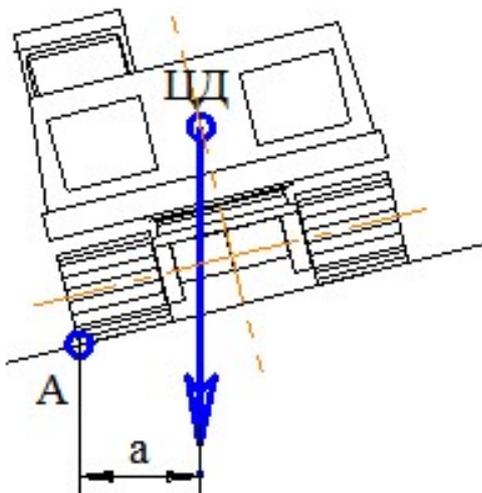


Рис. 1.9. Проверка на устойчивость гидравлического экскаватора при движении на косогоре с уклоном  $15^\circ$  при положении рабочего оборудования вдоль оси движения.

Из рисунка видно, что величина расстояния от оси поворота экскаватора до точки опрокидывания значительно сокращается при движении на уклоне.

Рабочее оборудование находится в продольной плоскости ходового устройства. Стрела максимально поднята, рукоять и ковш подтянуты к поворотной платформе, ветровое давление действует в направлении уклона. Возможным ребром опрокидывания может быть внешняя кромка гребней гусе-

ничной цепи для гусеничных экскаваторов, или линия, проходящая через центры контактных пятен под внешними колесами со стороны уклона для пневмоколесных экскаваторов. Одним из вариантов обеспечения устойчивого движения в этом случае может быть поворот рабочего оборудования на  $90^\circ$  в удерживающую сторону. Однако такое решение может обеспечить устойчивость при допустимых значениях уклона и при перемещении на незначительные расстояния.

На рисунке 1.10 представлено расчетное положение гидравлического экскаватора в режиме поворота на выгрузку ковша, заполненного грунтом в конце разгона, когда угловая скорость достигает максимального значения  $\omega = \omega_{max}$ , а рабочее оборудование с полностью загруженным ковшом находится на максимальном вылете поперек ходового устройства.

Опорная поверхность при этом расположена под углом в  $5^\circ$  в направлении возможного ребра опрокидывания, в этом же направлении действует ветровое давление рабочего состояния и центробежная сила, момент от которой относительно возможного ребра опрокидывания определяется по формуле:

$$M_{цб} = \omega_{max}^2 \sum m_i r_i h_i$$

где:  $m_i$  – масса  $i$ -го вращающегося элемента;  $r_i, h_i$  – радиус центра масс  $i$ -го элемента относительно оси вращения экскаватора и его высота относительно ребра возможного опрокидывания.

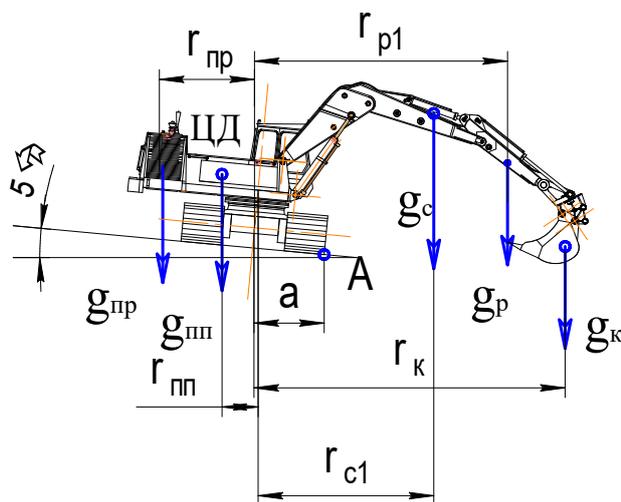


Рис. 1.10. Проверка на устойчивость гидравлического экскаватора в режиме поворота на выгрузку ковша, заполненного грунтом:

$G_{пр}, G_{пп}, G_{с}, G_{р}, G_{к}$  – силы тяжести соответственно противовеса, механизмов на поворотной платформе, стрелы, рукояти, ковша с грунтом;  $r_{пр}, r_{пп}, r_{с}, r_{р}, r_{к}$  – плечи сил соответственно тяжести противовеса, тяжести механизмов на поворотной платформе, тяжести стрелы, тяжести рукояти и тяжести ковша с грунтом;  $a$  – расстояние от оси поворота экскаватора до точки опрокидывания.

На рисунке 1.11 представлено расчетное положение гидравлического экскаватора без рабочего оборудования при расположении экскаватора вдоль уклона  $12^{\circ}$  и положении противовеса под уклон.

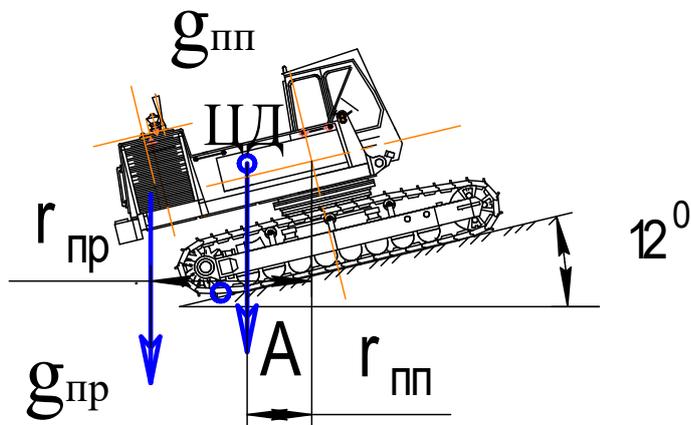


Рис. 1.11. Проверка устойчивости экскаватора без рабочего оборудования при расположении экскаватора вдоль уклона в  $12^{\circ}$  и положении противовеса под уклон:

$g_{пп}, g_{пр}$  - силы тяжести соответственно механизмов на поворотной платформе, противовеса;  $r_{пр}, r_{пп}$  - плечи сил соответственно тяжести противовеса, тяжести механизмов на поворотной платформе.

Рассмотрение данного случая продиктовано тем, в некоторых ситуациях транспортировки рабочее оборудование может быть снято с экскаватора. Расчет производят аналогично расчету, проведенному по рисунку 1.7.

На рисунке 1.12 представлено расчетное положение гидравлического экскаватора при максимальной глубине и минимальном радиусе копания.

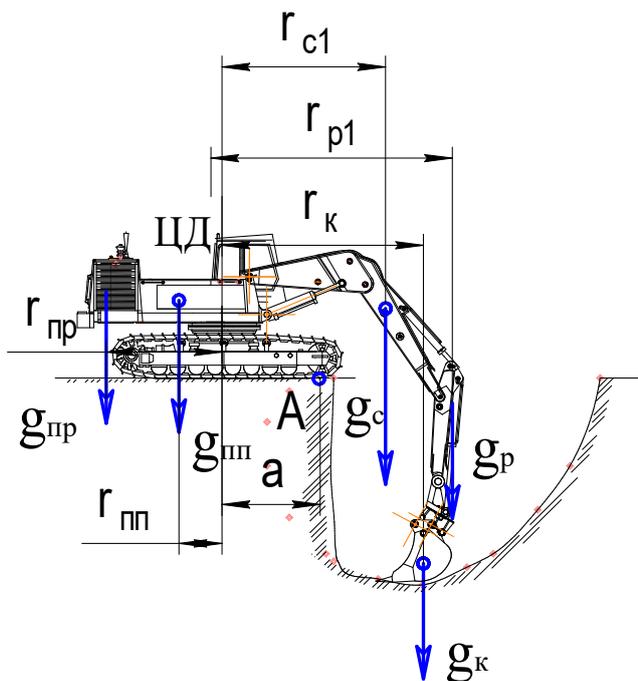


Рис. 1.12. Проверка на устойчивость гидравлического экскаватора при максимальной глубине и минимальном радиусе копания:

$g_{пр}, g_{пп}, g_с, g_р, g_к$  - силы тяжести соответственно противовеса, механизмов на поворотной платформе, стрелы, рукояти, ковша с том;  $r_{пр}, r_{пп}, r_с, r_р, r_к$  - плечи сил соответственно тяжести противовеса, тяжести механизмов на поворотной платформе, тяжести стрелы, тяжести рукояти и тяжести ковша;  $a$  - расстояние от оси поворота экскаватора до точки опрокидывания.

Стрела, рукоять и ковш максимально опущены на глубину копания колодца. Потеря устойчивости может произойти при копании рукоятью с ковшом или только при работе ковшом при недопустимо большой стружке. Проверка устойчивости экскаватора в режиме копания грунта несколько условна, т.к. в случае начала опрокидывания экскаватора, машинист имеет возможность мгновенно опереться рабочим оборудованием о подошву забоя. Копящий экскаватор сохранит равновесие, потому что в этом случае взаимодействующий с грунтом ковш выполняет функцию опоры, а сопротивления на зубьях ковша оказываются реакцией этой опоры.

#### 1.4. Траншейный экскаватор

Вследствие сравнительно малых габаритов траншейных экскаваторов ветровой нагрузкой для них при расчете устойчивости обычно пренебрегают, сводя расчет к рассмотрению двух состояний экскаватора: рабочего и транспортного (рис. 1.13).

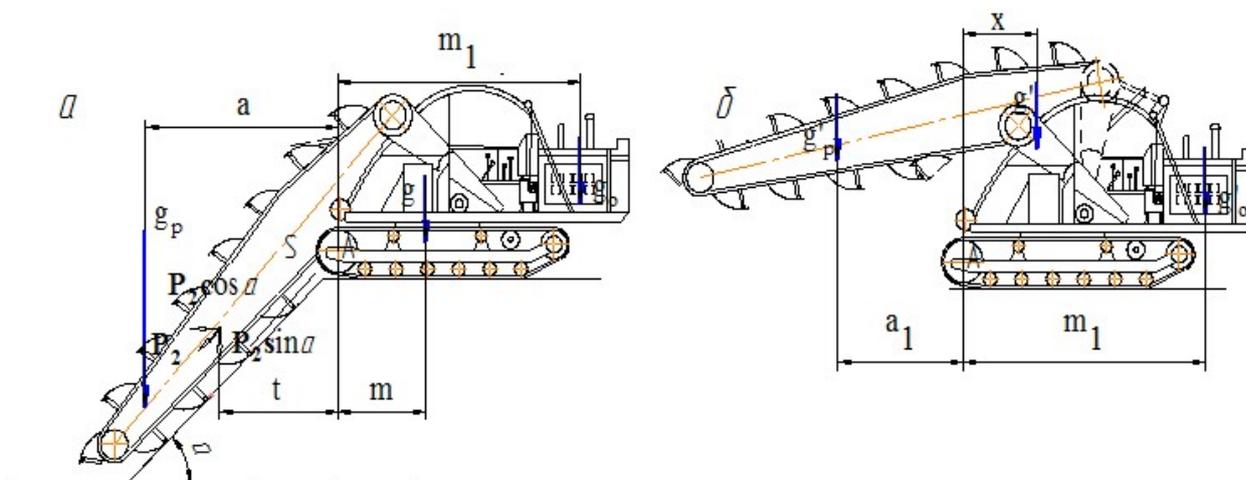


Рис. 1.13. Схема сил к расчету устойчивости траншейного экскаватора:

$a$  – рабочее положение,  $b$  – транспортное:

$g_0$  – вес экскаватора с транспортером и грунтом на нем;  $g_p$  – вес ковшовой рамы с грунтом в ковшах;  $P_2$  – суммарное усилие копания;  $g$  – суммарное вертикальное давление на опорную поверхность;  $g'_0$  и  $g'_p$  – веса экскаватора соответственно с транспортером (без грунта на нем) и ковшовой рамы (без грунта в ковшах);  $x$  – положение центра тяжести.

Влияние угла наклона ковшовой рамы (при рытье траншей различной глубины) на устойчивость машины обычно незначительна. Если не требуется особой точности, то достаточно ограничиться средним из крайних возможных положений ковшовой рамы.

Для рабочего положения траншейного экскаватора (рис. 1.13, а) суммарное вертикальное давление на опорную поверхность составляет:

$$g = g_o + g_p + P_z \cdot \sin a \cdot t$$

где:  $g_o$  – вес экскаватора с транспортером и грунтом на нем;

$g_p$  – вес ковшовой рамы с грунтом в ковшах;

$P_z$  – суммарное усилие копания, определяемое ранее указанным путем.

Пользуясь обозначениями для координат всех действующих сил найдем положение равнодействующей вертикальных сил относительно точки опрокидывания  $A$  из выражения (рис. 2.13, а):

$$m = \frac{g_o \cdot m_1 - g_p \cdot a - P_z \cdot \sin a \cdot t}{g}$$

Коэффициент устойчивости машины определится из соотношения опрокидывающих и удерживающих моментов:

$$K_{уст.} = \frac{\sum M_{уд.}}{\sum M_{опр.}} = \frac{g_o \cdot m_1}{g_p \cdot a + P_z t \cdot \sin a} \geq 1,25$$

Для транспортного положения машины (рис. 2.13, б) имеем:

1. Равнодействующая вертикальных сил:

$$g' = g'_o + g'_p$$

где:  $g'_o$  и  $g'_p$  – вес экскаватора соответственно с транспортером (без грунта на нем) и ковшовой рамы (без грунта в ковшах);

2. Смещение центра тяжести машины:

$$x = \frac{g'_o \cdot m_1 - g'_p \cdot a_1}{g'}$$

Коэффициент устойчивости в этом случае выразится соотношением:

$$K_{уст.} = \frac{\sum M_{уд.}}{\sum M_{опр.}} = \frac{g'_o \cdot m_1}{g'_p \cdot a_1} \geq 1,25$$

## 1.5. Бульдозер

При статическом расчете бульдозера определяют отклонение центра давления от точки приложения результирующей всех сил  $R$ , действующих на движитель, до середины опорной поверхности машины, максимальное давление на кромках гусениц и общую устойчивость бульдозера.

Положение центра давления определяют для трех положений бульдозера:

1. на горизонтальной площадке с поднятым отвалом;
2. на горизонтальной площадке в процессе отделения от массива стружки оптимальной толщины при максимально возможном объеме грунта перед отвалом;
3. во время движения в горизонтальной траншее с перемещением максимально допустимого объема грунта без резания.

Отклонение центра давления от середины опорной поверхности для обеспечения устойчивости машины и равномерности износа деталей движителя не должно превышать  $1/6 L$ .

Смещение центра давления не должно приводить к отрыву от грунта передней и задней кромок гусениц или соответствующих колес машины. Смещение центра давления согласно условиям статики (рис. 1.14 и 1.15).

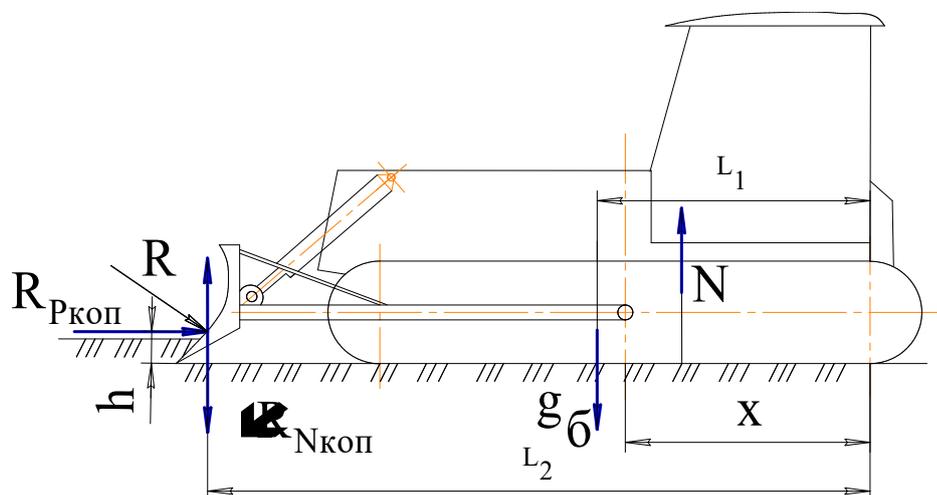


Рис. 1.14. Схема сил для определения координаты центра давления на грунт:

$g_{б}$  - эксплуатационная сила тяжести бульдозера;  $R_{P_{кон}}$  и  $R_{N_{кон}}$  - соответственно нормальная и касательная составляющие суммарного сопротивления грунта;  $N$  - суммарная опорная реакция грунта;  $L_1$ ,  $L_2$  и  $h$  - плечи сил;  $X$  - смещение центра давления.

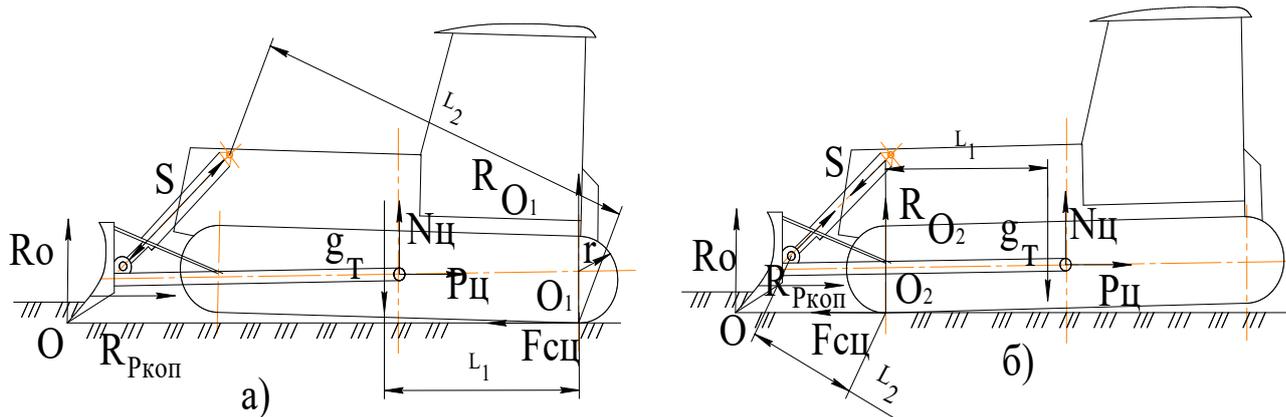


Рис. 1.15.Схемы сил для проверки устойчивости бульдозера:

$R_O$  – вертикальная реакция грунта, действующая на отвал;  $R_{P_{коп}}$  – нормальная составляющая суммарного сопротивления грунта;  $R_{O_1}$  и  $R_{O_2}$  – вертикальные реакции, действующие в ребрах опрокидывания;  $F_{сц}$  – сила сцепления движителя с поверхностью;  $g_m$  – сила тяжести трактора;  $N_{ц}$  и  $P_{ц}$  – вертикальные и горизонтальные реакции в цапфах, соединяющие толкающую раму с рамой трактора;  $S$  – усилие, развиваемое гидроцилиндрами.

$$X_D = (g_b \cdot L_1 + R_{N_{коп}} \cdot L_2 - R_{P_{коп}} \cdot h) / N$$

где:  $g_b$  – эксплуатационная сила тяжести бульдозера;

$R_{N_{коп}}$  и  $R_{P_{коп}}$  – соответственно нормальная и касательная составляющие суммарного сопротивления грунта копанию;

$N$  – суммарная опорная реакция грунта;

$L_1, L_2$  – плечи сил.

Общая устойчивость бульдозера определяется для двух случаев:

- упор отвала в препятствие (рис. 1.15, а);

- подъем отвала (рис. 1.15, б).

Проверка осуществляется по условию опрокидывания вокруг заднего  $O_1$  или переднего  $O_2$  ребра. При этом коэффициент устойчивости должен быть не менее 1,5.

$$K = \frac{\sum M_y}{\sum M_o} = 1,5$$

Относительно точки  $O_1$  на бульдозер действуют удерживающие моменты, направленные против часовой стрелки, и опрокидывающие, направленные по часовой стрелке. Относительно точки  $O_2$  действуют удерживающие

моменты, направленные по часовой стрелке, и опрокидывающие, направленные против часовой стрелки. На бульдозер действуют внешние силы: вертикальная реакция грунта  $R_o$ , действующая на отвал; сопротивление копанию грунта  $R_{P_{\text{коп}}}$ ; вертикальные реакции, действующие в ребрах  $R_{o1}$  и  $R_{o2}$ ; сила сцепления движителя с поверхностью  $F_{\text{сц}}$ ; сила тяжести трактора  $g_m$ .

На систему трактор – рабочее оборудование действуют такие внутренние силы: усилие, развиваемое гидроцилиндрами  $S$ , вертикальные и горизонтальные реакции в цапфах  $N_{\text{ц}}$  и  $P_{\text{ц}}$ , соединяющие толкающую раму с рамой трактора.

С достаточной для расчета точностью силы  $R_o$ ,  $R_{P_{\text{коп}}}$  и  $S$  можно считать пересекающимися в одной точке  $O$  и, следовательно, не создающими каких-либо моментов в вертикальной плоскости. Расположение балок толкающей рамы под небольшим углом к горизонту позволяет считать, что  $R_{P_{\text{коп}}} = 2P_{\text{ц}}$  и пренебрегать силами  $N_{\text{ц}}$ .

Тогда для первого случая (рис. 1.15, а) коэффициент устойчивости можно определить из выражения:

$$K_{\text{уст.}} = \frac{g_m \cdot L_1}{2S \cdot L_2 + 2P_{\text{ц}} \cdot r} = \frac{g_m \cdot L_1}{2S \cdot L_2 + R_{P_{\text{коп}}} \cdot r}$$

а для второго случая (рис. 2.15, б):

$$K_{\text{уст.}} = \frac{g_m \cdot L_1 + R_{P_{\text{коп}}} \cdot r}{S \cdot L_2}$$

где:  $L_1$ ,  $L_2$  и  $r$  – соответственно плечи сил  $g_m$ ,  $S$  и  $P_{\text{ц}}$ .

Наиболее опасен случай опрокидывания вокруг заднего ребра  $O_1$  при  $R_{P_{\text{коп}}} = F_{\text{сц}} = T_{\text{н.б.}}$ , где  $T_{\text{н.б.}}$  – момент навески.

При проектировании бульдозера эти же уравнения могут быть использованы для определения усилия, развиваемого гидроцилиндрами механизма подъема отвала при заданном коэффициенте устойчивости ( $K = 1,5$ ).

## 1.6. Сваебойное оборудование

Устойчивость сваебойного оборудования (копра) определяется для двух положений (рис. 1.16): транспортное (нерабочее) (а), и рабочее (б).

Коэффициент собственной устойчивости копра (в нерабочем положении) представляет собой отношение удерживающего момента  $M_y$  к моменту опрокидывания  $M_o$ :  $K_{c.y.} = \frac{M_y}{M_o} \geq 1,5$

$$K_{c.y.} = \frac{g_1 \cdot l_1 + g_2 \cdot l_2 - g_3 \cdot l_3 + g_4 \cdot l_4 + g_M \cdot \cos a l_M}{S'_1 \cdot H'_1 + S''_1 \cdot H''_1 + S_3 \cdot H_3 + S_4 \cdot H_4 + S_M \cdot H'_M} \geq 1,5$$

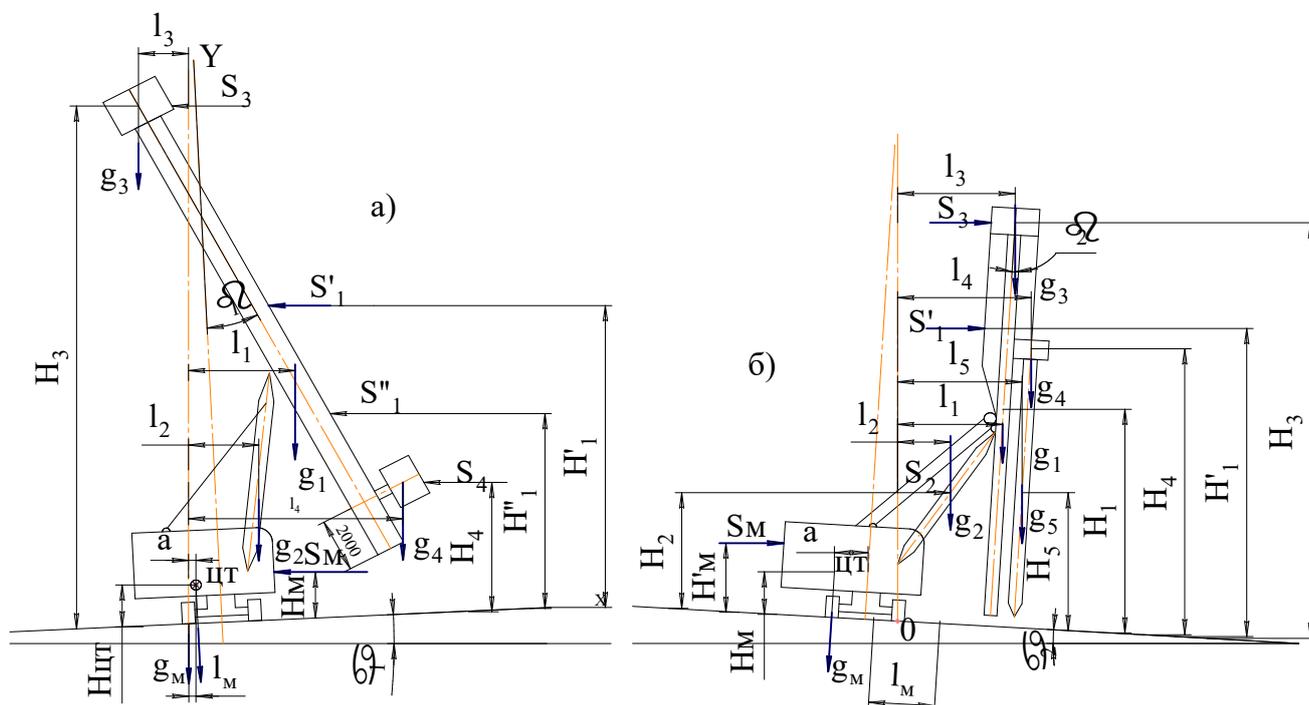


Рис. 1.16. Схема сил к расчету устойчивости сваебойного оборудования (копра):

$g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_M$  – соответственно силы тяжести копровой стрелы, опорной стрелы, головки стрелы, свайного погрузателя, сваи и базовой машины, Н;  $S'_1$  – ветровая нагрузка на верхнюю часть копровой стрелы, Н;  $S''_1$  – то же, на нижнюю часть копровой стрелы, Н;  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_M$  – то же, на соответствующие элементы копра, Н;  $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_M$  – расстояние от Ц.Т. соответствующих элементов копра до грани опрокидывания (точка касания колеса машины с поверхностью дороги), м;  $H'_1, H''_1, H_2, H_3, H_4, H_5, H_M, H'_M$  – расстояние от точек приложения соответствующих усилий до опорной поверхности, м;  $a$  – расстояние от ЦТ. машины до оси ее вращения, м;  $a_1$  и  $a_2$  – углы наклона опорной поверхности соответственно при нерабочем и рабочем положении копра в градусах.

Коэффициент собственной устойчивости копра (в нерабочем положении) представляет собой отношение удерживающего момента  $M_y$  к моменту опрокидывания  $M_o$ :  $K_{c.y.} = \frac{M_y}{M_o} \geq 1,5$

$$K_{c.y.} = \frac{g_1 \cdot l_1 + g_2 \cdot l_2 - g_3 \cdot l_3 + g_4 \cdot l_4 + g_m \cdot \cos a l_m}{S'_1 \cdot H'_1 + S''_1 \cdot H''_1 + S_3 \cdot H_3 + S_4 \cdot H_4 + S_m \cdot H'_m} \geq 1,5$$

Коэффициент грузовой устойчивости:

$$K_{г.у.} = \frac{M_y}{M_o} \geq 1,15$$

При определении грузовой устойчивости копра кроме указанных на рис. 1.16 сил учитывают инерционные центробежные нагрузки, возникающие при повороте базовой машины копра, т.е.

$$K_{г.у.} = \frac{g_m \cdot \cos a_2 l_m - M_y}{\sum g_i \cdot l_i + \sum S_i \cdot H_i} \geq 1,15$$

Величина ветровой нагрузки (Н):

$$W = q_o \cdot n \cdot C_x \cdot \gamma \cdot S$$

где:  $q_o$  – скоростной напор воздуха, для транспортного положения машины  $q_o = 100 \dots 200$  Па, для рабочего состояния  $q_o = 25 \dots 40$  Па;  $n$  – поправочный коэффициент на высоту (при  $0 \leq K_{г.у.} \leq 10$   $mn = 1$ ; при  $10 \leq h \leq 20$   $mn = 1,32$ );  $C_x$  – аэродинамический коэффициент,  $C_x = 0,45 \dots 1,2$ ;  $\gamma$  – коэффициент перегрузки;  $S$  – площадь наветренной поверхности,  $m^2$ .

Величина центробежной силы инерции, возникающей при повороте базовой машины с копром (Н):

$$P_i = \sum m_i \cdot \omega^2 \cdot r_i$$

где:  $m_i$  – масса отдельной поворачивающейся части копра, кг;  $\omega$  – угловая скорость вращения корпуса,  $s^{-1}$ ;  $r_i$  – радиус вращения центра тяжести поворачивающейся части копра, м.

## 1.7. Статический расчет каналоочистителя в системе «Mathcad»

Обеспечение устойчивой работы является важным требованием для машин природообустройства с боковой навеской. Такой машиной является каналоочиститель с рабочим оборудованием в виде жесткой направляющей на боковой составной стреле. В качестве базовой машины применяется гусеничный трактор ДТ-75.

Для расчета устойчивости данной машины предлагается использовать специальный модуль программы (рис. 1.17), выполненной в системе «Mathcad».

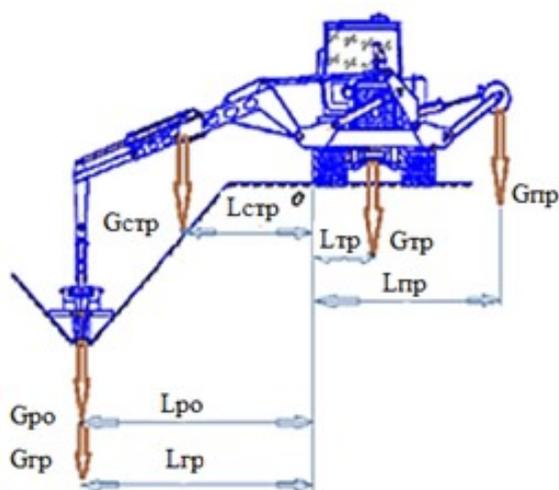


Рис. 1.17. Модуль программы в системе «Mathcad»:

$G_{тр}$  - вес базового трактора, кН;

$L_{тр}$  - расстояние от центра тяжести трактора до точки опрокидывания, м;

$G_{пр}$  - вес противовеса, кН;

$L_{пр}$  - расстояние от центра тяжести противовеса до точки опрокидывания, м;

$G_{гр}$  - вес ковша с грунтом, кН;

$L_{гр}$  - расстояние от центра тяжести ковша с грунтом до точки опрокидывания, м;

$G_{ро}$  - вес рабочего оборудования, кН;

$L_{ро}$  - расстояние от центра тяжести рабочего оборудования до точки опрокидывания, м;

$G_{стр}$  - вес стрелы, кН;

$L_{стр}$  - расстояние от центра тяжести стрелы до точки опрокидывания, м;

$M_{восс}$  - восстанавливающий момент, кН·м;

$M_{опр}$  - опрокидывающий момент, кН·м;

$K_{уст}$  - коэффициент устойчивости.

Он позволяет определить устойчивость, т.е. рассчитать коэффициент устойчивости, при различных значениях массы ковша с грунтом.

### Программа для расчета устойчивости каналоочистителя

$$f(G_{гр}, L_{гр}, G_{пр}, L_{пр}, G_{ро}, L_{ро}, G_{стр}, L_{стр}) := \begin{aligned} M_{восс} &\leftarrow G_{гр}L_{гр} + G_{пр}L_{пр} \\ M_{опр} &\leftarrow G_{гр}L_{гр} + G_{ро}L_{ро} + G_{стр}L_{стр} \\ K_{уст} &\leftarrow \frac{M_{восс}}{M_{опр}} \\ &\text{“positive” if } K_{уст} > 1.4 \\ &\text{“negative” if } K_{уст} < 1.4 \\ &\text{“zero” otherwise} \end{aligned}$$

Рис. 1.18. Листинг программы «Mathcad» для расчета устойчивости каналоочистителя

### Пример расчета

$$f(65, 1.5, 15, 2.5, 0.6, 2, 2, 2, 1, 2) = \text{“positive”}$$

Термин “positive” означает, что устойчивость каналоочистителя в данных условиях эксплуатации соблюдается, термин “negative” - устойчивость машины нарушена.

Удобство программы заключается в том, что в любой момент можно изменить значения массы ковша с грунтом, вылеты противовеса и стрелы. Аналогичные программы можно применять и для расчета других машин .

## ГЛАВА II. МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЯ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ

### 2.1. Общие сведения по гидромеханизации в водохозяйственном строительстве

*Гидромеханизация* – способ производства земляных работ, при котором для разработки, транспортирования и укладки грунта используется энергия потока или струи воды.

*Гидромеханизацией* называется единый технологический комплекс процессов и технических приёмов, связанных с разрушением грунтов и горных пород, их транспортированием и укладкой в тела сооружений или в отвалы гидравлическими методами.

Способами гидромеханизации выполняются самые разнообразные виды работ: разработка котлованов, выемок, каналов, намыв плотин, дамб и насыпей, углубление дна рек, планировка территорий, очистка от наносов каналов и прудов, вскрышные работы, гидравлическая добыча песка и гравия и др.

Комплекс земляных работ состоит из трёх основных процессов (операций):

- 1) разработка грунта;
- 2) транспортирование разработанного грунта к месту укладки;
- 3) укладка грунта в гидроотвал или конкретное сооружение (намыв).

Разработка грунта в гидромеханизации включает все способы разрушения грунтов с применением воды под напором. Разработка грунта, при которой он разрушается механическими средствами, а транспорт его осуществляется водой, называется комбинированной.

Гидравлическим транспортом считаются все случаи транспортирования грунта (и любых других материалов) в смеси с водой напорным (трубопроводам), или безнапорным (лоткам, каналам).

Перенос грунта в естественных потоках называют движением наносов.

Наносами называются грунты, перенесенные с исходного места потоками воды.

Намывом в гидромеханизации называют возведение земляных сооружений (плотин, дамб, насыпей, полунасыпей, перемычек и др.) гидравлическим способом, заключающемся в том, что грунт, предназначенный для укладки в сооружение, подаётся к сооружению в смеси с водой (как правило по

трубам), и эта гидросмесь воды с грунтом целенаправленно изливается на площадку строящегося сооружения. Вода частично фильтруется в тело сооружения, частично отводится в отстойники, где окончательно осветляется, после чего может повторно использоваться в гидромеханизации, либо употребляться для других целей. Осевший грунт из гидросмеси остаётся на площади намыва.

Все эти процессы выполняются с помощью энергии потока или струи воды. Грунт разрабатывается путём размыва либо самотёком (с определённой скоростью) безнапорным потоком по каналам или лоткам (в случае, если карта намыва находится ниже уровня разрабатываемого забоя), либо под напором, создаваемым гидромониторами, а также путём всасывания его из-под воды грунтовыми насосами.

В результате размыва грунта и при перемешивании его с водой получается гидросмесь или пульпа. Эта пульпа характеризуется различной консистенцией (степенью насыщения воды частицами грунта) и плотностью. Чаще всего рассматривают весовую или объёмную консистенции.

Весовая консистенция может быть представлена такими соотношениями:

- массы скелета грунта к массе воды, входящей в состав гидросмеси;
- массы скелета грунта, входящего в состав гидросмеси, к массе всего рассматриваемого объёма.

Объёмная консистенция может быть представлена следующими соотношениями:

- объёма плотного грунта к объёму воды, с которой смешан этот грунт;
- объёма плотного грунта в его естественном виде к объёму воды, с которой смешан этот грунт и которая содержится в его порах;
- объёма грунта в его естественном виде к объёму смеси;
- объёма плотного грунта к объёму смеси.

Численное значение объёмной консистенции можно выразить коэффициентом консистенции:

$$k_{\Pi} = m_{\Gamma}(V_{\Gamma}) / [m_{\text{В}}(V_{\text{В}})], \quad (2.1)$$

где:  $m_{\Gamma}$  и  $m_{\text{В}}$  – масса грунта и воды, кг;  $V_{\Gamma}$  и  $V_{\text{В}}$  – объём грунта и воды, м<sup>3</sup>.

Плотность  $\gamma_n$  (кг/м<sup>3</sup>) пульпы:

$$\gamma_n = (\gamma_{с.г} + n\gamma_{в}) / (1 + n), \quad (2.2)$$

где:  $\gamma_{с.г}$  – плотность сухого грунта, кг/м<sup>3</sup>;  $\gamma_{с.г} = \frac{\gamma_{г}}{1 + \omega/100}$ ;  $\gamma_{г}$  – плотность грунта, кг/м<sup>3</sup>;  $\gamma_{в}$  – плотность воды кг/м<sup>3</sup>;  $n$  – число частей воды,  $\omega$  – влажность грунта, %.

Удельным расходом воды называют количество воды, потребное для разработки или транспортирования 1 м<sup>3</sup> грунта. Удельный расход зависит от состояния грунта и скорости размыва.

Грунт укладывается на карты намыва (площадку намываемого сооружения) или в отвал вследствие осаждения частиц грунта при медленном растекании пульпы. Каждая из этих операций зависит от скорости движения потока или струи воды, т.е. от величины энергии потока. Размыв грунта и образование гидросмеси происходит при больших скоростях (более 6 м/с), движение пульпы по трубам, лоткам или каналам – при скоростях 6-3 м/с, позволяя транспортировать грунт на значительные расстояния на карте намыва. Пульпа растекается со скоростью 0,5-0,1 м/с, при этом частицы грунта из пульпы оседают на поверхность площадки намыва, и пульпа постепенно осветляется. Окончательное осветление пульпы происходит в специальном пруде отстойнике, который в зависимости от применяемого способа производства работ устраивается либо в центре площадки намыва или на краю карты. Для предотвращения вытекания пульпы за пределы карты по её контуру располагают земляные дамбы расчетной высоты, называемые дамбами обвалования.

Как видно из вышеизложенного, при гидромеханизации земляных работ выполнение всех операций от разработки грунта до его укладки осуществляется по поточной системе, при которой необходимо лишь правильно управлять потоком и обеспечивать требуемые скорости, для соответствующей операции.

В гидромеханизации применяются два способа производства работ: землесосный и гидромониторный.

На рисунке 2.1 представлена схема разработки узкопрофильных каналов землесосными снарядами (земснарядами), применяемая при строительст-

ве открытой сети с шириной профиля по дну 3-20 м, на песчаных (супесчаных) грунтах, легко поддающихся разработке плавучими земснарядами.

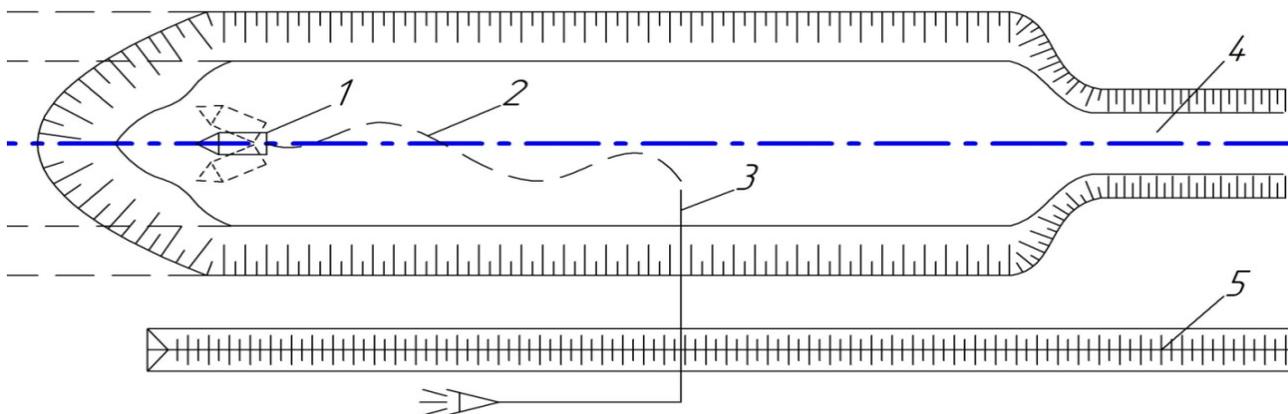


Рис. 2.1. Схема разработки узкопрофильных каналов малогабаритными землесосными снарядами:

1 – землесосный снаряд 8ПЗУ; 2 – плавучий пульпопровод; 3 – распределительный пульпопровод; 4 – пионерная траншея; 5 – дамба обвалования.

Для строительства широких каналов в лёгких песчаных (супесчаных) грунтах широко применяется схема разработки канала параллельными полосами (рис. 2.2).

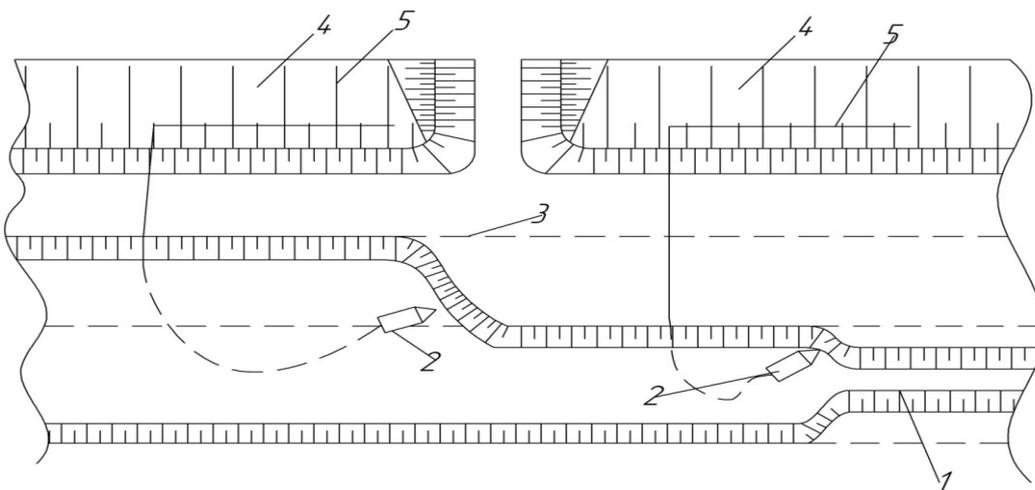


Рис. 2.2. Схема, разработки канала параллельными полосами:

1 – пионерная траншея; 2 – землесосный снаряд 8ПЗУ или 100-35; 3 – граница разрабатываемых полос; 4 – намывные приканальные дамбы; 5 – распределительные пульпопроводы.

В случае одновременного использования различных, по мощности землесосных устройств для строительства каналов разработка грунта параллельными полосами может осуществляться по схеме, показанной на (рис. 2.3).

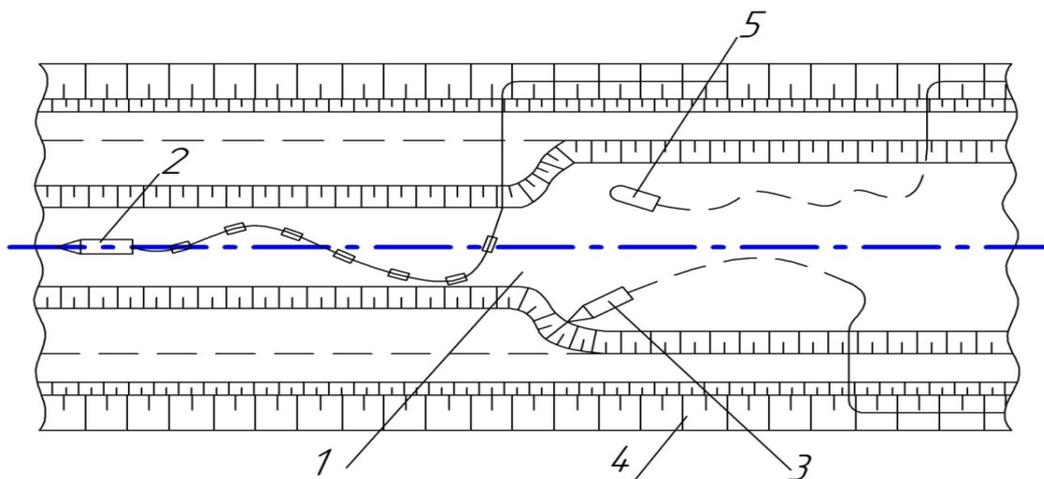


Рис. 2.3. Схема разработки канала землесосными приборами различной мощности:

1-центральная (пионерная) часть канала; 2-землесосный прибор 300-40; 3-землесосный прибор 100-35; 4-намывные приканальные дамбы.

Для строительства широких каналов применяется схема комбинированной разработки канала землесосными приборами и экскаваторами (рис. 2.4).

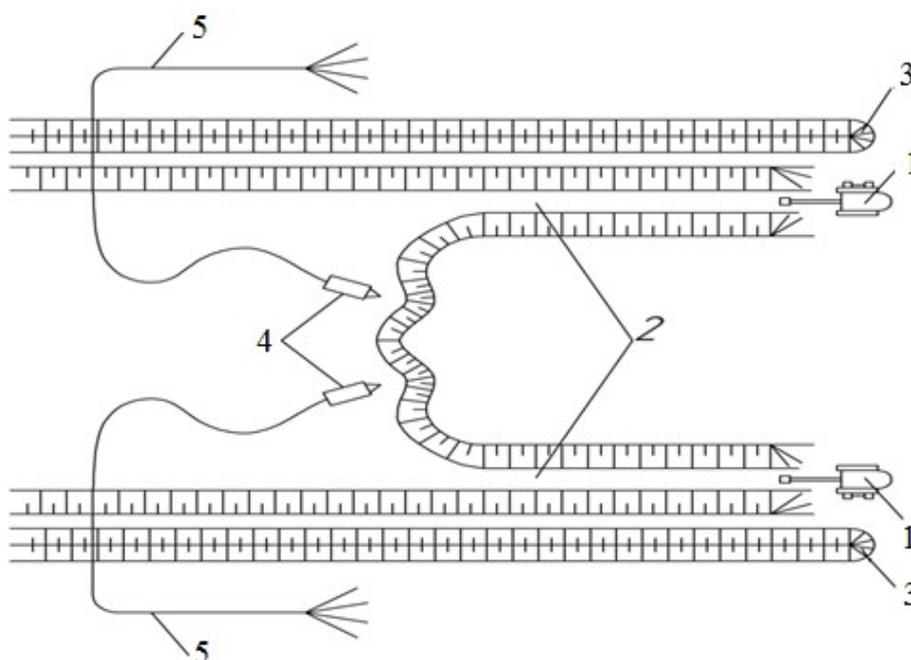


Рис. 2.4. Схема комбинированной разработки канала землесосными приборами и экскаваторами:

1 – экскаваторы; 2 – пионерные траншеи; 3 – обвалование; 4 – землесосные приборы; 5 – распределительный пульпопровод.

Различают следующие схемы организации работ:

- землесосные схемы с напорным гидротранспортом грунта, применяются при намыве плотин из несвязных грунтов, разрабатываемых в русловых и прирусловых (пойменных) карьерах плавучими землесосными снарядами;

- гидромониторные схемы, применяются при намыве плотин из связных и слабосвязных грунтов, разрабатываемых гидромониторными установками в карьерах, расположенных выше намываемого сооружения (с подачей пульпы к нему самотёком по лоткам), либо ниже намываемого сооружения (с подачей пульпы грунтовым насосом по напорному пульпопроводу);

- комбинированные схемы, применяют:

- а) при возведении плотин из грунтов, в одном или нескольких карьерах, разрабатываемых землеройными машинами и сухопутно транспортируемых до бункера, где перемешивают привезённый грунт с водой, далее в виде пульпы доставляют его грунтовым насосом по напорному пульпопроводу к месту укладки в тело сооружения (плотины);

- б) при возведении сооружений (плотин) из грунтов различного состава, разрабатываемых в разных карьерах: в одном карьере, разрабатываемых землеройными машинами с сухопутным транспортированием грунта и укладкой его в одну часть плотины; в другом карьере, разрабатываемых плавучими землесосными снарядами с напорным гидротранспортом грунта в другие части плотины (сооружения).

## **2.2. Землесосные снаряды**

*Землесосным снарядом* (земснарядом) называется плавучая машина для выемки грунта со дна водоёмов, действующая по принципу всасывания и оборудованная средствами рабочих перемещений, необходимых для разработки грунта ГОСТ 17520-72 (актуализация 10.04.2018г.). Земснаряды способны разрабатывать грунт на глубине от 2-3 м до 15-20 м.

Предельная дальность гидравлической транспортировки грунта колеблется от нескольких десятков метров до нескольких километров. Мощность силовых установок земснарядов колеблется от нескольких десятков киловатт до нескольких сот и даже тысяч киловатт. В качестве силовых установок применяют дизели или электрические двигатели.

Земснаряд представляет судно, как правило, несамоходное, смонтированное на понтоне (корпусе земснаряда), на котором размещены основные сборочные единицы земснаряда: кабина с системой управления, силовое оборудование, грунтовый насос, всасывающие, рыхлительные, грунтозаборные устройства, механизмы папильонирования (устройства для рабочих перемещений земснаряда – папильонажные лебёдки, свайный аппарат) и др. (рис. 2.5).

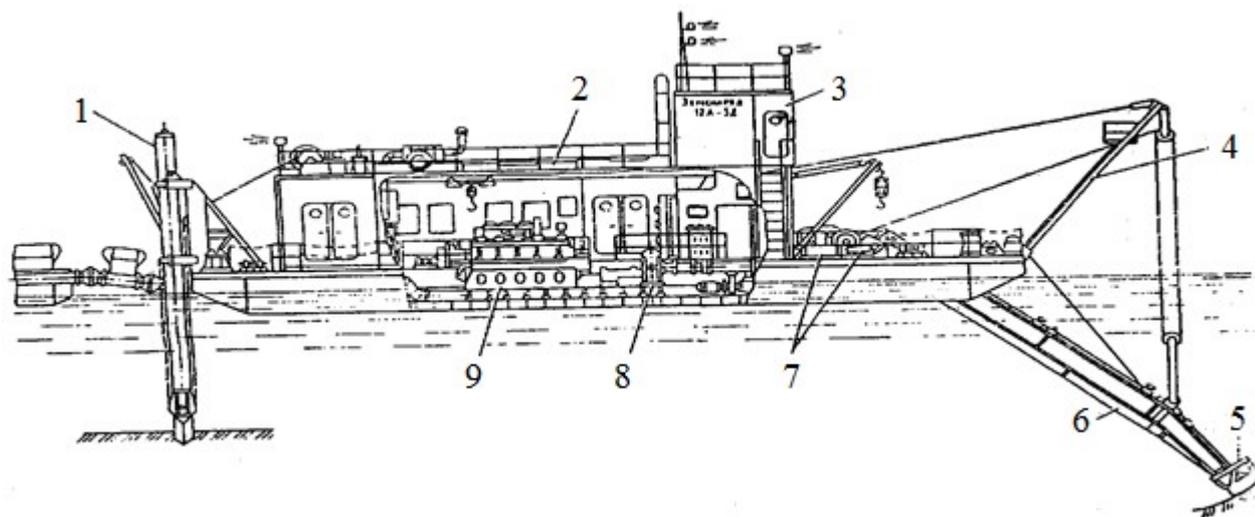


Рис. 2.5. Землесосный снаряд:

1 – свайный аппарат; 2 – надстройка; 3 – рубка управления; 4 – стрела; 5 – рыхлитель; 6 – рама с всасывающей трубой и фрезерным рыхлителем; 7 – папильонажные и рамоподъемные лебедки; 8 – грунтовый насос; 9 – привод насоса.

Е.А. Бессонов считает, что земснаряд, как любое плавающее средство имеет остойчивость\*. Остойчивостью судна называют его способность возвращаться в состояние равновесия после получения крена (рис. 2.6).

Сравнивая два различных типа судна (рис. 2.6, «б» и «в»), наблюдают следующее:

а) на схеме «б» центр тяжести водоизмещения  $D_1$  при крене оказался левее точки  $C$ , причем возник момент, возвращающий судно в положение покоя.

Данный случай характеризуется тем, что метацентр  $M$  лежит выше точки  $C$ ;

б) на схеме «в» центр водоизмещения  $D_1$  при крене оказался левее точки  $C$ , причем возник момент, опрокидывающий судно. Величина  $h_M$  считается

положительной, если точка  $M$  располагается ниже точки  $C$ .

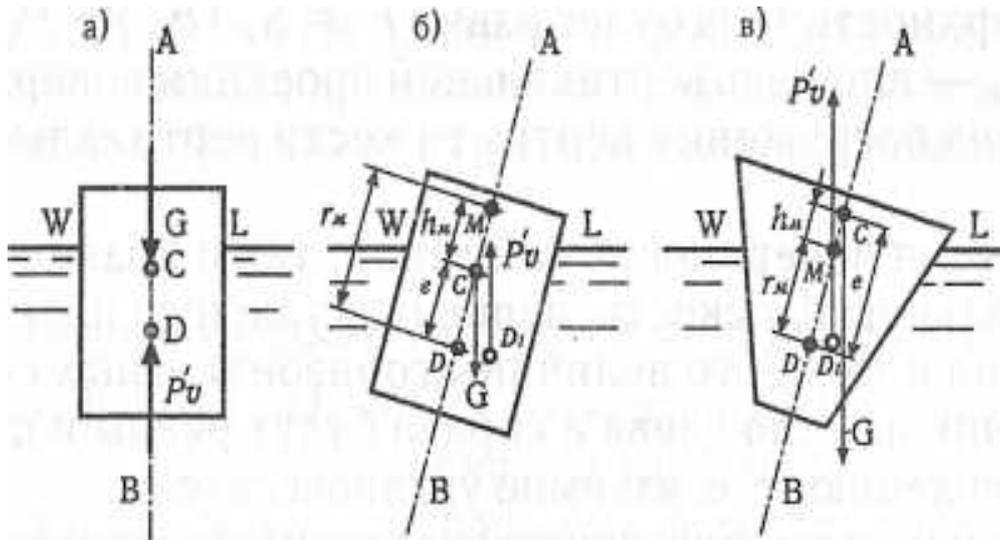


Рис. 2.6. Остойчивость судна:

а) судно в состоянии равновесия; б) и в) судно в состоянии крена при различных значениях момента;  $WL$  – площадь грузовой ватерлинии судна;  $C$  – центр тяжести судна;  $AB$  – ось плавания;  $D$  – центр водоизмещения при равновесии судна;  $D_1$  – центр водоизмещения при крене судна;  $M$  – метациентр судна (точка пересечения оси плавания  $AB$  с вертикалью, проведенной через центр водоизмещения  $D_1$ );  $h_M$  – метациентрическая высота;  $R_M$  – метациентрический радиус;  $e$  – эксцентриситет судна.

Таким образом, судно считается остойчивым, если  $h_M > 0$ , или  $R_M > e$ , и нестойчивым, если  $h_M < 0$ , или  $R_M < e$ .

При небольшом угле крена (до  $15^\circ$ ) считают, что точка  $D_1$  перемещается по дуге окружности, описанной из метациентра радиусом  $R_M$ , причем сама точка  $M$  не меняет своего положения на оси плавания. Для данного типа судна метациентрический радиус  $R_M$ , метациентрическая высота  $h_M$  и эксцентриситет  $e$  являются постоянными величинами. Величина метациентрического радиуса  $R_M$  для данного типа судна зависит от:  $V_w$  – объема воды, вытесненной судном (объемное водоизмещение судна);  $J$  – момента инерции площади грузовой ватерлинии относительно горизонтальной продольной оси, проходящей через центр тяжести этой площадки и описывается уравнением:

$$R_M = \frac{J}{V_w}, \quad (2.3)$$

Следовательно, что чем больше величина  $R_M$  по сравнению с величиной « $e$ », тем больше остойчивость судна. Мелиоративные земснаряды

относятся к самоходным плавучим землеройно-транспортным машинам непрерывного действия, комплексно механизмирующих весь цикл земляных работ. Корпус земснаряда характеризуется следующими коэффициентами:

- полноты водоизмещения  $\delta = V/(LBT) = 0,85-0,93$ ;
- полноты ватерлинии  $\alpha = F_{вл} / (BL) = \delta$ ;
- полноты площади Миделя\*  $\beta = \omega / (BT)$ .

где:  $V$  – объём водоизмещения,  $\text{м}^3$ ;

$L$  и  $T$  – длина, ширина и осадка корпуса,  $\text{м}$ ;

$\omega$  – площадь Миделя,  $\text{м}^2$ .

\* – Мидель, миделевое сечение (от нидерл. *middel* – средний, середина) – наибольшее по площади поперечное сечение тела, движущегося в воде или в воздухе.

### 2.3. Грунтовые насосы

**Грунтовые насосы (землесосы)**, применяемые для перекачивания пульпы, по принципу работы не отличаются от центробежных насосов для чистой воды, однако, по конструкции они имеют существенные различия (рис. 2.7).

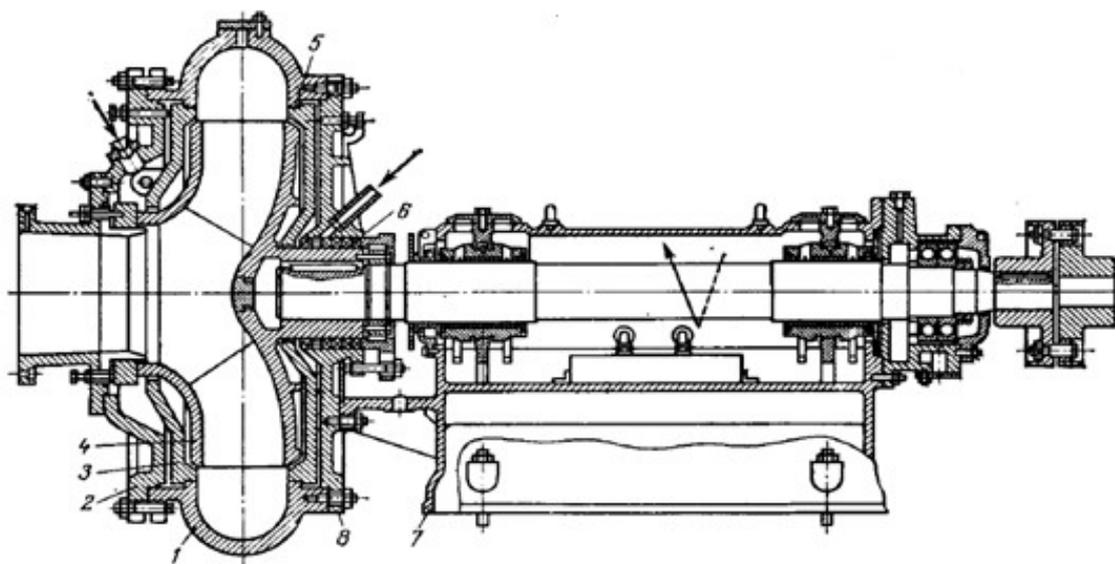


Рис. 2.7. Грунтовый насос ГрУ 4000/71:

1 – корпус; 2 – крышка; 3, 5 – бронедиски; 4 – рабочее колесо; 5 – рыхлитель; 6 – сальник; 7 – станина кронштейна; 8 – крышка.

На рисунке 2.7 представлен грунтовой насос ГрУ-4000/71, применяемый в мелиоративном строительстве, имеющий подачу 4000 м<sup>3</sup>/ч при напоре 71 м, для привода которого используется асинхронный электродвигатель мощностью 1250 кВт.

Современные грунтовые насосы являются одноступенчатыми консольными насосами с односторонним всасыванием. Обычно вал насоса расположен горизонтально, но есть конструкция с вертикальным расположением вала. Вал установлен в подшипниках скольжения с баббитовыми вкладышами или в подшипниках качения.

В отличие от насосов для чистой воды, проточная часть которых чаще всего представляет постепенно расширяющийся канал-диффузор, в грунтовых насосах корпус имеет форму, близкую к концентрической, что увеличивает гидравлические потери. Проточная часть грунтовых насосов несколько увеличена, для пропуска крупных обломочных включений гравия, камней, древесных и др. включений. Рабочие колеса грунтовых насосов проектируют обычно с числом лопаток 3-6. Скорости в каналах грунтовых насосов достигают 30 м/с, абразивные включения бомбардируют внутренние поверхности проточных каналов, что ведет к их интенсивному износу. Для борьбы с износом при проектировании и изготовлении грунтовых насосов предусматриваются мероприятия, упорядочивающие и оптимизирующие движение пульпы в каналах проточной части насоса. Детали насосов изготовляют из износостойких сталей и чугунов, монтируют сменные броневые листы внутри камеры, используют резиновую футеровку рабочего колеса и камеры.

Грунтовые насосы выпускают по ТУ 3631-010-71868127-12. Принято следующее условное обозначение грунтовых насосов (индексация): Гр, ГрТ, ГрУ или ГрО, Гра, ГраТ, ГраК, ГраУ, 1 ГрТ, 2 ГрТ, 5ГрТ-8 и др.

Условное обозначение насосных агрегатов на основе грунтовых насосов типа **ГраТ**, (**ГраК**), например, **ГраТ 350/40/II-14-1,6**; где **Гра** – грунтовой насос с осевым входом перекачиваемой среды; **Т** – двухкорпусной, с внутренним корпусом из износостойкого сплава; **К** – однокорпусной с футеровкой корпуса из абразивного материала (корунда) на органической связке; **350** – подача. м<sup>3</sup>/ч; **40** – напор, м; **II** – номер опорной стойки; **14** – условное обозначение пониженной частоты вращения (номинальная частота вращения не указывается); **1,6** – максимальная плотность перекачиваемой насосным агрегатом гидросмеси, уменьшенной в 1000 раз, кг/ м<sup>3</sup>.

Условное обозначение насосных агрегатов на основе грунтовых насосов типа **ГрАУ**, например, **ГрАУ 400/20**, где **ГрА** – грунтовой насос с осевым входом перекачиваемой среды; **У** - с увеличенным на 25 % размером сечения проточной части; **400** – подача, м<sup>3</sup>/ч; **20** – напор, м.

Условное обозначение насосных агрегатов на основе грунтовых насосов типа **2 ГрТ**, например, **2 ГрТ 8000/71- УЗ**, где **2** – модернизация; **Гр** – грунтовой; **Т** – двухкорпусной, с внутренним корпусом из износостойкого сплава; **8000** – подача, м<sup>3</sup>/ч; **71** – напор, м; **УЗ** – климатическое исполнение и категория размещения.

Если в индексе вместо буквы **У** стоит буква **О**, это означает, что насос выпускается с уменьшенным (ограниченным) на 15 % размером сечения проточной части, в зависимости от типа изготовления (футерованного резиной, тяжелого с защитой футеровкой из износостойких металлов или футерованного абразивным материалом на органической связке) соответственно добавляется буква **Р**, **Т** или **К**, а для насосов с вертикальным валом – ещё буква **В**; цифры после букв в числителе (подача насоса в м<sup>3</sup>/ч) в знаменателе – развиваемый напор в м вод. ст.; буквенный индекс знаменателя – отличие характеристики насоса данного типоразмера в результате изменения диаметра рабочего колеса.

#### **2.4. Классификация мелиоративных земснарядов**

Земснаряды, применяемые в мелиоративном и водохозяйственном строительстве, классифицируют по следующим основным признакам:

- по типу привода основного и вспомогательного оборудования выпускают земснаряды с одним или несколькими дизельными двигателями (дизельные), приводящими в действие все его механизмы; дизель-электрические, у которых основное оборудование и генераторы, приводится в действие основным двигателем дизелем, установленном на самом земснаряде, а остальные исполнительные механизмы электродвигателями, получающими энергию от генераторов постоянного тока приводимые в действие от дизеля; электрические – у которых все исполнительные механизмы приводится в действие от береговых электростанций.

- по способу грунтазабора:(непосредственное всасывание и предварительное рыхление) земснаряды различаются на:

- 1) оборудованные только всасывающим грунтозаборным устройством (рис. 2.8):

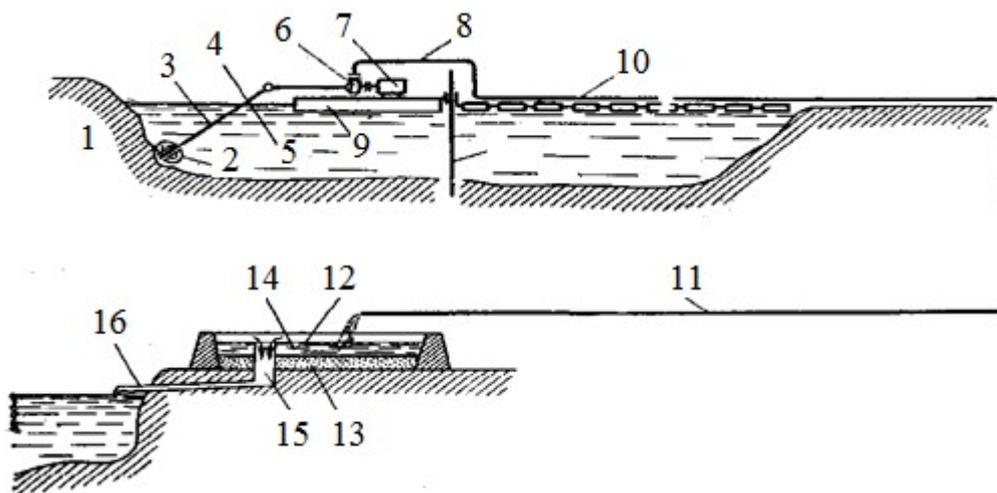


Рис. 2.8. Общая схема разработки грунта земснарядом:

1 – забой; 2 – рыхлитель; 3 – рама (стрела) с всасывающим устройством; 4 – водоем; 5 – понтон; 6 – грунтовой насос; 7 – двигатель привода грунтового насоса; 8 – напорный пульпопровод; 9 – свайный аппарат; 10 – поплавки для удержания пульпопровода; 11 – сухопутная часть пульпопровода; 12 – карта намыва; 13 – осевший грунт; 14 – осветленная вода; 15 – шандорный колодец; 16 – лоток для сброса осветленной воды.

2) оборудованные комбинированным грунтоприёмным устройством (механическими и гидравлическими рыхлителями предварительно разрыхляющих грунт, для облегчения его засасывания (рис. 2.9 б, ...к) и всасывающим устройством, вовлекающим пульпу в трубопровод;

- по способу рабочего перемещения землесосных снарядов:

- 1) с якорным папильонированием;
- 2) со свайным папильонированием;
- 3) с хоботовым перемещением грунтозаборного устройства.

- по размещению основного оборудования на понтоне земснаряды бывают:

1) палубные (основное оборудование двигатель с грунтовым насосом установлены на палубе);

2) трюмные (основное оборудование двигатель с грунтовым насосом установлены в трюме).

Б.М. Шкундин, также рекомендует классифицировать земснаряды по следующим признакам:

- *материалу и конструкции корпуса (понтон)* – деревянные, металлические монолитные, металлические разборные; по числу грунтовых насосов, установленных на земснаряде, - с одним или двумя насосами;
- *типу главного агрегата:* грунтовой насос, водоструйный насос или эрлифт); по способу транспортировки грунта – по плавучему или подвесному пульпопроводу;
- *системе управления* (с ручным управлением, частично автоматизированным, программным);
- *наличию или отсутствию* на борту земснаряда дробильно-сортировочных и обогатительных устройств.

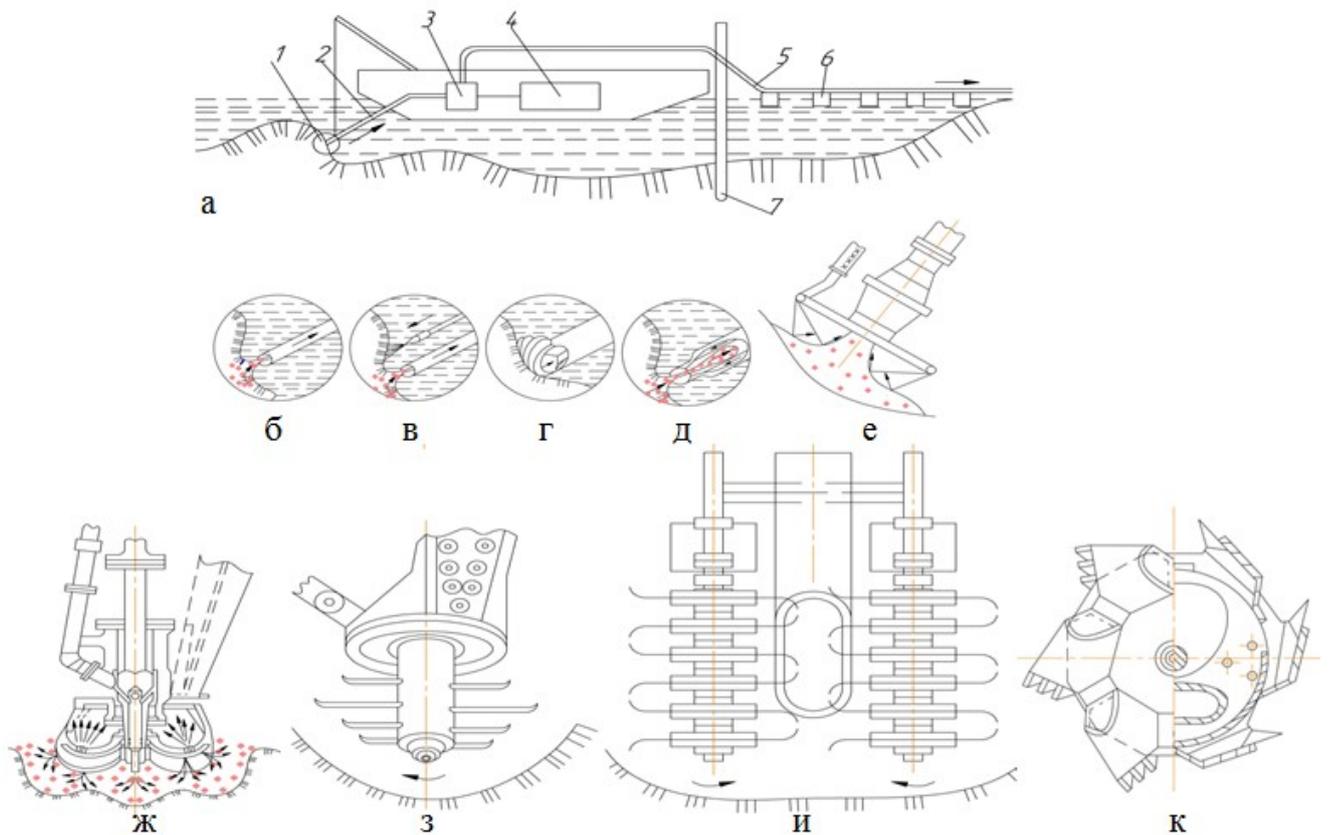


Рис. 2.9. Земснаряд и грунтозаборные устройства:

**а**-принципиальная схема земснаряда; **б**-свободно всасывающего наконечника; **в**-грунтоприёмника с гидромонитором; **г**-грунтоприёмника с фрезерным рыхлителем; **д**-гидроэжекторного грунтоприёмника; **е**-многосоплового гидравлического рыхлителя с грунтоприёмником; **ж**-фрезерно-гидравлического рыхлителя с грунтоприёмником; **з** - винтового; **и**-ротационного; **к**-роторно-ковшового рыхлителя;

1 – грунтоприёмник; 2 – рама с всасывающей линией; 3 – землесос (грунтовой насос); 4 – двигатель; 5 – нагнетательный (напорный) пульпопровод; 6 – плавучий пульпопровод на поплавках (плавучих понтонах); 7 – свайный ход.

Плавающие земснаряды, различают также по часовой производительности по грунту: особо малые (до 50 м<sup>3</sup>/ч), малые (50-200 м<sup>3</sup>/ч), средние (200-500 м<sup>3</sup>/ч), крупные (500-1000 м<sup>3</sup>/ч) и особо крупные (более 1000 м<sup>3</sup>/ч). В мелиоративном строительстве применяют земснаряды производительностью 30-650 м<sup>3</sup>/ч, с дальностью транспорта до 1500 м.

На рисунке 2.8 дана общая схема разработки грунта земснарядом. В водоёме 4 показан работающий земснаряд, смонтированный на понтоне 5. Здесь же установлен грунтовой насос 6, приводимый двигателем 7. На конце рамы (стрелы) 3, шарнирно прикреплённой к корпусу (понтону) земснаряда установлен грунтоприёмник, представляющий собой комбинацию рыхлительного 2 разрушающего грунт в забое 1 и всасывающего устройства смонтированного на стреле 3.

Подъём и опускание рамы осуществляется электролебёдкой через полиспаст. Напорный пульпопровод 8 пройдя по понтону спускается на поверхность водоёма 4, после чего на водной глади водоёма 4, укладывается (в виде отдельных секций) на поплавки (понтонеры) 10 и доводится до берега, где переходит в сухопутную часть 11, которая укладывается на специальные опоры и доходит до карты намыва 12. Здесь пульпа изливается из пульпопровода на поверхность карты намыва, при этом твердые частицы грунта оседают на поверхность карты намыва и пульпа осветляется, а вода разделяется на две части. Часть воды фильтруется в тело карты намыва, а часть отводится в шандорный (водосбросной), колодец 15 для дальнейшего осветления.

Из шандорного колодца 15, вода отводится по лотку 16 для сброса осветленной воды в пруд-отстойник или водоём для окончательного осветления, после чего вода может повторно использоваться для гидромеханизированных работ, либо применяться для других технических нужд (целей).

Грунтозаборные устройства бывают двух типов: всасывающие грунт без рыхлителей и оборудованные каким-либо рыхлителем, т.е. плавающие земснаряды всасывают грунт либо сразу из-под воды (без предварительного рыхления), либо предварительно взрыхлив. При работе без рыхления рабочим органом земснаряда служит наконечник, установленный на концевую часть всасывающей трубы грунтового насоса, закреплённой на шарнирной раме. Размыв грунта начинается около стенок наконечника и быстро увеличивается вглубь, образуя воронку всасывания. В результате всасывания создаются большие скорости течения воды (свыше 3 м/с). Грунт, в виде вихревых пото-

ков засасывается в трубу грунтоприёмника. Для всасывания частиц грунта нужно преодолеть сопротивление сил тяжести частиц грунта и сил зажатия их соседними частицами. Всасывающие устройства без рыхлителей эффективны лишь при разработке несвязных песчаных и супесчаных грунтов.

Если гидромеханизированная разработка грунта производится с одновременным рыхлением, то перед входом во всасывающую трубу монтируют грунтозаборное (грунтоприёмное) устройство, представляющую собой комбинацию всасывающего и рыхлящего устройств. На тяжелых грунтах производительность всасывающих устройств резко снижается, и поэтому для интенсификации их размыва применяют различные типы рыхлительных устройств.

Наиболее распространенными являются фрезерные и другие рыхлители различной конструкции, способствующие лучшему всасыванию (рис. 2.9, в; 2.9, к). Свободно всасывающие наконечники (рис. 2.9, б) могут разрабатывать только несвязные грунты.

Существуют много различных способов рабочих перемещений земснарядов (папильонирования): тросовое, свайное с якорями и без них и др.

*Папильонирование* – перемещение земснаряда поперёк разрабатываемой выемки при разработке или движении в этом же направлении одного грунтозаборного устройства.

В начале работы земснаряд всем корпусом, вместе со стрелой и рабочим органом перемещается в одном поперечном направлении (например, вправо), затем, осуществляется подача вперёд, после чего производится противоположное, поперечное перемещение (влево). В строительстве наибольшее распространение получило папильонирование с помощью свайного хода и тросов с якорями, закрепляемыми в забое по обе стороны земснаряда.

Рабочие перемещения земснарядов производят с учётом следующих требований: необходимо обеспечить с достаточной точностью движение грунтозаборного устройства по заданной траектории с регулируемой скоростью; усилия, достаточные для преодоления сопротивлений, возникающих при разработке грунта, и для преодоления других вредных нагрузок; сведение к минимуму холостых движений грунтозаборного устройства, по выработанным участкам забоя.

При работе земснаряд передвигается при помощи специальных устройств, что обеспечивает постоянный контакт грунтозаборного устройства с

грунтом. Свайный ход бывает простым и роторно-напорным. Схема простого свайного хода приведена на рисунке 2.10.

При этом способе на корме земснаряда устанавливаются механизмы для подъема и опускания двух свай, а на палубе – папильонажные лебедки с намотанными на их барабаны тросами, на концах которых укреплены якоря.

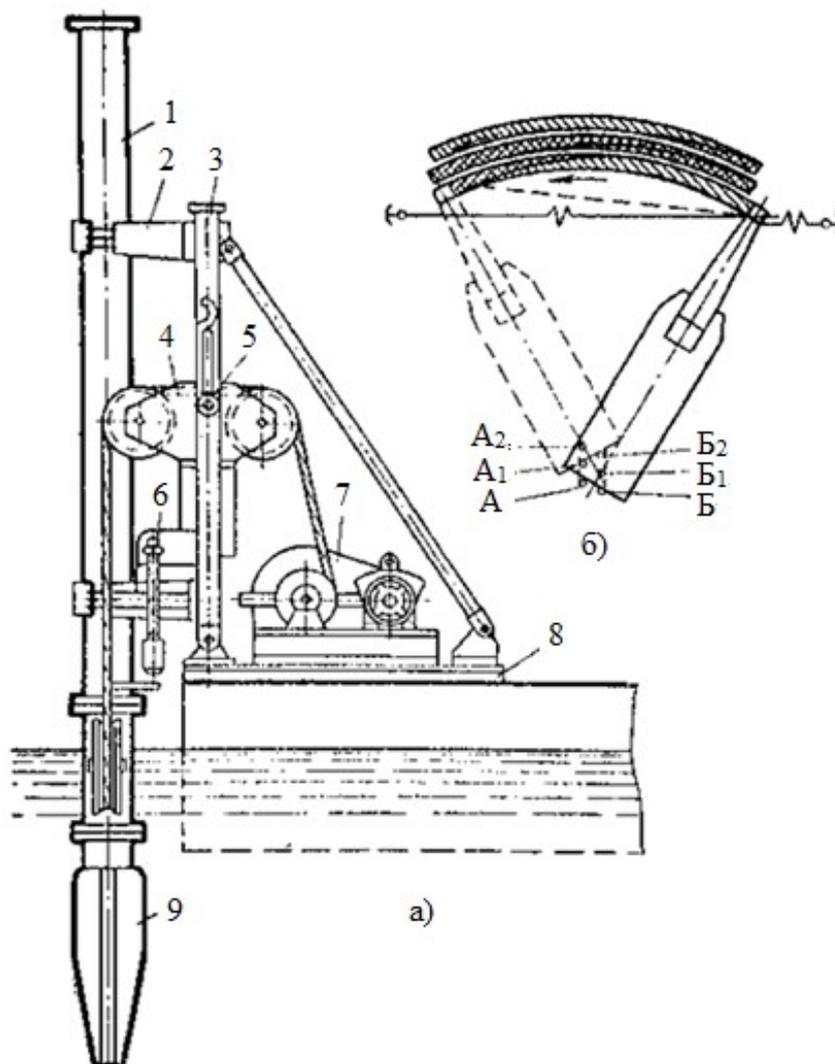


Рис. 2.10. Простой свайный ход:

а – конструктивная схема; б – траектория движения грунтозаборного устройства; 1 – свая; 2 – направляющий башмак; 3 – портал; 4 – двойной блок; 5 – ролик; 6 – выключатель; 7 – лебедка; 8 – постамент свай; А и Б – сваи; А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub>, Б<sub>1</sub>, Б<sub>2</sub> – последовательные позиции свай А и Б.

Папильонирование осуществляется следующим образом: свая «А» сбрасывается на грунт и под действием силы тяжести входит в него на некоторую глубину, вторая свая «Б» остается поднятой. Наматывая трос на левую лебедку

ку, заставляют земснаряд поворачиваться вокруг сваи «А» делая первый «шаг». Фреза грунтозаборного устройства снимая грунт описывает дугу, центром которой является одна из свай и земснаряд занимает новое положение, показанное пунктиром. Опуская затем сваю «Б» и поднимая сваю «А», а также одновременно наматывая трос на правую лебедку, поворачивают земснаряд в новое положение делают второй «шаг». Таким образом земснаряд продвигается вперед «шагами», разрабатывая грунт переменными по толщине папильонажными лентами. Достоинством способа папильонирования (перемещения) земснаряда по схеме простого свайного хода, является, то что он требует закладки только двух якорей, вместо нескольких, при других способах папильонирования. Этим достигается, что рабочий орган (грунтозаборное устройство), описывает точные траектории необходимые, особенно при разработке связных грунтов, и упрощается управление земснарядом. равномерную производительность.

Недостатком данного способа разработки является то, что грунтозаборное устройство в начале траектории проходит по полосе, уже разработанной предыдущей проходкой, а в конце удаляется от последней, оставляя неразработанные участки (огрехи). Этому недостатка лишен способ разработки грунта по схеме папильонирования роторно-напорном свайном ходе (рис. 2.11).

Более совершенную схему разработки грунта обеспечивает установка свай на принудительно передвигаемой вдоль продольной оси земснаряда каретке. На земснаряде устанавливается передвижная каретка со свайей, Вторую сваю, называемую прикольной, используют только для перешагивания, устанавливают, как обычно, в неподвижных направляющих.

При роторно-напорном свайном ходе земснаряд разрабатывает грунт на расчетную ширину забоя равными, постоянными по толщине концентрическими папильонажными лентами (полосами), с незначительным перекрытием за счет того, что свая, на которой происходит поворот, каждый раз закрепляется на оси прорези что обеспечивает равномерную загрузку двигателя по мощности и для начала работы земснаряда устанавливают в положение I. В грунт закрепляется свая, установленная направляющей обоймой по оси корпуса снаряда. Наматывание каната 1 на барабан лебедки и ослабление каната 2 земснаряда поворачивается вокруг опущенной сваи до положения II. Затем специальным механизмом направляющая обойма со сваями вращается до тех

пор, пока поднятая свая не переместится вперед и не совместится с осью про-  
 рези. Одновременно с поворотом поднятой сваи этим же механизмом пере-  
 мещается землесос вперед в положение III.

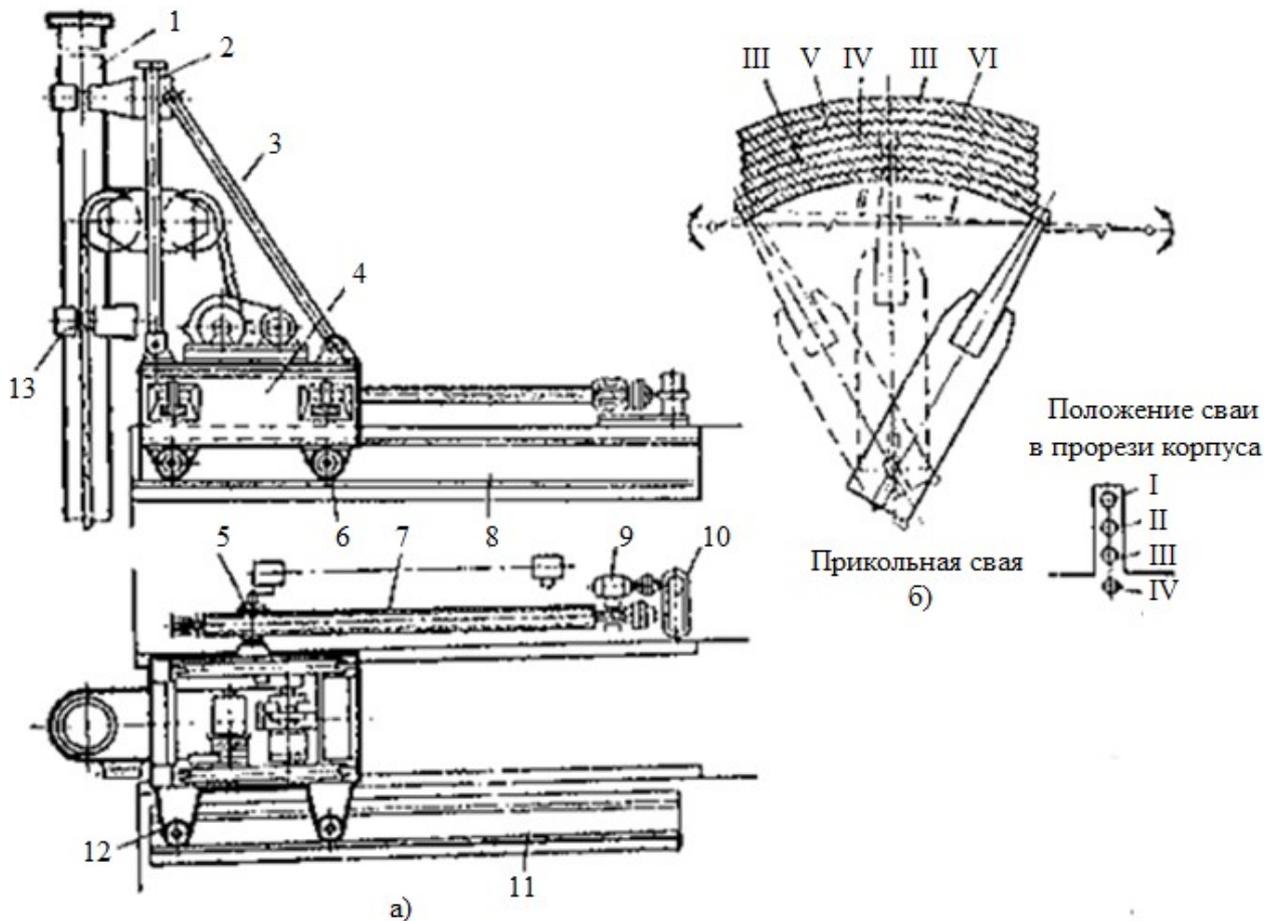


Рис. 1.11. Роторно-напорный свайный ход:

а - конструктивная схема; б - траектория движения грунтозаборного  
 устройства; 1- свая; 2 - портал; 3 - раскос; 4 - тележка; 5 - каретка; 6 - каток  
 тележки; 7 - приводной винт; 8 - вертикальные направляющие; 9 - электро-  
 двигатель; 10 - редуктор; 11 - горизонтальная направляющая; 12 - горизон-  
 тальный поток; 13 - направляющий башмак.

Натяжением каната 2, ослабленном канате 1 земснаряд вращается отно-  
 сительно вновь опущенной сваи и снимает следующую полосу грунта. Так,  
 поворотом земснаряда относительно поочередно опускаемых свай и переме-  
 щением вперед выбирают грунт до перекладки якорей. При этом, грунтоза-  
 борное устройство сохранит достаточный контакт с грунтом и снаряд, как бы  
 шагая на сваях, будет передвигаться вперед, разрабатывая прорезь заданной  
 ширины. Ширина ее (в м) может быть определена по формуле:

$$B = R \sin \varphi, \quad (2.4)$$

где:  $R$  - горизонтальное расстояние от папильонажной сваи до фрезы земснаряда при заданной глубине разработки, м;  $\varphi$  – угол наклона стенки забоя, град.

К важнейшим вспомогательным устройствам земснаряда относятся пульповоды, силовое оборудование и система управления.

Внутренние пульповоды земснаряда разделяются на всасывающие и напорные.

Всасывающий пульповод грунтового насоса состоит из горизонтального участка, отвода под углом  $45^\circ$  и переходного патрубка. Напорный пульповод соединяет напорный патрубок земснаряда с плавучим пульповодом. Он состоит из участков труб, соединенных горизонтальным и вертикальным отводами, и имеет обратный клапан, напорный пульповод присоединяется к плавучему при помощи поворотного колена с сальниковым шарниром или с двумя шаровыми шарнирами и цилиндрическим патрубком между ними, компенсирующим разность высот между поворотным коленом и плавучим пульповодом.

Плавучий пульповод земснаряда соединенный с береговым магистральным пульповодом, обеспечивает маневренность снаряда в забое и продвижение в направлении разработки. Пульповод состоит из труб, уложенных на двух цилиндрических или эллиптических понтонах. трубы соединяют между собой шлангами или шаровыми шарнирами. Звенья плавучего пульповода снабжены трапами для прохода на земснаряд; по ним же прокладывается электрокабель, питающий земснаряд. Плавучий пульповод присоединяется к береговому, специальным устройством, позволяющим компенсировать колебание уровня воды в водоеме.

Электроснабжение землесосных снарядов, как правило, осуществляется по высоковольтным воздушным линиям, подводимым к месту работы. Высоковольтное оборудование снаряда состоит из электродвигателя грунтового насоса и силового трансформатора, а также из распределительных устройств для управления ими питающих кабелей.

Для привода землесоса обычно применяют шести киловольтные электродвигатели с фазовыми роторами. Силовой трансформатор предназначается для снижения напряжения с 6кВ до 380-220В для питания низковольтного

оборудования землесосного снаряда. К низковольтному оборудованию относятся приводы всех вспомогательных механизмов – разрыхлителя, вспомогательного насоса, лебедок, напорного хода, а также электроосвещение земснаряда. Для привода вспомогательных механизмов применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутой или фазовой обмоткой ротора.

## **2.5. Общий расчет и подбор земснарядас фрезерным разрыхлителем**

Последовательность выполнения задания (вариант задания в таблице 2.1 (Приложения 1):

1. Изучить и ознакомиться с исходными данными для расчёта:
  - 1) Какой объём грунта необходимо разработать?
  - 2) Сколько потребуется для этого времени?
  - 3) Какими средствами это можно выполнить?
2. Посчитать количество рабочих дней в этом периоде учитывая климатический сезон «зима-лето» – для гидромеханизации в эффективное время работы – лето.
3. Определить дневную норму выработки, для того чтобы уложиться в назначенный период.
4. Определить производительность по грунту (песку, супеси глины и др).
5. Определить производительность по пульпе.
6. Свести расчёты в сводную таблицу и дать выводы по работе.

### **Расчет объема работ**

Требуемый объем работ, являющийся основным фактором при выборе земснаряда, определяется по формуле:

$$V = 1000 \cdot B h \ell, \quad (2.5)$$

где:  $V$  – объем разработки,  $\text{м}^3$ ;  $B$  – ширина разрабатываемого забоя,  $\text{м}$ ;  $h$  – глубина разработки,  $\text{м}$ ;  $\ell$  – длина забоя,  $\text{км}$ . (табл. 2.1)

*Определение нужного количества земснарядов для выполнения задания:*

$$z = V/Q_c \quad (2.6)$$

где:  $z$  – количество земснарядов, шт;  $V$  – объем разработки,  $\text{м}^3$ ;  $Q_c$  – сезонная производительность земснаряда ( $\text{м}^3/\text{сезон}$ )

Определение сезонной производительности земснаряда ( $\text{м}^3/\text{сезон}$ ):

$$Q_c = \frac{Q_n \cdot T_c \cdot K \cdot (100 - W_{\text{п}})}{100 - W_y}, \quad (2.7)$$

где:  $Q_c$  – сезонная производительность земснаряда,  $\text{м}^3/\text{сезон}$ ;  $Q_n$  – производительность грунтового насоса по пульпе,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $T_c$  – количество часов работы земснаряда в сезоне, ( $T_c = (1680 \dots 2200)$  ч);  $K$  – коэффициент использования земснаряда, ( $K = 0,6 \dots 0,8$ );  $W_{\text{п}}$  – влажность пульпы ( $W_{\text{п}} = 90 \dots 98\%$ );  $W_y$  – условная влажность готовой продукции ( $W_y = 60 \dots 80\%$ ).

Производительность грунтового насоса по пульпе ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) определяется по формуле:

$$Q_n = \frac{3600 \cdot \pi \cdot d_{\text{п}}^2}{4 \cdot V} \quad (2.8)$$

где:  $d_{\text{п}}$  – диаметр пульпопровода, мм;  $V$  – скорость транспортирования пульпы, м/с.

Необходимый напор определяют по формуле:

$$H = H_{\Delta} + L \cdot i \cdot k_{\text{п}} \quad (2.9)$$

где  $H$  – необходимый напор, м;  $H_{\Delta}$  – геодезическая разность отметок насоса и отвала (табл. 2.1), м;  $L$  – дальность транспортирования пульпы, м;  $k_{\text{п}}$  – коэффициент увеличения потерь напора для пульпы;  $i$  – гидравлический уклон, определяемый по эмпирическому уравнению:

$$i = \frac{k_y \vartheta^2}{c \cdot R} \quad (2.10)$$

где:  $\vartheta$  – скорость движения пульпы, м/с;  $k_y$  – коэффициент уклона, ( $k_y = 0,01 \text{ м}/\text{с}^2$ );

$R$  – гидравлический радиус, равный отношению сечения трубы к его периметру:  $R = F/p$  для расчетов можно брать  $R = d_n$ , м, (табл. 2.1),

$c$  – коэффициент, учитывающий шероховатость стенок труб, определяется по формуле:

$$c = \sqrt{\frac{R}{m}} \quad (2.11)$$

где:  $m$  – коэффициент, принимаемый для труб, бывших в употреблении, м;  
 $m = 0,012$

Коэффициент увеличения потерь напора для пульпы ( $k_n$ ) зависит от консистенции пульпы (выбирают по табл. 2.1). Скорость транспортирования пульпы выбирают по таблице 1.2.

Мощность земснаряда определяется по формуле:

$$P = P_n + P_p + P_{вс}, \quad (2.12)$$

где:  $P$  – мощность земснаряда, кВт;  $P_n$  – мощность грунтового насоса, кВт;  $P_p$  – мощность рыхлителя, кВт;  $P_{вс}$  – потери мощности на всасывание, кВт, (табл.3.1)

Отечественные земснаряды в основном комплектуются рыхлителями фрезерного типа с мощностью привода 13...175 кВт, (табл. 2.4).

Мощность, расходуемая грунтовым насосом, определяют по формуле:

$$P_n = W_{уд} \Pi_r / 102\eta, \quad (2.13)$$

где:  $\Pi_r$  – количество перемещаемого грунта, м<sup>3</sup>/ч, ( $\Pi_r = 0,01Q_n$  по воде);  $\eta$  – КПД насоса ( $\eta=0,6-0,8$ );  $W_{уд}$  – удельный расход электроэнергии на транспортирование одного кубометра грунта, кВт·ч/м<sup>3</sup>, по данным производственных испытаний для разрабатываемых грунтов согласно задания можно принимать:

$$W_{уд} = 3(L + H_{\Delta}), \quad (2.14)$$

где:  $L$  – дальность транспортирования, м.

*Выбор земснаряда:*

По характеристике грунтового насоса выбирают земснаряд (табл. 2.4 и 2.5).

Таблица 2.4

Техническая характеристика мелиоративных земснарядов

Наименование показателей	Тип земснарядов			
	Д-110/47-И-01	Д-110/47-ИФ	Д-110/47-И	Д-110/47-И-1
Производительность по грунту, м <sup>3</sup> /ч	18	54	54	116
Дальность транспортировки грунта, м	350	480	480	1235
Наибольшая глубина разработки с механическим рыхлителем	6	10	10	11,6
Масса землесосной установки, т	1,0	9,5	9	11,9
Установленная мощность, кВт	27	155	135	325
Мощность грунтонасосного агрегата, кВт	11	100	100	250
Напор, м	25	27	27	56
Диаметр напорного пульпопровода, мм	100	200	200	280

\* Данные расчетов корректируют и заносят в сводную таблицу.

Таблица 2.5

## Техническая характеристика земснарядов

Показатели	Тип земснаряда				
	Миасс 400/20	Миасс 400/40	Миасс 800/40	Миасс 1600/25	Миасс 1600/45
Тип грунтового насоса:	ГрАУ 400/20	ГрАТ 350/40	ГрУ 800/40	ГрАУ 1600/25	ГрУТ 1600/45
Диаметр всасывающего трубопровода, мм	200	200	250	300	350
Диаметр напорного трубопровода, мм	200	200	250	300	350
Производительность по пульпе, м <sup>3</sup> /ч	400	400	800	1600	1600
Напор, м	20	40	40	25	45
Мощность главного электродвигателя, кВт	55	132	200	250	500
Установленная мощность электрооборудования, кВт	110	190	300	370	650
Максимальная глубина разработки, м	5	5	6	6	6
Производительность по грунту, м <sup>3</sup> /ч	40	40	80	160	160
Масса, т	15	15	17,5	18,8	25

**Пример расчета задания (вариант № 1)**

Исходные данные для расчета: ширина разработки  $B = 500$  м; глубина разработки  $h = 1,5$  м; длина разрабатываемого участка (забоя)  $\ell = 1,0$  км; тип разрабатываемого грунта – пески с содержанием гравия; консистенция пульпы – 1:3; диаметр пульпопровода  $d_n = 250$  мм; геодезическая разность отметок насоса и гидроотвала  $H_d = 5,0$  м; дальность транспортирования пульпы  $L = 500$  м; потери мощности на всасывание  $N_{ec} = 5,0$  кВт.

**Выполнение расчета**

Планируемый объем работ, определяют по формуле:

$$V = 1000 \cdot B h \ell = 1000 \cdot 500 \cdot 1,5 \cdot 1,0 = 750000 \text{ м}^3$$

Производительность грунтового насоса по пульпе, м<sup>3</sup>/ч, определяется по формуле:

$$Q_n = 3600\pi d_n^2/4 v = 3600 (3,14 \cdot 0,25^2/4) 2,5 = 441,56 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где:  $Q_n$  – производительность насоса по пульпе, м<sup>3</sup>/ч;  $d_n$  – диаметр пульпопровода,  $d_n = 0,250$  м;  $v$  – скорость транспортирования пульпы, для пульпы, содержащей песок с содержанием гравия,  $v = 2,5$  м/с.

Сезонная производительность земснаряда (м<sup>3</sup>/сезон), определяется по формуле 2.6. Для сезонной нагрузки, равной 2000 часов.

$$Q_c = \frac{Q_n \cdot T_c \cdot K \cdot (100 - W_n)}{100 - W_y} = \frac{441,56 \cdot 2000 \cdot 0,7 \cdot (100 - 90)}{100 - 60} = 103030 \text{ м}^3/\text{сезон}$$

где:  $Q_c$  – сезонная производительность земснаряда, м<sup>3</sup>/сезон;  $Q_n$  – производительность грунтового насоса по пульпе, м<sup>3</sup>/ч;  $T_c$  – количество часов работы земснаряда в сезоне, ( $T_c = 1680 \dots 2200$ ) ч);  $K$  – коэффициент использования земснаряда, ( $K = 0,6 \dots 0,8$ );  $W_n$  – влажность пульпы ( $W_n = 90 \dots 98\%$ );  $W_y$  – условная влажность готовой продукции ( $W_y = 60-80\%$ ).

Требуемое количество земснарядов:

$$z = V/Q_c = 750000 / 103030 = 7,28 \rightarrow 7 \text{ земснарядов}$$

где:  $z$  – количество земснарядов, шт;  $V$  – объем разработки, м<sup>3</sup>;  $Q_c$  – сезонная производительность земснаряда (м<sup>3</sup>/сезон).

Значение гидравлического радиуса  $R$  принимают равным диаметру пульпопровода  $R = 0,25$  м.

Коэффициент «с», учитывающий шероховатость стенок труб определяется по формуле (2.10):

$$c = \sqrt{\frac{R}{m}} = \sqrt{\frac{0,25}{0,012}} = 4,564$$

где:  $m$  – коэффициент, принимаемый для труб, бывших в употреблении, м ( $m = 0,012$ )

Необходимый напор определяют по формуле:

$$H = H_\Delta + L \cdot i \cdot k_n = 5,0 + 500 \cdot 0,054 \cdot 1,6 = 48,2 \text{ м}$$

где:  $H$  – необходимый напор, м;  $H_\Delta$  – геодезическая разность отметок насоса и отвала (табл.2.1), м;  $L$  – дальность транспортирования пульпы, м;  $k_n$  – коэффициент увеличения потерь напора для пульпы;  $i$  – гидравлический уклон, определяемый по эмпирическому уравнению:

Гидравлический уклон  $i$  определяется по эмпирическому уравнению:

$$i = \frac{k_y \vartheta^2}{c \cdot R} = 0,01 \cdot 2,5^2 / 4,654 \cdot 0,25 = 0,054$$

где:  $\vartheta$  – скорость движения пульпы, м/с;  $k_y$  – коэффициент уклона, ( $k_y = 0,01 \text{ м/с}^2$ );

$R$  – гидравлический радиус, равный отношению сечения трубы к его периметру:  $R = F/p$  для расчетов можно брать  $R = d_m$ , м, (табл. 2.1).

Согласно полученным значениям производительности (441,56 м<sup>3</sup>/ч) и напора (48,2 м) выбирают грунтовый насос типа Гру 800/40, по характеристике которого подбирают земснаряд типа Миасс 800/40 (табл. 2.5).

Мощность, расходуемая на привод грунтового насоса, определяется по формуле:

$$P_H = w_{уд} \Pi_r / 102h = 1501 \cdot 0,01 \cdot 400 / 102 \cdot 0,7 = 84,1 \text{ кВт}$$

где:  $\Pi_r$  – количество перемещаемого грунта, м<sup>3</sup>/ч, ( $\Pi_r = 0,01 Q_H$  по воде);  $\eta$  – КПД насоса ( $\eta = 0,6 \dots 0,8$ );  $W_{уд}$  – удельный расход электроэнергии на транспортирование одного кубометра грунта, кВт·ч/м<sup>3</sup>, по данным производственных испытаний для разрабатываемых грунтов согласно задания можно принимать или определяется по формуле (2.13):

$$W_{уд} = 3(L + H_{\Delta})$$

где:  $L$  – дальность транспортирования, м;

$W_{уд}$  – удельный расход электроэнергии на транспортирование одного кубометра грунта, кВт.

$$W_{уд} = 3(L + H_{\Delta}) = 3 \cdot (500 + 0,04 \cdot 5,0) = 1501 \text{ кВт·ч/м}^3$$

$\Pi_r$  – количество перемещаемого грунта, м<sup>3</sup>/ч, при производительности насоса по пульпе 441,56 м<sup>3</sup>/ч и консистенции пульпы 1:3 определяется по таблице 2.5.

$$\Pi_r = 400 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$P_p$  – мощность рыхлителя, на земснаряде типа Миасс 800/40 установлен рыхлитель фрезерного типа мощностью привода 200 кВт.

Потери мощности на всасывание согласно задания (табл. 2.1) –  $P_{bc} = 5,0$  кВт.

Мощность земснаряда определяется по формуле (2.11):

$$P = P_H + P_p + P_{bc} = 84,1 + 200 + 5 = 289,1 \text{ кВт}$$

где  $P$  – мощность земснаряда, кВт;  $P_n$  – мощность грунтового насоса, кВт;  $P_p$  – мощность рыхлителя, кВт;  $P_{вс}$  – потери мощности на всасывание, кВт (табл. 2.1)

Данные расчетов заносят в сводную таблицу 2.6

Таблица 2.6

Сводная таблица результатов расчета

Тип земснаряда, показатели (установленная мощность, кВт, и др.	N, кВт	H, м	$Q_c$ , м <sup>3</sup> /сезон	$Q_n$ , м <sup>3</sup> /ч	V, м <sup>3</sup>	Z, шт
Миасс 800/40; 300 кВт	289,1	40	103030	441,56	750000	7

## 2.6. Гидромониторный способ гидромеханизации

### 2.6.1. Схемы забоев при гидромониторном способе гидромеханизации

Наибольшее распространение получили три принципиальных схемы производства (размыва), грунта гидромонитором в забоях.

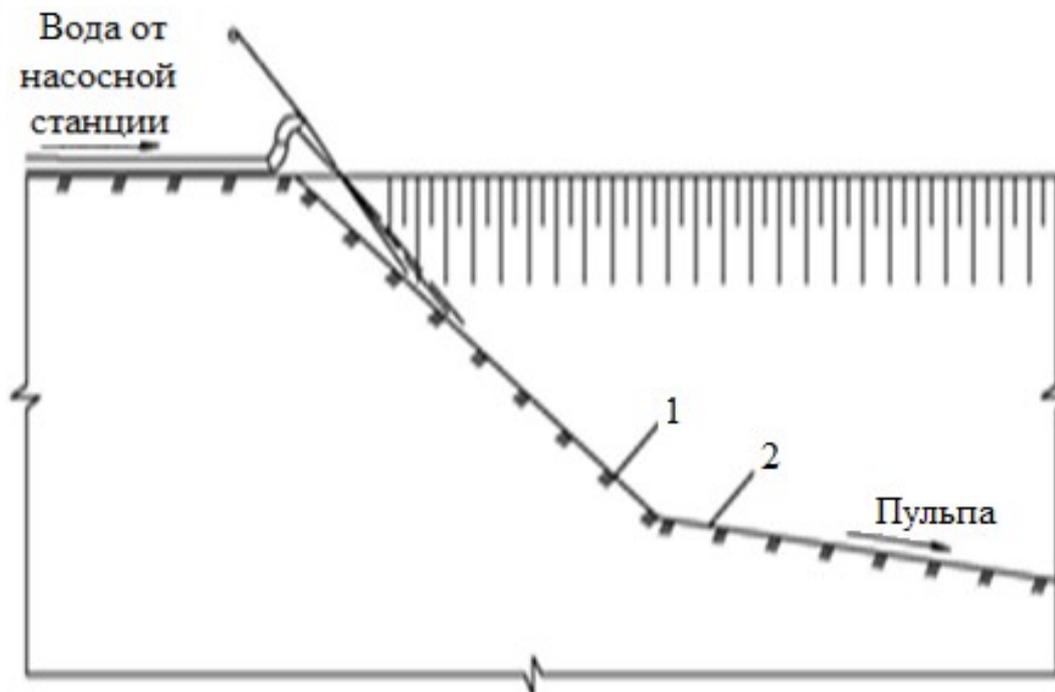


Рис. 2.12. Схема размыва грунта попутным забоем:

1 - откос забоя; 2 – подошва забоя

При попутном забое – размыв грунта производится сверху-вниз, гидромонитор устанавливается в верхней части забоя 1, и сначала разрабатывает канаву для отвода пульпы от забоя (рис. 2.12).

Затем грунт вблизи гидромонитора смывается по подошве забоя 2 и направляется в канаву, по которой стекает к зумпфу грунтонасосной (землесосной) установки. Этот способ широко используется при разработке связных грунтов и торфа. Недостаток способа большой объём недомыва и высокий удельный расход (расход большого количества кубометров воды на размыв  $1\text{ м}^3$  грунта).

При встречном забое – размыв грунта производится снизу-вверх, этот способ является наиболее производительным (рис. 2.13).

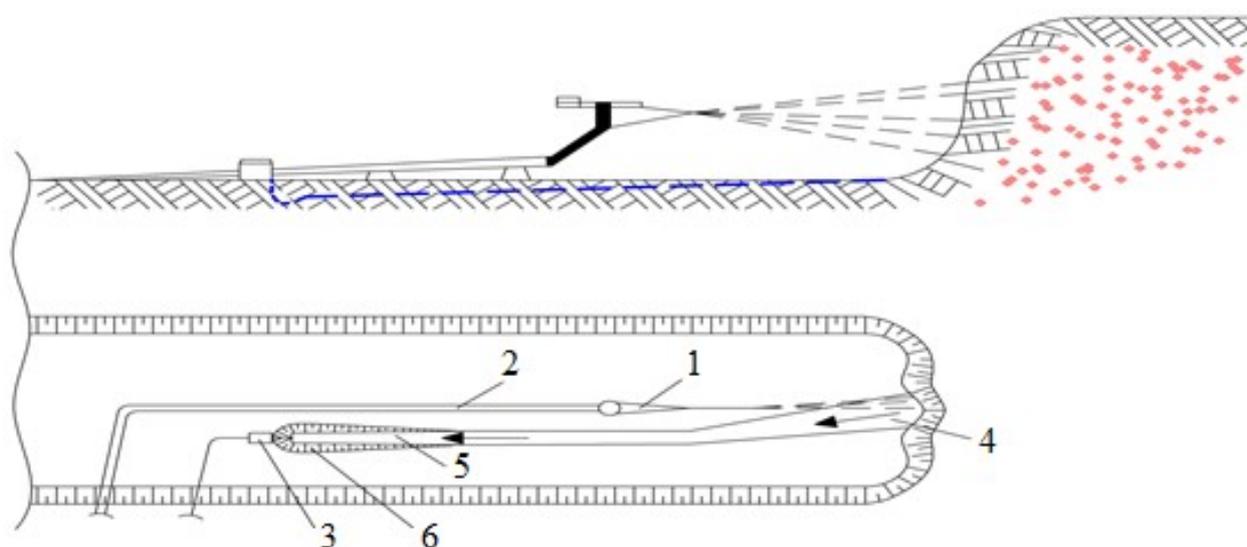


Рис. 2.13. Разработка грунта встречным забоем:

1 – гидромонитор; 2 – трубопровод подачи воды; 3 – грязевой насос;  
4 – отводной канал; 5 – отстойник; 6 – зумпф.

Гидромонитор устанавливается на подошву забоя, по возможности, максимально близко к нему, соблюдая условия техники безопасности. Таким образом, направление движения струи гидромонитора противоположно направлению движения потока пульпы.

Вначале прямым ударом струи подрезают уступ грунта по максимально возможной ширине забоя, при этом энергия струи гидромонитора используется наиболее эффективно для обрушения больших масс грунта, затем смывают обрушенный и разрыхленный грунт в канаву, по которой образовавшаяся

ся пульпа отводится к зумпфу грунтонасосной установки, благодаря образовавшемуся уклону подошвы забоя. Величина уклона зависит от крупности частиц размываемого грунта. При таком способе размыва грунта углы между струёй гидромонитора и стенкой забоя близки к прямым, поэтому процесс размыва очень эффективен. В нижней части образуются врубы, приводящие к обрушению вышележащего грунта. Дальнейшее разрушение обрушенного грунта происходит ещё интенсивнее.

При разработке грунта встречным забоем: песчаных, суглинистых и глинистых грунтов для безопасности производства работ рекомендуется выдерживать расстояние от гидромонитора до бровки разрабатываемого уступа, равное  $h$ , при разработке лёссовидных грунтов –  $1,2h$ , где  $h$  – высота уступа. Во всех случаях – уступ не должен превышать 20 м.

При боковом забое – гидромонитор устанавливается на подошву забоя, и сначала разрабатывает канаву для отвода пульпы от забоя. Далее разработка может вестись, как с поверхности, когда карьер расположен выше гидромониторно-грунтонасосной установки размыв грунта, производится снизу-вверх захватывая правую, центральную и левую часть забоя, так и из начального котлована (рис. 2.14).

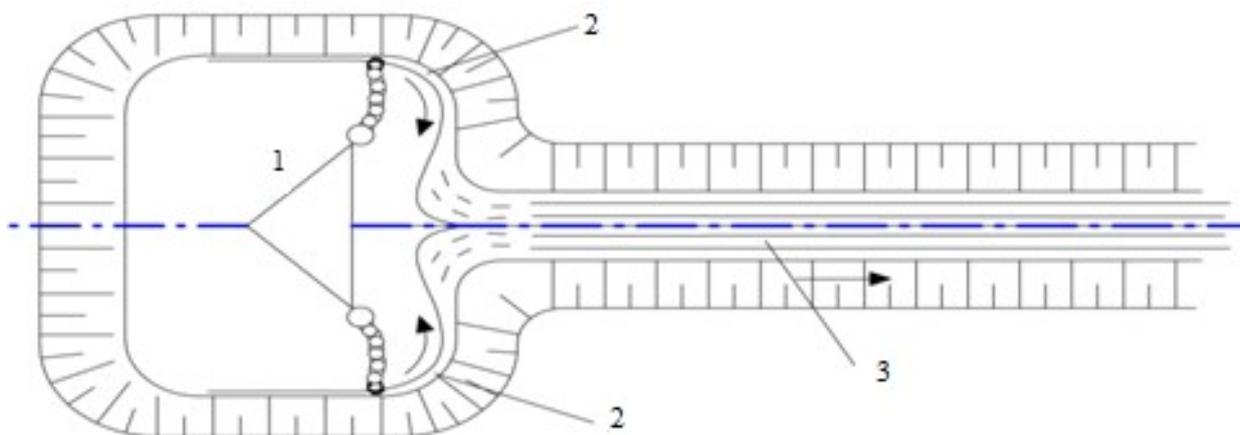


Рис. 2.14. Схемы гидромониторной разработки грунта боковым размывом:  
1 – гидромонитор; 2 – боковые забои; 3 – отводная канава

Для разработки начальных котлованов применяют гидромониторы, которые вымывают грунт из-под грунтонасосной установки, в результате чего она постепенно в процессе работы опускается.

## 2.7. Конструкция гидромониторов

*Гидромонитор* – устройство, предназначенное для образования мощной, компактной, высоконапорной струи воды и направления её в нужную точку забоя для размывания грунта при производстве земляных работ способом гидромеханизации (рис. 2.15, а).

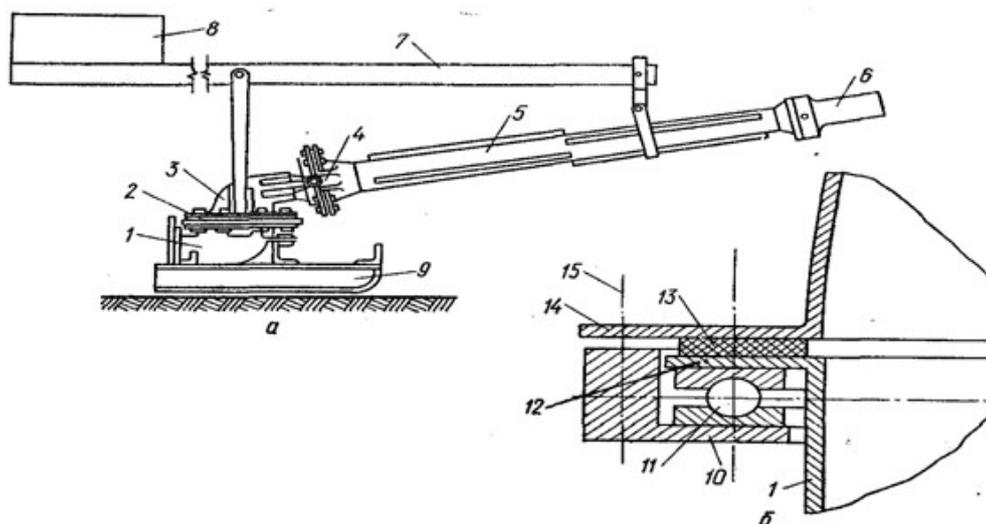


Рис. 2.15. Гидромонитор с круговым поворотом ствола:

а – общий вид; б – схема соединения колен;

1 – нижнее колено; 2 – шарнир поворота ствола в горизонтальной плоскости; 3 – верхнее колено; 4 – шарнир поворота ствола в вертикальной плоскости; 5 – ствол; б – насадка; 7 – водило (рычаг управления); 8 – противовес; 9 – салазки; 10 – обойма (разъемная по диаметру); 11 – подшипник упорный шариковый; 12 – фланец нижнего колена; 13 – уплотнение; 14 – фланец верхнего колена; 15 – стяжной болт.

Общие требования к гидромониторам заключаются в создании компактной струи воды, не расчлняющейся (не распадающейся) до достижения грунтового массива; в надежности конструкции, простоте монтажа и замены сборочных единиц и деталей; минимальных потерях напора; в легкой управляемости и безопасности. Компактность струи воды, выбрасываемой гидромонитором, зависит от гидравлического совершенства его проточной части и тщательности шлифовки насадки.

Водяная струя, вылетая из насадки с большой скоростью, сначала имеет плотную структуру и является наиболее эффективной для размыва грунта (рис. 2.16).



Рис. 2.16. Схема строения струи гидромонитора

Но по мере удаления струи от насадки ее диаметр увеличивается, скорость резко падает, давление понижается, происходит насыщение струи воздухом (аэрация) и отделение периферийных струек: струя приобретает конусную форму и эффективности ее резко снижается, поэтому расстояние между насадкой гидромонитора и поверхностью размываемого грунта (дальность полета струи) выбирается такой, чтобы разрушающая скорость воды в момент удара о стенку забоя составляла не менее 10-12 м/с для песчаных грунтов, 20-25 м/с для супесей и суглинков и 30-35 м/с для средних и тяжелых глин. Основной тенденцией развития гидромониторной разработки грунта является создание и все более широкое применение новых эффективных конструкций самоходных и дистанционно управляемых гидромониторов.

Вместе с тем, большое распространение имеют переставные гидромониторы с ручным управлением. А так как по требованиям техники безопасности гидромониторы с ручным управлением нельзя устанавливать вблизи забоя, то применяются обычно гидромониторы дальнего действия. Чтобы подавать водяную струю в разные точки забоя, в современных конструкциях гидромониторов предусмотрена возможность кругового поворота ствола в гори-

горизонтальной плоскости, и на угол  $35-75^\circ$  в вертикальной плоскости. Для обеспечения такой подвижности ствола в конструкции гидромонитора предусмотрена достаточная подвижность соединений.

На рисунке 2.17 представлена гидромониторная установка с дистанционным управлением.

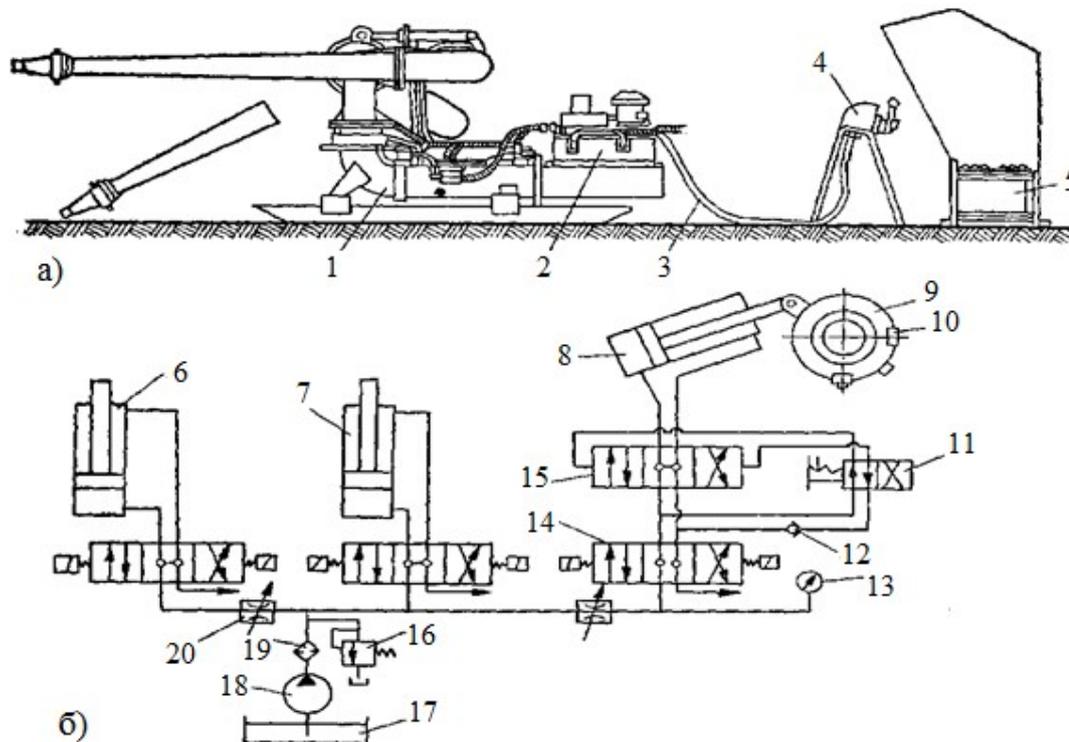


Рис. 2.17. Схемы гидромонитора с дистанционным управлением:

а – общий вид; б – электрогидравлическая система управления

1 – гидромонитор; 2 – электропривод гидросистемы; 3 – кабель; 4 – пульт управления; 5 – кабина; 6 – гидроцилиндр поворота гидромонитора в вертикальной плоскости; 7 – гидроцилиндр управления зажимом гидромонитора в вертикальной плоскости; 8 – гидроцилиндр управления зажимом гидромонитора в плане; 9 – каретка; 10 – упор; 11 – кран; 12 – обратный клапан; 13 – манометр; 14 – распределители с четырехходовыми реверсивными золотниками; 15 – распределитель с золотником для автоматического реверсирования гидромонитора в плане; 16 – предохранительный клапан; 17 – маслобак; 18 – насос с электродвигателем; 19 – фильтр; 20 – дроссели.

Она состоит из гидромонитора 1, электропривода гидросистемы 2, кабеля 3, переносного пульта управления 4 и кабины гидромониторщика 5.

Пульт управления может находиться на расстоянии до 30 м от гидромонитора. Электроприводгидросистемы, насос и масло бак установлены непосредственно на гидромониторе.

Схема гидромонитора с круговым поворотом стволапоказана на рисунке 2.17, а, электрогидравлическая системы управления представлена на рисунке 2.17, б.В нее входит маслобак 17, насос 18 с электродвигателем, фильтр 19, предохранительный клапан 16, дроссели для регулирования потока рабочей жидкости 20, манометр 13 для контроля величины давления рабочей жидкости в системе, распределители с четырехходовыми реверсивными золотниками 14 с электрическим управлением соответствующими исполнительными механизмами. Давление масла в системе должно быть до 2,5 МПа.

Поворот ствола 5 в вертикальной плоскости осуществляет гидроцилиндр 6, а поворот в плане – гидроцилиндр 8. Поворот в горизонтальной плоскости производится с помощью каретки с гидравлическим зажимом, управляемой гидроцилиндром 7. Для автоматического реверсирования ствола 5 в горизонтальной плоскости предназначено устройство, состоящее из распределителя с золотником 15, крана 11, обратного клапана 12 и упоров 10 на каретке 9.Гарантированный поворот ствола гидромонитора в горизонтальной плоскости обеспечивает горизонтальный шарнир 2, а поворот в вертикальной плоскости, обеспечивает вертикальный сальниковый шарнир 4. Вода поступает из водоисточника по напорному трубопроводу, присоединяемому к фланцу нижнего колена 1, диаметр которого является главным параметром гидромонитора.

Конструкция шарнира 2 поворота ствола в горизонтальной плоскости показана на рисунке 1.17 б. Фланец 14 верхнего колена 3 соединяется с нижним коленом 1 посредством разъемной по диаметру обоймы 10. Между выступом обоймы и фланцем нижнего колена 12 размещается подшипник упорный шариковый 11. Соединение уплотняется кожаным манжетой 13.

Сменная насадка 6 гидромонитора навинчивается на резьбу верхнего участка ствола. Каждый гидромонитор снабжается несколькими (до пяти) сменными насадками, что позволяет изменять расход воды и диаметр струи. Для стабилизации направления потока воды после прохождения колен и шарниров в стволе устанавливаются струенаправляющие ребра.

Ручное управление гидромонитором осуществляется водилом 7, но у больших гидромониторов для облегчения управления применяются штур-

вальные механические, электрические, гидравлические и электрогидравлические системы управления.

Эффективность разработки грунтов повышается при дистанционном управлении гидромониторами, которое позволяет приблизить гидромонитор к забою и увеличить давление струи на грунт. Кроме того, дистанционное управление гидромонитором повышает безопасность производства работ.

В мировой практике гидромеханизации, на больших стройках в последнее время всё чаще бывают востребованы конструкции самоходных гидромониторов. Применяются гусеничное и шагающее ходовое оборудование с дистанционным управлением.

## **2.8. Расчёт производительности гидромонитора**

При гидромониторных работах на удельный расход и необходимое давление воды значительно влияет высота уступа. С увеличением высоты забоя повышается интенсивность размыва, снижается удельный расход воды, уменьшается протяженность карьерных напорных трубопроводов и пульпоотводящих линий, увеличивается объем грунта, смываемый с одной стоянки гидромонитора и землесоса, уменьшается недомыв грунтов.

Данные по вариантам работ приведены в таблице 2.7 (Приложения 2).

В вариантах заданий, где проводится разработка однородного грунта без каменистых включений, расход воды на выгонку рассчитывать не нужно.

## **2.9. Определение параметров гидромониторного размыва разрабатываемого карьера**

### ***Расчет расхода и напора воды***

Удельный расход воды на отбойку грунта ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ ) вычисляют по формуле:

$$a_1 = P_1 / H^{0,5} \cdot V_3$$

где:  $P_1$  - коэффициент работы по отбойке ( $\text{м}^3 \cdot \text{м}$ )<sup>0,5</sup>, определяется по формуле:

$$P_1 = 6 \cdot 10^{-4} \cdot H^{2,6274} (\text{м}^3 \cdot \text{м})^{0,5}$$

где:  $H$  - необходимый напор воды, м (табл. 3.8);  $V_3$  - коэффициент трудоемкости размыва забоя.

$$V_3 = \xi_p \cdot \xi_b$$

где:  $\xi_p$  - коэффициент способа размыва (табл. 2.11);  $\xi_b$  - коэффициент высоты уступа, определяется по зависимости:

$$\xi_b = a \cdot H_y^6$$

где:  $a, b$  - эмпирические коэффициенты, при размыве с верхней площадки уступа  $a = 0,813, b = 0,288$ ;  $H_y$  - высота уступа, м.

Удельный расход воды на выгонку ( $\text{м}^3/\text{м}^3$ ) рассчитывают по формуле:

$$a_2 = P_2 / H^{0,25} \cdot V_6$$

где:  $P_2$  - коэффициент работы по выгонке ( $\text{м}^3 \cdot \text{м}$ )<sup>0,25</sup>;

$$P_2 = (3,93 \cdot B_2^2 - 5,37 \cdot B_2 + 237,98) \cdot 10^{-2}$$

где:  $B_2$  - выход мелкой гальки (20-10 мм) в размываемых рыхлых отложениях, %;  $V_6$  - коэффициент трудоемкости перемещения пород.

$$V_6 = \xi_c \cdot \xi_y \cdot \xi_{вг}$$

где:  $\xi_c$  - коэффициент системы разработки,  $\xi_c = 1$ ;  $\xi_y$  - коэффициент уклона,  $\xi_y = c/(100 \cdot i) + e$ ,  $c, e$  - эмпирические коэффициенты.

Для системы с попутно-отступающим забоем и размывом с поверхности  $c = 0,186, e = 0,758$ ;  $i$  - уклон поверхности смыва ( $i = 0,015-0,060$  в зависимости от состава размываемых грунтов, табл. 2.8) гидросмеси из забоя, организуют недомыв,  $\xi_{вг}$  - коэффициент способа выгонки пород,  $\xi_{вг} = 1$ .

Направление ведения работ (продольное или поперечное) выбирают по значению максимального уклона, и в случае, если он больше или равен значениям, приведенным в таблице 2.8, его принимают максимальным в дальнейших расчетах.

Таблица 2.8

## Необходимый напор воды для размыва грунтов гидромонитором

Категория (крепости грунтов (пород)	Грунты (породы)	Необходимый напор при высоте уступа, м:		
		до 5	от 5 до 15	>15
1	Предварительно разрыхленные не слежавшиеся	30...40	40...50	50...60
2	Пески мелкозернистые	30...40	40...50	50...60
	Супесь легкая	30...40	40...50	50...60
	Лесс рыхлый	40...50	50...60	60...70
	Торф разложившийся	40...50	50...60	60...70
3	Пески среднезернистые	30...40	40...50	50...60
	Супесь средняя	40...50	50...60	60...70
	Суглинок легкий	50...60	60...80	70...90
	Лесс плотный	60...70	70...80	80...100
4	Пески крупнозернистые	30...50	40...60	50...70
	Супесь тяжелая	50...70	60...80	7...90
	Суглинок средний, тяжелый и глины песчаные	70...100	80...110	90...120
5	Песчано-гравийная смесь с содержанием гравия до 25 %	40...80	50...90	60...100
	Глины полужирные с содержанием глинистых фракций 40-50 %	80...120	100...140	120...160
6	Песчано-гравийная смесь с содержанием гравия до 40 %	50...90	60...100	70...110
	Глины полужирные с содержанием глинистых фракций до 50-60 %	100...140	120...160	140...180

При меньших значениях, с целью обеспечения эффективной выгонки. Расчетные данные коэффициентов по отбойке и выгонке необходимо проверить по таблицам 2.9 и 2.10.

Таблица 2.9

## Необходимый расход воды на отбойку

Категория крепости пород	Коэффициент работы по отбойке, $(\text{м}^3 \cdot \text{м})^{0,5}$	Удельные расходы воды на отбойку, $(\text{м}^3/\text{м}^3)$	
		Предельное значение	Наиболее распространенное
1	14...16	1,8...3,0	2...2,6
2	23...27	2,5...4,6	3,0...3,8
3	42...48	4,2...7,5	4,5...6
4	65...75	6...11	7...9
5	110...130	9...17	10...13
6	180...240	14...25	16...20

Таблица 2.10

## Необходимый расход воды на выгонку

Крупнозернистый состав пород	Коэффициент работы по выгонке пород, $(\text{м}^3 \cdot \text{м})^{0,25}$	Удельные расходы воды на выгонку, $(\text{м}^3/\text{м}^3)$	
		Предельное значение	Наиболее распространенное
Мелкая и крупная галька отсутствует	1...1,2	0,3...0,6	0,4...0,5
Галька мелкая до 1 %	2,0...2,5	0,5...0,1	0,6...0,8
Галька мелкая до 5 %, крупная до 1 %	3,0...4,0	0,8...2,0	0,9...1,2
Галька мелкая до 10 %, крупная до 2 %	5...6,5	1,5...4,0	1,6...2,6
Галька мелкая до 15 %, крупная до 3 %	7...9	2,0...5,5	1,8...4,0
Галька мелкая до 20 %, крупная до 5 %	10...14	3...7,5	3,5...6
Галька мелкая до 25 %, крупная до 7 %	18...23	5...12	6...10
Галька мелкая до 30 %, булыжник до 10 %	28...35	7...17	8...12

Коэффициент высоты уступа зависит от способа размыва. Отличительными признаками способов размыва являются расположение гидромонитора относительно разрабатываемого уступа и приемы, используемые для отделения пород от целика, определяющие порядок размыва пород в забое.

$$\xi_{\text{в}} = a \cdot H_y^{-\text{в}}$$

где:  $a$ ,  $\text{в}$  – эмпирические коэффициенты;  $H_y$  – высота уступа, м.

Таблица 2.11

Коэффициенты способа размыва

Способ размыва пород	Категория пород	Коэффициент способа размыва
Размыв с верхней площадки уступа	-	1,3
Размыв с нижней площадки уступа	-	1
Размыв с предварительным увлажнением пород	от 3 до 4 от 5 до 6	0,1-0,3 1
Размыв с механическим рыхлением	4, 5	0,3-0,402

При размыве с верхней площадки уступа,  $a = 0,813$ ,  $\text{в} = 0,288$ , с нижней площадки уступа,  $a = 1,467$ ,  $\text{в} = 0,141$ .

Для размыва с предварительным увлажнением коэффициент высоты уступа находится в пределах 0,6...0,8.

При размыве с механическим рыхлением, породы отделяют от целика бульдозером или экскаватором, образуя отвалы рыхлых пород. Напорной струей осуществляют только выгонку пород из отвала, вследствие чего удельный расход воды сокращается. Коэффициент высоты уступа для этих условий равен 0,8...0,9.

Для системы с попутно-отступающим забоем и размывом с поверхности  $c = 0,186$ ,  $e = 0,758$ ; уклон поверхности смыва принимаем равным  $i = 0,055$ .

В соответствии с табл.2.9 и табл. 2.10 значения удельного расхода воды на отбойку песчано-гравийной смеси и удельный расхода воды на выгонку гравия из смеси соответствуют рекомендуемым значениям.

При размыве с верхней площадки уступа,  $a = 0,813$ ,  $\text{в} = 0,288$ . При размыве с нижней площадки уступа,  $a = 1,467$ ,  $\text{в} = 0,141$ .

Для размыва с предварительным увлажнением коэффициент высоты уступа находится в пределах 0,6...0,8.

При размыве с механическим рыхлением, породы отделяют от целика бульдозером или экскаватором, образуя отвалы рыхлых пород. Напорной

струей осуществляют только выгонку пород из отвала, вследствие чего удельный расход воды сокращается. Коэффициент высоты уступа для этих условий равен 0,8...0,9.

Главным отличительным признаком гидравлических систем разработки является порядок перемещения очистных выработок (забоев), который оказывает влияние на использование ударной силы струи и эффективность перемещения пород от забоя к основным транспортирующим устройствам. По этому признаку различают: системы с попутным, встречным, боковым, веерным и комбинированным забоем. Подчиненным отличительным признаком системы является направление перемещения забоя относительно восстания долины - продольная или поперечная, или относительно главного подъемного устройства - веерная или полувеерная.

Таким образом, различают следующие системы гидравлических разработок: с попутным забоем (попутно-продольная; попутно-поперечная; попутная с отступающим забоем); со встречным забоем (встречно-продольная; встречно-поперечная); с боковым забоем (боковая продольная; боковая поперечная); веерная (с полным веером; с полувеером); комбинированная

### ***Расчет гидравлических параметров гидромониторов***

Гидравлический расчет гидромониторов предусматривает расчет расхода воды у насадки гидромонитора, скорости вылета струи из насадки и ее диаметра, а также рабочего напора у насадки гидромонитора.

Секундный расход воды у насадки гидромонитора ( $\text{м}^3/\text{с}$ ):

а) при отбойке пород:

$$Q^o_c = W_r \cdot a_1 / (3600 \cdot T)$$

б) при выгонке пород:

$$Q^p_c = W_r \cdot a_2 / (3600 \cdot T)$$

где:  $W_r$  - суточная производительность предприятия по грунту,  $\text{м}^3$ ;  $T$  - чистое время работы гидромонитора в течение суток, ч.

Величина  $W_r$  определяется по данным таблицы 2.7 с учетом фактического времени использования гидроустановок во времени (табл. 2.12).

Для гидроустановок, эксплуатируемых при разработке россыпных грунтовых залежей, коэффициент использования во времени рекомендуется принимать в пределах 0,7-0,85.

Чистое время работы гидромонитора в течение суток:

$$T = n \cdot t_{\text{см}} \cdot k_{\text{и}}$$

где:  $n$  – число рабочих смен в сутках;  $t_{\text{см}}$  - продолжительность смены, ч;  
 $k_{\text{и}}$  - коэффициент использования гидромонитора во времени.

Таблица 2.12

Коэффициент использования гидроустановки во времени

Вид работы	Коэффициент
Сброс пульпы в водоем или отвал без устройства обвалования	0,95
Укладка грунта в отвал с устройством обвалования или в подводную часть сооружения (штабелей) или намыв свободным откосом	0,9
Намыв широкопрофильных частей сооружений (штабелей) или площадей	0,85
Намыв узкопрофильных частей сооружений (штабелей)	0,75

В работе учитывать сброс пульпы в водоем или отвал без устройства обвалования.

Скорость вылета струи из насадки (м/с) рассчитываем по формуле:

$$V_c = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

где:  $\varphi$  - коэффициент скорости,  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>,  $H$  - напор, м.

Коэффициент скорости находится в пределах 0,92-0,96 и зависит от плавности перехода и качества обработки внутренней поверхности насадки. В расчетах принимаем в первом приближении значение коэффициента скорости 0,94.

Расчетный диаметр насадки (м):

а) на отбойку породы: 
$$D_o = 0,55 \cdot \sqrt{\frac{Q_c^o}{\sqrt{H}}}$$

б) на выгонку породы: 
$$D_B = 0,55 \cdot \sqrt{\frac{Q_c^B}{\sqrt{H}}}$$

При выборе марки гидромонитора необходимо руководствоваться следующими положениями(табл. 2.13):

- поскольку в решаемой задаче не требуется использование экономических критериев, выбор гидромонитора производится по величине его произ-

водительности по воде. При этом не нужно стремиться к обеспечению заданного расхода воды одним гидромонитором. Надо иметь в виду, что в таблице 2.13 указано ориентировочное значение максимально возможной производительности, которая очень существенно меняется в зависимости от диаметра насадки и рабочего напора воды;

- если расчетный диаметр насадки не соответствует стандартным диаметрам выбранного гидромонитора, выбирают два и более других марок по параметрам суммарного водопотребления и площади поперечного сечения насадок.

Таблица 2.13

Технические характеристики гидромониторов

№ п/п	Характеристики	Марки гидромониторов					
		ГДУ-250	ГМН-250	ГМН-250С	ГМЦ-250	ГМДУЭГ-250	
1	Рабочее давление воды, МПа	1,0	1,5	1,5	1,6	1,6	
2	Диаметр входного отверстия, мм	250	250	250	250	250	
3	Расход воды, м <sup>3</sup> /ч	1600	-	до 1530	до 800	до 2340	
4	Угол поворота, град в гориз. плоскости вверх вниз	100	360	360	360	36	
		32	32	27	35	30	
		28	18	27	30	30	
5	Диаметры сменных насадок, мм	50, 65,75, 90,100	51,63,76,89	50,70,90, 100,150	51,63,76,89, 100	75,90,100,110, 125	
6	Габаритные размеры, мм длина ширина высота	4165	2528	3200	3460	1448	
		1500	-	570	1860	1250	
		1120	-	1460	1400	1600	
7	Управление	дистанц.	ручное	ручное	ручное	дистанцион.	
8	Масса, кг	1013	182	196	445	1080	
Марки гидромониторов							
	ГМП-250	ГМД-250	ГМСД-3000	ГМД-300	ГМДУ-300	ГМН-350	ГМ-350(190)
1	2,0	2,5	1,6	3,0	3,0	2,0	2,0
2	250	250	300	300	300	350	350
3	до 2000	до 2750	до 2920	до 4000	до 3800	до 4500	4500
4	360	360	-	330	360	270	180
	27	30	-	40	27	26	26
	27	30	-	20	27	10	10
5	80,100,110, 125	80,100,110, 125	100,115, 125,140	125,140,150	100,115, 125,140	150,160, 165,175	125,150,165, 190
6	4048	4420	9000	-	5625	6870	-
	690	2190	2105	-	2465	2247	-
	1378	1640	2200	-	2680	2950	-
7	ручное	дистанц.	дистанц.	дистанц.	дистанц.	дистанц.	дистанц.
8	318	1035	7360	4000	3000	7000	9500

Используя стандартные диаметры насадок выбранного гидромонитора, определяем действительный рабочий напор у насадки гидромонитора (м) (табл. 2.14):

а) на отбойку пород:  $H_{д}^o = 0,55^4 \cdot Q_c^2 / D^4$

б) на выгонку пород:  $H_{д}^в = 0,55^4 \cdot Q_c^2 / D^4$

Действительная скорость вылета струи из насадки (м/с) определяется:

$$V_{д} = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{д}^o}$$

Таблица 2.14

Техническая характеристика грунтовых насосов

Наименование показателей	Марка грунтовых насосов			
	ЗГМ-1М	ЗГМ-2	ЗГМ-2М	ЗГМ-1-350А
Диаметр рабочего колеса, мм	630, 700	850	850	856, 856, 910
Частота вращения вала, с <sup>-1</sup>	12,1; 12,1	9,7	12,1	9,7; 12,1; 9,7
Давление насоса, МПа	0,285; 0,37	0,43	0,53	0,38; 0,61; 0,43
Расход по воде, м <sup>3</sup> /ч	1250, 1500	1400	1900	1800; 1900; 1900
Допустимая высота всасывания, м	6; 6	5	5,7	5,5; 4,5; 5,5
Максимальный к.п.д., %	63; 66	74	65	69; 69; 70
Число лопастей	3; 3	3	3	3; 3; 3
Меньшее проходное сечение, мм	200; 200	180	190	210; 210; 210
Коэффициент быстроходности	130; 110	100	100	100; 90; 90
Масса грунтового насоса, т	3,82	3,4	3,4	4,01
Диаметр патрубков, мм				
всасывающего	300	300	350	350
напорного	300	300	300	350
Мощность двигателя, кВт	250; 320	310	630	500; 630; 500

***Пример расчета параметров гидромониторного размыва разрабатываемого карьера***

Пример расчета параметров гидромониторного размыва разрабатываемого карьера выполнен в соответствии с исходными данными варианта 25 (табл. 2.7).

Расчет расхода и напора воды для обеспечения работы гидромонитора принимаем (табл. 1.8) значение необходимого напора воды, равным 64 м.

Удельный расход воды на отбойку песчано-гравийной смеси:

$$a_1 = P_1 / 64^{0,5} \cdot V_3 = 33,4 / 64^{0,5} \cdot 1,68 = 2,485 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$P_1 = 6 \cdot 10^{-4} \cdot 64^{2,6274} = 33,4(\text{м}^3 \cdot \text{м})^{0,5}$$

$$V_3 = 1,3 \cdot 1,292 = 1,68$$

$$\xi_6 = a \cdot H^6 = 0,813 \cdot 5^{0,288} = 1,292$$

Удельный расход воды на выгонку гравия из смеси:

$$a_2 = 25,60 / 64^{0,25} \cdot 0,03 = 3,019 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

$$P_2 = (3,93 \cdot 25^2 - 5,37 \cdot 25 + 237,98) \cdot 10^{-2} = 25,60 (\text{м}^3 \cdot \text{м})^{0,25}$$

$$V_6 = \xi_c \cdot \xi_y \cdot \xi_{62} = 1 \cdot 0,03 \cdot 1 = 0,03$$

$$\xi_y = 0,186 / (100 \cdot 0,055) + 0,758 = 0,03$$

$k_n$  - коэффициент использования гидромонитора во времени.

В работе учитывать сброс пульпы в водоем или отвал без устройства обвалования (табл. 2.15).

Таблица 2.15

Коэффициент использования гидроустановки во времени

Вид работы	Коэффициент
Сброс пульпы в водоем или отвал без устройства обвалования	0,95
Укладка грунта в отвал с устройством обвалования или в подводную часть сооружения (штабелей) или намыв свободным откосом	0,9
Намыв широкопрофильных частей сооружений (штабелей) или площадей	0,85
Намыв узкопрофильных частей сооружений (штабелей)	0,75

Скорость вылета струи из насадки (м/с) рассчитываем по формуле:

$$V_c = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

где:  $\varphi$  - коэффициент скорости,  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>,  $H$  - напор, м.

Коэффициент скорости находится в пределах 0,92-0,96 и зависит от плавности перехода и качества обработки внутренней поверхности насадки. В расчетах принимаем в первом приближении значение коэффициента скорости 0,94.

Расчетный диаметр насадки (м):

а) на отбойку породы:

$$D_o = 0,55 \cdot \sqrt{\frac{Q_c^o}{\sqrt{H}}}$$

б) на выгонку породы:

$$D_b = 0,55 \cdot \sqrt{\frac{Q_c^b}{\sqrt{H}}}$$

При выборе марки гидромонитора (табл. 2.13) необходимо руководствоваться следующими положениями:

- поскольку в решаемой задаче не требуется использование экономических критериев, выбор гидромонитора производится по величине его производительности по воде. При этом не нужно стремиться к обеспечению заданного расхода воды одним гидромонитором. Надо иметь в виду, что в таблице 2.7 указано ориентировочное значение максимально возможной производительности, которая очень существенно меняется в зависимости от диаметра насадки и рабочего напора воды;

- если расчетный диаметр насадки не соответствует стандартным диаметрам выбранного гидромонитора, выбирают два и более других марок по параметрам суммарного водопотребления и площади поперечного сечения насадок.

Используя стандартные диаметры насадок (табл. 2.14) выбранного гидромонитора, определяем действительный рабочий напор у насадки гидромонитора (м):

а) на отбойку пород:

$$H_d^o = 0,55^4 \cdot Q_c^{o^2} / D^4$$

б) на выгонку пород:

$$H_d^b = 0,55^4 \cdot Q_c^{b^2} / D^4$$

Действительная скорость вылета струи из насадки (м/с) определяется по формуле:

$$V_d = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_d^o}$$

### **Пример расчета гидравлической части гидромонитора**

*Секундный расход воды:*

а) при отбойке грунта:

$$Q_c^o = 1200 \cdot 2,485 / (3600 \cdot 15,2) = 0,0545 \text{ м}^3/\text{с}$$

б) при выгонке грунта:

$$Q_c^B = 1200 \cdot 3,019 / (3600 \cdot 15,2) = 0,0662 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$T = 2 \cdot 8 \cdot 0,95 = 15,2 \text{ ч}$$

*Скорость вылета струи из насадки:*

$$V_c = 0,94 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 64} = 33,3 \text{ м/с}$$

*Расчетный диаметр насадки(м):*

а) на отбойку грунта:

$$D_o = 0,55 \cdot \sqrt{0,0545 / \sqrt{64}} = 0,045 \text{ м или } 45 \text{ мм}$$

б) на выгонку грунта:

$$D_B = 0,55 \cdot \sqrt{0,0662 / \sqrt{64}} = 0,05 \text{ м или } 50 \text{ мм}$$

Принимаем гидромонитор ГМЦ – 250, с номинальным расходом воды до 800 м<sup>3</sup> /час, с использованием стандартного диаметра насадки, равным 51 мм.

*Действительный рабочий напор у насадки гидромонитора:*

а) на отбойку грунта:

$$H^o_\delta = 0,55^4 \cdot 0,0545^2 / 0,051^4 = 133,03 \text{ м вод. столба или } 1,33 \text{ МПа}$$

б) на выгонкугрунта:

$$H^e_\delta = 0,55^4 \cdot 0,0662^2 / 0,051^4 = 192,15 \text{ м вод. столба или } 1,92 \text{ МПа};$$

*Действительная скорость вылета струи из насадки (м/с):*

$$V_d = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H^o_d}$$

а) на отбойку грунта:

$$V^o_d = \varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H^o_d} = 0,94 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 133,03} = 48,02 \text{ м/с}$$

б) на выгонкугрунта:

$$V^e_\delta = 0,94 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 192,15} = 57,72 \text{ м/с}$$

*Вывод.* Проверка работоспособности выбранной марки гидромонитора для заданных условий работы подтверждается проведенными расчетами.

## ГЛАВА III. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ И МЕЛИОРАТИВНЫХ МАШИН

### 3.1. Расчет сопротивления резания грунта рыхлителями статического действия

*Задание:* Определить сопротивление грунта резанию, расходуемую мощность и эксплуатационную производительность навесного рыхлителя.

Данные для расчета даны в табл. 3.1 (Приложения 5)

*Последовательность расчета:*

1. Начертить схему сечения зоны разрушения грунта (рис.3.1).
2. Определить среднемаксимальные касательные силы резания.
3. Определить нормальную составляющую сопротивления грунта резанию рыхлителем.
4. Проверить работоспособность машины по сцеплению и тяговому усилию.
5. Определить эксплуатационную производительность рыхлителя.

1. Начертить схему сечения зоны разрушения грунта с обозначением размеров при заданных параметрах рыхлителя и количестве зубьев (рис.3.1).

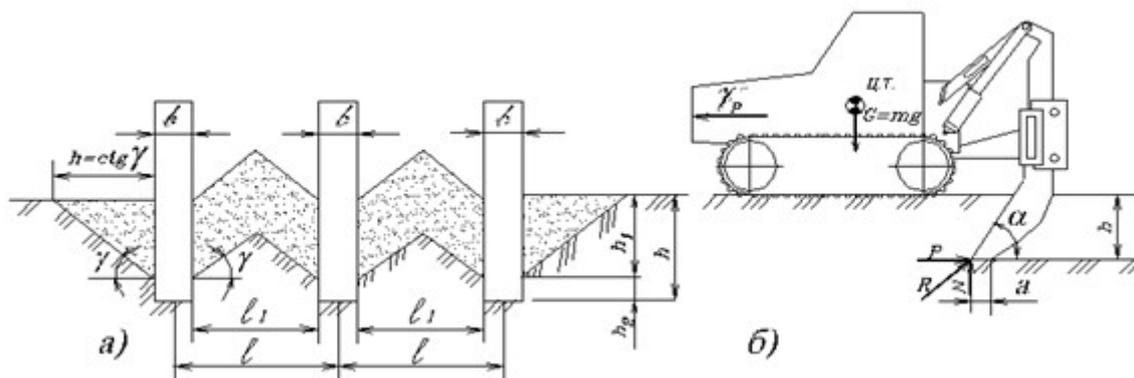


Рис. 3.1. Схемы расчета сопротивления грунта резанию  
рыхлителем статического действия:

а) схема сечения зоны разрушения грунта при первых проходах; б) схема основных конструктивных параметров рыхлителя и действующих усилий;  $h$ -глубина рыхления;  $h_1$ -глубина начала расширения прорези;  $h_2$ -глубина неразрушенной прорези;  $G$ -сила тяжести рыхлителя;  $N$  и  $P$ -нормальная и касательная силы;

тельная составляющая сопротивления грунта резанию рыхлителем;  $\alpha$ -угол резания;  $\gamma$ -угол наклона расширяющейся прорези к горизонту;  $b$ -ширина наконечника зуба;  $l$ -расстояние между осями зубьев;  $l_1$ -расстояние между зубьями.

Расширение прорези начинается с глубины  $h_1 = k \cdot h$ , где  $h$  - глубина рыхления (табл. 3.1);  $k$  - коэффициент глубины расширяющейся части прорези, зависит от угла резания  $\alpha$  и хрупкости грунта, при  $\alpha = 45^\circ, k = 0,80 \dots 0,85$  - для глины,  $k = 0,90 \dots 0,95$  - для песка,  $k = 0,85 \dots 0,90$  - для супеси и суглинка. Угол наклона расширяющейся прорези к горизонту  $\gamma = 30 \dots 60^\circ$ , меньшие значения для песка, большие - для глины.

2. Определить среднемаксимальные касательные силы резания:

а) по формуле А.Н. Зеленина при  $b = 0,01-0,1$  м, Н:

$$P_1 = 10 \cdot C \cdot h (1 + 0,55b) \left(1 - \frac{90^\circ - \alpha}{150^\circ}\right) \cdot \mu \cdot \Delta \cdot \beta \cdot z, \quad (3.1)$$

б) при  $b > 0,1$  м, Н:

$$P_2 = 10 \cdot C \cdot h \cdot \sqrt{b} \left(1 + \frac{\alpha - 30^\circ}{80^\circ}\right) \cdot \mu \cdot \Delta \cdot \beta \cdot z, \quad (3.2)$$

в) с учетом зон разрушения, Н;

при  $b = 0,01-0,1$  м:

$$P_3 = \left[ \zeta \cdot h \cdot b \cdot \sigma_p \cdot \sin \alpha + 10 \cdot C \cdot h_2 (1 + 0,55b) \left(1 - \frac{90^\circ - \alpha}{150^\circ}\right) \cdot \mu \cdot \Delta \cdot \beta \right] \cdot z. \quad (3.3)$$

г) при  $b > 0,1$  м:

$$P_4 = \left[ \zeta \cdot h \cdot b \cdot \sigma_p \cdot \sin \alpha + 10 \cdot C \cdot h_2 \cdot \sqrt{b} \left(1 + \frac{\alpha - 30^\circ}{80^\circ}\right) \cdot \mu \cdot \Delta \cdot \beta \right] \cdot z, \quad (3.4)$$

д) по формуле Ю.А. Ветрова, Н:

$$P_5 = m_{св} \cdot (\phi \cdot F_{своб} + \eta_{бок} \cdot F_{бок} + \eta_{бок.ср.} \cdot L_{бок.ср.} + \eta_{пл.изн.} \cdot h \cdot L_{пл.изн.}), \quad (3.5)$$

где:  $C$  - число ударов ударника ДорНИИ; между числом  $C$  и  $\sigma_p$  (предельное напряжение на растяжение, приводящее к разрыву разрабатываемого материала, определяется по рисунку 3.2 по характеристике грунта) существует корреляционная зависимость:

$$C = (0,8 \div 1,2) \cdot \sigma_p; \quad \sigma_p - \text{в } H/\text{см}^2$$

$b$  - ширина наконечника зуба (табл. 3.1) в формулах (3.1 и 3.2) -  $b$  в м; в формулах (3.3, 3.4) в первом слагаемом  $b$  в м, а во втором слагаемом  $b$  в м; в формуле (3.5) -  $b$  в см;  $h$  - глубина рыхления, см (табл. 1.1);

$\alpha$ -угол рыхления, град (табл. 3.2, Приложения 4), при четырехзвенной параллелограммной подвеске угол  $\alpha$  не зависит от глубины рыхления, при трехзвенной подвеске угол  $\alpha$  изменяется с изменением  $h$  (модель МГ -1-40X)); угол  $\alpha$  резания регулируется гидроцилиндром, в расчетах принимать  $\alpha = 45^\circ$ , при  $h = 0, \alpha = 32 \dots 62^\circ$ , при  $h = h_{max} = 0,45 \text{ м}, \alpha = 32 \dots 53^\circ$ ;

$\omega$ - весовая влажность грунта, %;  $-T^\circ\text{C}$  - отрицательная температура,  $^\circ\text{C}$ ;

$m_{cv}$ - удельная сила резания в лобовой части прорези при угле резания  $45^\circ$ ;

$\mu$  - коэффициент, учитывающий степень блокирования; для заблокированного резания  $\mu = 1$ , для полублокированного  $\mu = 0,75$ , для свободного резания  $\mu = 0,5$ ;

$\Delta$  - коэффициент, учитывающий затупление режущего наконечника (табл. 3.3);

$\beta$  - коэффициент, учитывающий угол заострения профиля (табл. 3.4); наконечники рыхлителей обычно имеют угол заострения  $180^\circ$ ;

$Z$ - количество зубьев (табл. 3.1);

$\zeta$  - коэффициент, характеризующий отношение истинной площади отрыва одним зубом к площади вертикальной проекции рабочего органа (табл. 3.5);  $\zeta = \frac{F_\phi}{b \cdot h}$ ;  $F_\phi$ -действительная площадь отрыва грунта;  $b \cdot h$ - площадь вертикальной проекции рабочего органа;

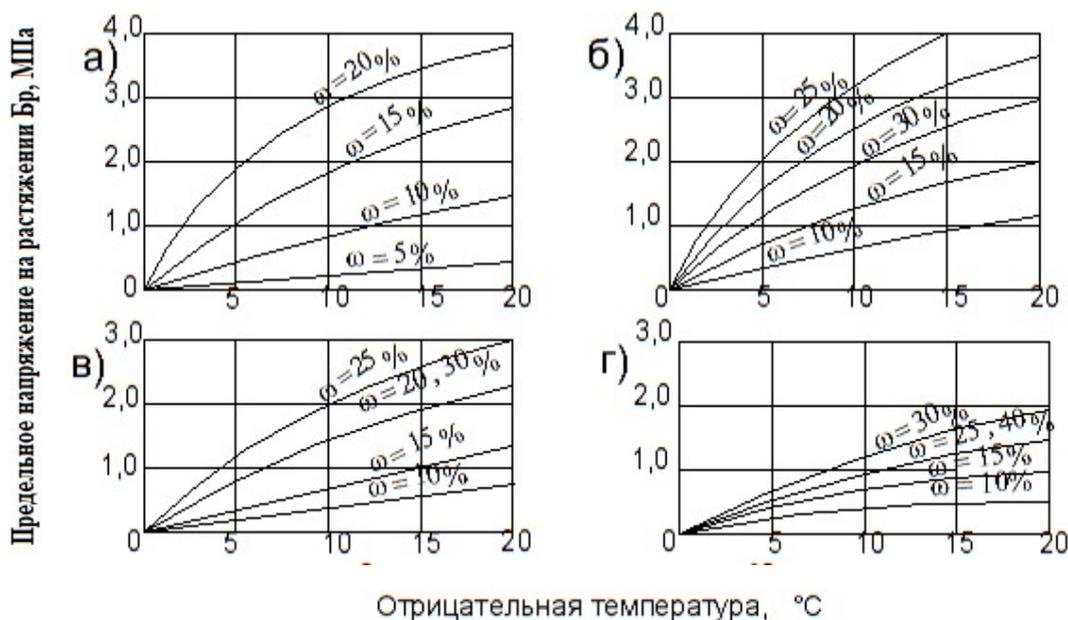


Рис. 3.2. Влияние влажности и отрицательной температуры на сопротивление мерзлых грунтов разрыву:

а) песок; б) супесь; в) суглинок; г) глина

$h_2$  - высота ярко выраженной прямоугольной прорези грунта, см;  $h_2 = H - h_1$ ;  $\sigma_p$  - предельное напряжение на растяжение, Н/см<sup>2</sup> (рис.3.2);  $m_{CB}$  - удельная сила резания в лобовой части прорези при угле резания  $\alpha = 45^\circ$ , Н/см<sup>2</sup> (табл. 3.1);  $\varphi$  - коэффициент влияния угла резания;  $\varphi = 0,85$  при  $\alpha = 40^\circ$ ;  $\varphi = 1,0$  при  $\alpha = 45^\circ$ ;  $\varphi = 1,55$  при  $\alpha = 50^\circ$ ;  $\eta_{бок}$ ,  $\eta_{бок.ср.}$ ,  $\eta_{пл.изм.}$  - коэффициенты, характеризующие разрушение грунта в боковых расширениях прорези, разрушение по боковым срезам и затупление (износ) режущих зубьев (для плотных тов:  $\eta_{бок} = 0,52$ ;  $\eta_{бок.ср.} = 76$  см; коэффициент  $\eta_{пл.изм.}$  зависит от глубины резания, радиуса затупления или ширины площадки износа  $a$ ), (табл. 3.1) и выбирается по табл. 3.6);  $F_{св}$  - площадь лобовой части поперечного сечения прорези, см<sup>2</sup>;  $F_{св} = b \cdot h \cdot Z$ ;  $F_{бок}$  - площадь разрушенного грунта в боковых расширениях прорези, см<sup>2</sup>;  $F_{бок} = h_1^2 \cdot ctg\gamma + l_1 \cdot h_1 \cdot (z - 1)$ ,  
 где:  $l_1$  - расстояние между соседними зубьями, см;  $l_1 = l - b$ ,  $l$  - расстояние между осями зубьев, см (табл. 3.2);  $\gamma = 30-60^\circ$  - угол наклона расширяющейся прорези к горизонту;  $L_{бок.ср.}$  - суммарная длина линий бокового среза грунта, см ( $L_{бок.ср.} = 2 \cdot Z \cdot h_2$ );  $L_{пл.изм.}$  - длина затупленной или изношенной режущей кромки, см ( $L_{пл.изм.} = Z \cdot b$ ).

Таблица 3.3

Значение коэффициента  $\Delta$  (при  $h > 30$  см и коэффициента  $\psi$ )

Общий показатель износа $a$ , см	0	0,6	1	2	3	4	5
Коэффициент $\Delta$ для мерзлого грунта	0,85	1,0	1,15	1,35	1,6	1,85	2,1
Коэффициент $\psi$	0,1	0,15	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0

При  $h = 20-50$  см - указанные значения  $\Delta$  увеличиваются в 1,25-1,5 раза; при  $h = 10-20$  см - в 1,5-2,0 раза.

Таблица 3.4

Значение коэффициента  $\beta$ 

Угол заострения зуба, град	180	120	90	60	50-15
Коэффициент $\beta$	1	0,96	0,90	0,83	0,81

Таблица 3.5

Значения коэффициента  $\zeta$ 

Отношение $h/b$	1	2	3	4	5	6	7
Коэффициент $\zeta$	2	3	3,7	4,2	4,2	3,9	3,4

Таблица 3.6

## Значение величины

Глубина рыхления, $h$ , см	10	20	30	40	50	60
Отношение $\eta_{\text{пл.изн.}}/a$ , см	0,224	0,137	0,116	0,100	0,091	0,071

Свести определенные по формулам (1.1 ... 1.5) значения среднемаксимальных касательных сил резания в табл. 3.7 и определить среднеарифметическое значение силы  $P$ .

Таблица 3.7

## Сводная таблица расчетных величин среднемаксимальных касательных сил резания статическими рыхлителями

При $b=0,01-0,1\text{м}$	$P_1=..., \text{Н}$	$P_3=..., \text{Н}$	$P_5=..., \text{Н}$	$P = \frac{P_1+P_3+P_5}{3}=..., \text{Н}$
При $b>0,1\text{м}$	$P_2=..., \text{Н}$	$P_4=..., \text{Н}$	$P_5=..., \text{Н}$	$P = \frac{P_2+P_4+P_5}{3}=..., \text{Н}$

3. Определить нормальную составляющую сопротивления грунта резанию рыхлителем,  $N$ :

$$N = P \cdot \psi, (3.6)$$

где:  $\psi$ - коэффициент, соответствующий отношению нормальной составляющей грунта резанию к касательной, зависит в основном от степени затупления рабочего органа (табл. 3.3).

4. Проверить работоспособность машины по сцеплению и тяговому усилию, Н:

$$P \leq P_{max}; P \leq (G - N)(\phi_{сц} - f - i), \quad (3.7)$$

где:  $P_{MAX}$  - наибольшее тяговое усилие базового трактора по мощности, Н (табл. 3.2);

$G$  - сила тяжести рыхлителя, Н (табл. 3.2);

$\phi_{сц}$ -коэффициент сцепления, принять  $\phi_{сц} = 0,6 \dots 0,8$ ;

$f$  - коэффициент сопротивления передвижению ( $f = 0,10 \dots 0,15$ );

$i$  - уклон поверхности движения ( $i = 0,05 \dots 0,10$ ).

В случае если одно из указанных неравенств (3.7) не выполняется, необходимо для заданных грунтовых условий уменьшить глубину рыхления.

4. Определить эксплуатационную производительность рыхлителя, м<sup>3</sup>/ч:

$$П_з = 3600 \frac{V}{T_{ц}} \cdot k_B, \quad (3.8)$$

где:  $V$  - объем разрыхленного грунта за цикл, м<sup>3</sup> ( $V = b \cdot h_{эф} \cdot L$ );

$b$  - средняя ширина полосы рыхления за один проход, м;

$h_{эф}$  - эффективная глубина рыхления с учетом неточности управления рабочим органом и наличия гребешков не разрыхленного грунта, м [ $h_{эф} = (0,6 \dots 0,8)h$ ];

$L$  - длина пути рыхления, м (табл. 3.1);

$T_{ц}$ - продолжительность цикла, с (при челночной схеме производства работ (при  $L$  до 500 м), с.

$$T_{ц} = \frac{L}{v_p} + \frac{L}{v_x} + t_c + t_0$$

при продольно-поворотной схеме производства работ (при  $L$  свыше 500 м), с:

$$T_{ц} T_{ц} = \frac{L}{v_p} + t_c + t_0 + t_{п}$$

$v_p$  - средняя скорость рыхлителя при рабочем процессе, м/с;

$v_p = (0,6 \dots 0,7)v_1$ ;  $v_1$ - скорость движения рыхлителя на первой передаче, м/с(табл. 3.2)(для тракторов с гидромеханической и электромеханической трансмиссией  $v_1 = 0,5 \dots 0,75$  м/с);

$v_x$ - средняя скорость рыхлителя при холостом ходе, м/с);

$t_c$  - время на переключение коробки перемены передач, с;

$t_c = 3 \dots 6$  с;  $t_0$  - время на управление рабочим органом, с ( $t_0 = 2 \dots 3$  с);

$t_{\Pi}$  - время на разворот в конце участка, с ( $t_{\Pi} = 5 \dots 12$  с);

$k_B$  - коэффициент использования рыхлителя по времени ( $k_B = 0,85 \dots 0,90$ ).

Средняя ширина полосы рыхления за один проход при числе зубьев больше одного или между двумя проходами при рыхлении одним зубом, м:

$$B \cong K_n [b \cdot Z + 2h_{\text{эф}} \text{ctg} \gamma + l_1(Z - 1)], \quad (3.9)$$

где  $K_n$  - коэффициент перекрытия,  $K_n = 0,75 \dots 0,80$ .

### **3.2. Расчет виброударного механизма для разрушения мерзлого грунта**

*Задание.* Определить основные параметры, мощность, потребную для работы виброударного механизма и производительность. Данные для расчета в табл. 3.8.

*Последовательность выполнения:*

1. В соответствии с заданием начертить принципиальную схему виброударного механизма (рис. 3.3).
2. Определить максимально возможный объем глыб, отделяемых от массива.
3. Определить ширину клина рабочего органа.
4. Определить минимальное значение энергии одного удара.
5. Определить массу ударной части вибромолота.
6. Определить массу рабочего органа (наковальня и клин).
7. Назначить режим работы вибромолота.
8. Определить угловую частоту вращения дебалансных валов.
9. Определить амплитудное значение вынуждающей силы по формуле Зеленина А.Н.
10. Определить статический момент массы дебалансов.
11. Определить максимальное значение размаха колебаний ударной части.
12. Определить абсолютную скорость движения ударной части в момент удара.
13. Определить действительное значение энергии удара вибромолота.
14. Определить мощность привода вибромолота.
15. Определить суммарную жесткость пружин вибромолота.
16. Определить момент инерции площади сечения дебаланса.

17. Определить эксплуатационную производительность виброударного механизма при циклическом рыхлении мерзлого грунта.

18. Определить удельную энергоёмкость процесса разрушения мерзлого грунта виброударным механизмом.

19. Анализ полученных результатов.

1. Вибромолот представляет собой многорежимную ударно-резонансную систему, нуждающуюся в настройке как в начальной стадии погружения инструмента, так и в течение всего периода работы, так как при этом резко изменяются условия взаимодействия инструмента с грунтом: от пластично-упругого до упругого состояния. Величина погружения клина за удар, состоящая из остаточной и упругой составляющих, зависит от массы ударной части, с уменьшением которой возрастает время погружения инструмента, а с увеличением уменьшается долговечность.

В соответствии с заданием начертить принципиальную схему виброударного механизма (рис.3.4).

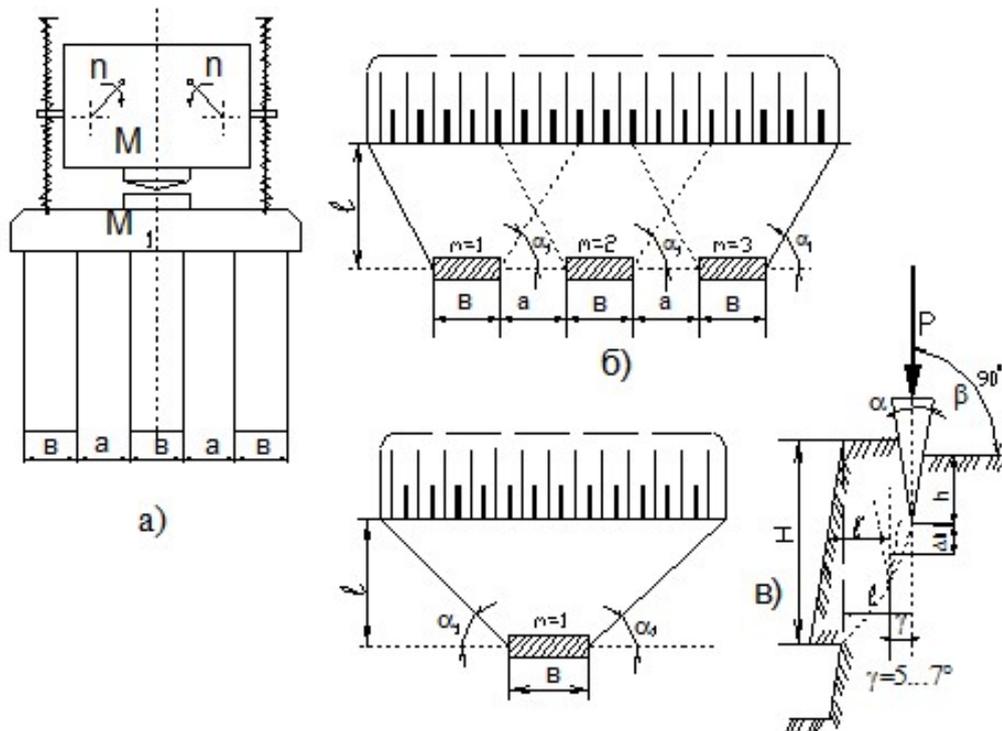


Рис. 3.4. Схема к расчету виброударного механизма для разрушения мерзлого грунта:

- а) вибромолот с рабочими клиньями; б) скол грунта у края забоя 3-мя клиньями; в) скол грунта 1-м клином

2. Определить максимально возможный объем глыб, отделяемых от массива.

Этот объем зависит от вместимости ковша экскаватора, которым предусматривается последующая экскавация разрушенного мерзлого грунта, м<sup>3</sup>;

$$V = A \cdot q, \quad (3.10)$$

где:  $A$  – коэффициент, учитывающий степень дробления мерзлоты и способность ковшей захватывать глыбы: ( $A = 0,2 \dots 0,3$  при  $m = 1$ ;  $A = 0,5 \dots 0,7$  при  $m=2$ ;  $A = 0,7 \dots 0,9$  при  $m = 3$ ;  $m$  – число рабочих клиньев);  $q$  - объем ковша, м<sup>3</sup> (таб. 3.8, Приложения 5).

5. Определить ширину клина рабочего органа<sup>x</sup>), м:

$$b = \sqrt{\frac{V}{H \cdot (1 + 2ct_1) \cdot (6m - 4,5)}}, \quad (3.11)$$

<sup>x</sup>) Формула получена из предположения оптимального расстояния между клиньями и клиньев от края забоя:  $a = (2 \dots 3)$  в;  $l = (3 \dots 4)$  в.

где:  $H$  – глубина промерзания, м (см. задание);  $\alpha_1$  - угол скола грунта;  $\alpha_1 = 30 \dots 40^\circ$ ;  $m$  - число клиньев на рабочем органе,  $m = 1, 2, 3$ .

3. Определить минимальное значение энергии одного удара, Дж:

$$A_{уд\min} \quad (3.12)$$

где:  $a_{уд}$  - удельное значение энергии удара, при котором начинается процесс внедрения инструмента в мерзлый грунт и образование лидирующей трещины, Дж/пог.м (табл.3.9).

Таблица 3.9

Сопrotивляемость мерзлых грунтов разрушению виброударной нагрузкой, Дж/пог. м (по данным М.А. Гурина)

Число ударов ударника ДорНИИ			Удельная энергия удара $a_{уд}$ , Дж/пог. м
Глина	Суглинок	Супесь	
40...110	40...130	40...150	(1...2) 10 <sup>3</sup>
110...170	130...210	150...230	(2...3) 10 <sup>3</sup>
170...220	210...270	230...300	(3...4) 10 <sup>3</sup>
220...260	270...320	300...360	(4...5) 10 <sup>3</sup>

5. Определить массу ударной части вибромолота,  $\frac{H \cdot c^2}{M}$  (кг):

$$M = \frac{2 \cdot A_{\min}}{v^2}, \quad (3.13)$$

где:  $v$  - скорость движения ударной части вибромолота в момент удара, м/с; предварительно из условия долговечности оборудования принимают:  $v = (1,0 \dots 2,5) \text{ м/с}$ ;  $A_{\min}$  в Дж.

6. Определить массу рабочего органа (наковальня и клин):

$$M_1 = (1,0 \dots 2,0) \cdot M \quad (3.14)$$

7. Назначить режим работы вибромолота.

Устойчивая работа вибромолота осуществляется при настройке на нулевой зазор и соотношения частот собственных колебаний к вынужденным, равном 0,5 и 0,25. Число ударов вибромолота:  $n_1 = 7 \dots 15$  уд/с. Коэффициент трансформации (режим работы вибромолота):

$$I = \frac{n}{n_1} = 1, 2, 3 \text{ и т.д.}$$

где:  $n$  – частота вращения дебалансных валов,  $\text{с}^{-1}$ .

8. Определить угловую частоту вращения дебалансных валов, рад/с:

$$\omega = 2\pi \cdot n = 2\pi \cdot i \cdot n_1, \quad (3.15)$$

9. Определить амплитудное значение вынуждающей силы по формуле Зеленина А.Н., Н:

$$P = m_i \cdot r \cdot \omega^2 = \frac{\omega \cdot A_{\min}}{v}, \quad (3.16)$$

Принятые значения  $P$  проверяем по рекомендуемым соотношениям:

$$\frac{9,81 \cdot M}{P} = K$$

$K = 0,07 \dots 0,15$  при  $C = 100 \dots 200$  уд.

$K = 0,15 \dots 0,30$  при  $C = 50 \dots 100$  уд.

10. Определить статический момент массы дебалансов,  $H \cdot \text{с}^2$  (кг · м):

$$m_i \cdot r = \frac{P}{\omega^2}, \quad (3.17)$$

11. Определить максимальное значение размаха колебаний ударной части, м:

$$a_1 = \beta \cdot \frac{m_i \cdot r}{M}, \quad (3.18)$$

где:  $\beta$  - коэффициент, учитывающий возрастание амплитуды колебаний (табл. 3.10).

Таблица 3.10

Значение коэффициента учитывающий возрастание амплитуды колебаний

$I = \frac{n}{n_1}$	Коэффициент восстановления скорости		
	$R' = 0$	$R' = 0,1$	$R' = 0,2$
1	3,5	4,0	4,7
2	5,1	6,0	7,1
3	7,0	8,1	10,1

Коэффициент восстановления скорости  $R$  определяет область существования устойчивых периодических движений вибромолота и изменяется в широких пределах на различных стадиях одного цикла разрушения. Для практических расчетов принимают  $R=0,1 \dots 0,3$ .

$$R' = \frac{R \frac{M_1 - 1}{M}}{\frac{M_1 - 1}{M}}, \quad (3.19)$$

12. Определить абсолютную скорость движения ударной части в момент удара, м/с:

$$v_1 = \frac{2 \cdot m_i \cdot r \cdot \omega}{M \cdot (1 - R')}, \quad (3.20)$$

13. Определить действительное значение энергии удара вибромолота, Дж:

$$A_1 = \frac{M \cdot v_1^2}{2} \geq A_{min}, \quad (3.21)$$

В случае если  $A_1 < A_{min}$ , необходимо принятые параметры вибромолота изменить и сделать пересчет параметров  $v_1$  и  $A_1$ .

14. Определить мощность привода вибромолота, кВт:

$$N = (1,2 \div 1,3) \cdot 10^{-3} \cdot A_1 \cdot n_1 \cdot \frac{1}{\eta}, \quad (3.22)$$

где:  $\eta$  – К.П.Д. привода вибромолота,  $\eta = 0,46 \dots 0,72$ ;  $A_1$  в Дж;  $n_1$  – уд/с.

15. Определить суммарную жесткость пружин вибромолота, Н/м:

$$C = K_1 \cdot \left(\frac{\omega}{2 \cdot i}\right)^2 \cdot M, \quad (3.23)$$

где:  $K_1$  – коэффициент, учитывающий повышение жесткости пружин из-за смещения оптимальных ударных скоростей в сторону отрицательных зазоров;  $K_1 = 1,1 \dots 1,2$ ,  $\omega$  – рад/с,  $M$  – масса, кг.

По значению  $C$  и  $a_1$  рассчитывают по формулам сопромата на прочность пружины, принимая допускаемые касательные напряжения не более  $2,6 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$ , с увеличением диаметра прутка пружины допускаемое напряжение уменьшают. Принятые параметры вибромолота сравниваем с технической характеристикой вибромолотов, выпускаемых промышленностью (табл. 3.11, *Приложения 5*).

16. Определить момент инерции площади сечения дебаланса.

Оптимальной формой дебаланса является такая, которая при минимальном моменте инерции обеспечивает максимальный статический момент.

Момент инерции площади сечения дебаланса,  $\text{см}^4$ :

$$I = F(r^2 + \rho^2), \quad (3.24)$$

где:  $I$  – момент инерции площади сечения дебаланса относительно оси вращения,  $\text{см}^4$ ;

$r$  – расстояние от центра тяжести сечения дебаланса до оси вращения,  $\text{см}$ ;

$\rho$  – радиус инерции площади сечения дебаланса относительно его центра тяжести,  $\text{см}$ ;

$F$  – площадь сечения дебаланса,  $\text{см}^2$ .

Момент инерции будет иметь минимальное значение при условии:

$$r = \rho \cdot \sqrt{2}$$

17. Определить эксплуатационную производительность виброударного механизма при циклическом рыхлении мерзлого грунта,  $\text{м}^3/\text{ч}$ :

$$\Pi_3 = \frac{3600}{T_{\text{ц}}} \cdot V \cdot m \cdot K_{\text{в}}, \quad (3.25)$$

где  $T_{\text{ц}}$  – продолжительность одного цикла,  $\text{с}$ ;

$V$  – объем глыбы, отделяемой от массива,  $\text{м}^3$ ;

$m$  – число клиньев на рабочем органе (табл. 3.1);

$K_{\text{в}}$  – коэффициент использования оборудования по времени,  $\text{с}$ ;  $K_{\text{в}} = 0,8$ .

$$T_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad (3.26)$$

где  $t_1$  – продолжительность заглужения виброклина,  $\text{с}$ ;

$$t_1 = \frac{10 \cdot C \cdot h}{n_1}, \quad (3.27)$$

$C$  – число ударов ударника ДорНИИ,  $h$  – глубина погружения клина до образования лидирующей трещины,  $\text{м}$ ;  $h = (0,5 \dots 0,6)H$  – для супеси;  $h = (0,6 \dots$

0,7)H– для суглинки;  $h= (0,7...0,8)$  Н – для глины; Н – глубина промерзания, м;  $n_1$  – число ударов вибромолота, уд/с.

Принято считать, что к началу следующего удара перемещение прекращается, а величина остаточной деформации от удара к удару уменьшается вплоть до лавинообразного образования лидирующей трещины;

$t_2$  – время, затрачиваемое на откол глыбы и подъем рабочего органа в транспортное положение, с ( $t_2 = 5...10$ с).

$t_3$  – время, затрачиваемое на переезд на новую позицию, с;

$$t_3 = \frac{\ell}{v_1}, \quad (3.28)$$

$\ell$  - расстояние клина от края забоя, м;  $v_1$ - скорость рабочего хода, м/с ( $v_1 = 0,15...2,5$  м/с);

$t_4$  – время установки рабочего органа на грунт, с, ( $t_4 = 2...5$  с.).

18. Определить удельную энергоемкость процесса разрушения мерзлого грунта виброударным механизмом, кВт·ч/м<sup>3</sup>:

$$\mathcal{E} = \frac{N}{P_3} \quad (3.29)$$

### 3.3. Определение основных параметров оборудования для дробильно-сортировочного комплекса

*Задание:* Определить основные параметры дробильно-сортировочных машин и произвести подбор оборудования для дробления и сортировки материала. Данные для расчета даны в таблице 3.17 и 3.18 (Приложения 6).

*Последовательность выполнения задания:*

1. Определить общую степень дробления, назначить количество стадий дробления, степень дробления и вид дробилки, для каждой стадии и для всего технологического процесса по характеристикам материала и ниже-приведенным рекомендациям.
2. Рассчитать основные параметры дробилки первой стадии.
3. Выбрать марку дробилки и определить расчетную эксплуатационную производительность и потребное количество дробилок для первой стадии.
4. Определить гранулометрический состав продукции после первой стадии дробления.
5. Составить принципиальную конструктивно-технологическую схему процесса дробления.

6. Подобрать модели дробилок для последующих стадий дробления.
7. Рассчитать основные параметры и подобрать грохоты.
8. Анализ полученных результатов.

1. Определить общую степень дробления.

$$i_{\text{общ}} = \frac{D_{\text{max}}}{d_{\text{max}}=i_1 \cdot i_2 \dots i_n} \quad (3.30)$$

где:  $D_{\text{max}}$  – максимальный диаметр исходного продукта, загружаемого в камнедробилку, м (табл.3.17);

$d_{\text{max}}$  – максимальный диаметр готового продукта, м;

$i_{1\dots n}$  – степень дробления на n-ой стадии.

ГОСТ 8267-70 предусматривает стандартные фракции мм: 5(3)...10; 10...20(25); 20...40; 40...70.

\*I – щебень; II – бутовый камень; III – дроблённый песок + щебень

Кроме того, получают дроблённый песок и бутовый камень. Таким образом,  $d_{\text{max}}$  равно максимальному размеру готового продукта.

Назначить количество стадий дробления, степень дробления и вид дробилки для каждой стадии по нижеприведенным рекомендациям (табл. 3.19) и характеристикам исходного дробления (табл. 3.17).

Большей степени дробления  $i_n = 10$  добиваться невыгодно, так как это значительно снижает производительность дробилки. При  $i_{\text{общ}*} > 10$  принимается двух и многоступенчатая схема дробления.

Таблица 3.19

Область применения дробилок

Дробилки	Дробление			Прочность, $\sigma_{\text{сж}}$ , МПа				Степень дробления, $i_n$
	Крупное d=100... 350мм	Среднее d=40... 100 мм	Мелкое d=5...4 0мм	Мягкие <80 мм	Средней прочности 80...150 мм	Прочные 150... 250 мм	Особо прочные >250м м	
Щековые	+	+	-	-	+	+	+	3...4
Конусные	+	+	+	-	+	+	+	До8.. 10
Валковые	-	+	+	+	+	-	-	3..6
Роторные	+	+	+	+	+	+	-	До10 ..18

2. Рассчитать техническую производительность дробилки для первой стадии дробления, исходя из ее вида и характеристики исходного материала и принятой степени дробления.

Назначить угол захвата дробимого материала (рис. 3.5):

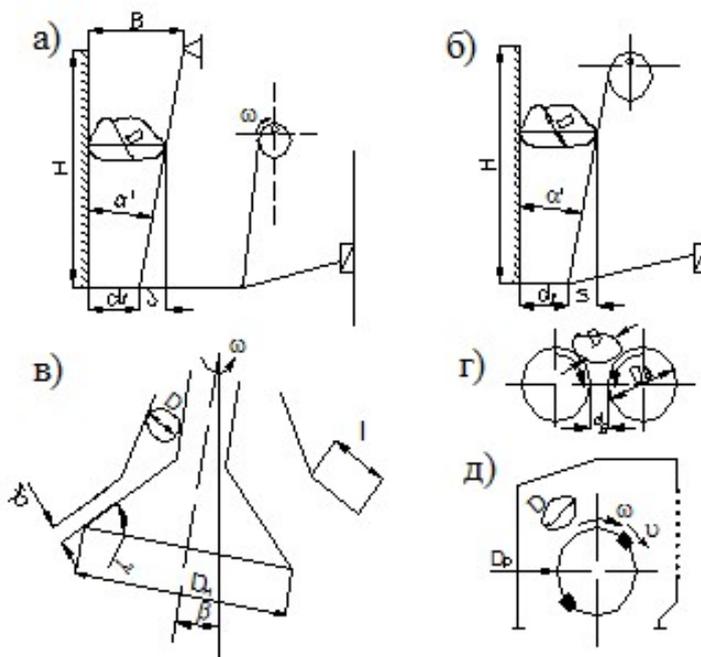


Рис. 3.5. Схемы к определению основных параметров камнедробилок:

а) щековых с простым движением щеки; б) щековых со сложным движением щеки; в) конусных; г) валовых; д) роторных.

$B$ -ширина уплотняемой полосы;  $D$ -средний диаметр исходного материала;  $D_p$ -диаметр ротора;  $D_v$ -диаметр валка;  $l$ -длина зоны параллельности;  $d$ -средний диаметр готового продукта;  $S$ -ход щеки;  $\omega$ -угловая скорость приводного вала;  $\gamma$ -угол наклона образующей конуса;  $\beta$ -угловая скорость приводного вала;  $\alpha$ -теоретический угол захвата;  $v$ -окружная скорость ротора.

конусных дробилок:

\*В роторных дробилках может достигать 40...50, однако диаметр продукта при этом не велик ( $D_{max} = 200...250$  мм).

$B$ -ширина уплотняемой полосы;  $D$ -средний диаметр исходного материала;  $D_p$ -диаметр ротора;  $D_v$ -диаметр валка;  $l$ -длина зоны параллельности;  $d$ -средний диаметр готового продукта;  $S$ -ход щеки;  $\omega$ -угловая скорость приводного вала;  $\gamma$ -угол наклона образующей конуса;  $\beta$ -угол наклона приводного вала;  $\alpha$ -теоретический угол захвата;  $v$ -окружная скорость ротора.

$\alpha'_1 = (0,45 \dots 0,7)\alpha$  - щековые дробилки;

$\alpha'_1 = \alpha_1 + \alpha_2 = 0,7\alpha$  - конусные дробилки;

$\alpha' = (0,5 \dots 0,7)\alpha$  - валковые дробилки;

$\alpha$  - теоретический угол захвата;

$\alpha = \text{arcctg} f = 2\varphi$  ;  $\varphi$  - угол трения;  $f = \text{tg} \varphi = 0,35 \dots 0,45$  – коэффициент трения.

Определить угловую скорость приводного вала для щековых дробилок, рад/с (рис. 3.5):

$$\omega = k\pi \sqrt{\frac{g \cdot \text{tg} \alpha'}{2S}}, \quad (3.2)$$

*КДС:*

$$\omega = 47,0 \cdot \sqrt{\frac{\sin \gamma - f \cos \gamma}{D_H}}, \quad (3.3)$$

*КМД:*

$$\omega = 33,4 \cdot \sqrt{\frac{\sin \gamma - f \cos \gamma}{D_H}}, \quad (3.4)$$

*валковых дробилок:*

$$\omega = \frac{12 \dots 21}{D_B}, \quad (3.5)$$

где:  $k$  - коэффициент, учитывающий выталкивание материала ( $k = 0,75$  для дробилок с простым качанием щеки,  $k = 1,15$  для дробилок со сложным качанием щеки;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение силы тяжести;

$S = d/2$  – ход щеки, м (табл.3.4);

$\gamma = 40^\circ$  – угол наклона образующей конуса;

$D_H$  - диаметр основания подвижного конуса, м (табл. 3.18, *Приложения 5*);

$D_B$  – диаметр валка, м (табл. 3.18, *Приложения 5*);

$v = 20 \dots 35 \text{ м/с}$  - окружная скорость ротора, м/с (меньшие значения – для крупного дробления, большие – для среднего и мелкого дробления);

Определить техническую производительность камнедробилки, м<sup>3</sup>/час: щековой:

$$\Pi_T = 3,6 \cdot 10^3 \frac{2d_1 + S}{2} \cdot \frac{S}{\text{tg} \alpha_1} \cdot L \cdot \omega \cdot k_p, \quad (3.6)$$

конусной:

$$\Pi_T = 3600 \cdot V \cdot n \cdot k_p, \quad (3.7)$$

$$\text{КДС} \quad \Pi_T = 150 \cdot D_H^2 \cdot \omega \cdot d_2 \cdot k_p, \quad (3.8)$$

$$\text{КМД} \quad \Pi_T = 300 \cdot D_H^2 \cdot \omega \cdot d_2 \cdot k_p, \quad (3.9)$$

$$\text{валковой:} \quad \Pi_T = 1800 \cdot D_B \cdot L \cdot d_3 \cdot \omega \cdot k_p, \quad (3.10)$$

$$\text{роторной:} \quad \Pi_T = k_p \cdot \frac{k_b \cdot \alpha \cdot D_p^{1,5}}{v^{0,35} \cdot z^{0,5}} \cdot 3600; \quad (3.11)$$

где:  $D_p$  – диаметр ротора, м ;

$V$  -объем призмы, м<sup>3</sup>;

$n$  - частота вращения эксцентрикового вала ( $n = \omega/2\pi$ ) с<sup>-1</sup>;

$d_3$ - расстояние между валками (максимальная ширина щели, табл. 3.6) м;

$L$  - длина зева камнедробилки, валка, ротора, м; (табл. 3.4; 3.5; 3.6; 3.7)

$k_p=0,3 \dots 0,6$  – коэффициент разрыхления породы;

$d_2$  – ширина параллельной зоны при максимальном сближении конусов (табл. 3.5), м;

$z$ – число бил( $z = 4$ );

$k_b$  – коэффициент, зависящий от положения отражательной плиты ( $k_b = 1,3$  - при опущенной первой плите и  $k_b = 5,2$  - при полностью приподнятой первой плите);

$v$  - окружная скорость ротора, м/с;

$$v = \omega \cdot \frac{D_p}{2}, \quad (3.12)$$

2.2. Определить мощность привода камнедробилки для каждой стадии, кВт:

$$\text{конусной:} \quad N = \frac{\sigma_{СЖ}^2 \cdot \omega \cdot L \cdot (D^2 - d^2)}{24 \cdot E \cdot \eta \cdot 1000}, \quad (3.13)$$

$$\text{КСД и КМД:} \quad N = 2,0 \cdot D_H^2 \cdot \omega, \quad (3.14)$$

$$\text{валковой:} \quad N = 14,3 \cdot L \cdot \omega \left( \frac{D_B}{D} + 0,25 \right) \frac{1}{\eta}, \quad (3.15)$$

$$\text{роторной:} \quad N = W_{ДР} \cdot \frac{\Pi_T(i-1)}{D \cdot \eta}, \quad (3.16)$$

где:  $\sigma_{СЖ}$  – предел прочности при растяжении, МПа;

$E$  – модуль упругости, МПа;

$\omega$  - рад/с;

$L, D, d$  – в м;

$P_T$  – в м<sup>3</sup>/ч;

$\eta$  – механический КПД дробилки ( $\eta = 0,8 \dots 0,85$ );

$W_{ДР}$  – энергетический показатель для дробления различных материалов, кВт·ч/м<sup>2</sup> ( $W_{ДР} = 0,014 \dots 0,024$  кВт·ч/м<sup>2</sup>).

3. На основании расчетных значений технической производительности и установочной мощности подобрать марку дробилки и определить требуемое количество дробилок для первой стадии.

*3.1 Определить расчетную эксплуатационную производительность дробилок, м<sup>3</sup>/ч:*

$$P_{ЭР} = P_T \cdot k_B \cdot k_{ТД}, \quad (3.17)$$

где  $k_B$  – коэффициент использования по времени,  $k_B = 0,8 \dots 0,85$ ;

$k_{ТД}$  – коэффициент трудности дробления;

$k_{ТД} = 1$  для легких условий дробления;

$k_{ТД} = 0,8$  для средних условий дробления;

$k_{ТД} = 0,6$  для тяжелых условий дробления.

Легкими условиями дробления можно считать дробление:

мягких пород, предел прочности на сжатие  $\sigma_{СЖ} = 118$  МПа в кусках любой крупности;

пород средней твердости  $\sigma_{СЖ} < 118 \dots 178$  МПа в кусках размером  $(0,5 \dots 0,7) \cdot v$ , где  $v$  – размер загрузочного отверстия;

твердых пород в кусках  $\sigma_{СЖ} > 178$  МПа в кусках меньше  $0,5 \cdot v$ .

Средними условиями дробления считать дробление:

твердых пород в кусках размером  $(0,5 \dots 0,7) \cdot v$ ;

пород средней твердости в кусках размером  $(0,7 \dots 0,9) \cdot v$ ;

Трудными условиями дробления считается дробление твердых пород в кусках размером  $(0,7 \dots 0,9) \cdot v$ ;

В таблицах 3.20...3.26 дана средняя эксплуатационная производительность дробилок при легких условиях дробления. Для выбора камнедробилки необходимо ее производительность привести к данным условиям дробления:

$$P_{\text{Эпр}} = P_{\text{Э}} \cdot k_{\text{ТД}}, \text{ м}^3/\text{ч}; \quad (3.17)$$

где:  $P_{\text{Эпр}}$  – приведенная эксплуатационная производительность дробилки;  
 $P_{\text{Э}}$  – эксплуатационная производительность дробилки,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , (табл. 3.23 ... 3.26).

Выбор дробилки по условию:

$$1,0 \leq \frac{P_{\text{Э. пр}}}{P_{\text{Эр}}} \leq 1,3 \quad (3.18)$$

В случае, если  $P_{\text{Эпр}}$  выбранной дробилки больше  $P_{\text{Эр}}$  более, чем в 1,3 раза, принимаем дробилку с меньшей производительностью или разделяем стадию дробления на две.

4. Определить гранулометрический состав продукта после первой стадии дробления по графику на рисунке 3.7.

Аналогично определяется гранулометрический состав готового продукта и на последующих стадиях.

5. Составить принципиальную конструктивно-технологическую схему процесса дробления.

Количество стадий дробления и тип дробилок для каждой стадии определены ранее. В завершение процесса производится грохочение. Задача сводится к определению необходимости применения промежуточных грохотов (рис. 3.8 а,в). Условно считаем, что целесообразно ставить промежуточный грохот при наличии щебня после первичного дробления в пределах 20% и выше (иногда допускается постановка промежуточного грохота и при меньшем выходе щебня). Окончательно уточняем схему после определения гранулометрического состава продукта на каждой стадии дробления. Некоторые возможные варианты изображены на рис.3.7, а.

4. Подобрать марку дробилки и определить их потребное количество для последующих стадий дробления. Выбрать марки и определить потребное количество дробилок аналогично пункту 3. Однако при наличии грохота общая производительность дробилок на следующей стадии меньше, общей производительности дробилок на предыдущей стадии,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$$P_{\text{п.с.}} = P_{\text{пр.с.}}(1 - y), \quad (3.19)$$

где:  $P_{п.с}$  – общая производительность дробилок последующей стадии,  $м^3/ч$ ,  
 $P_{пр.с}$  – общая производительность дробилок на предыдущей стадии,  $м^3/ч$ ,  
 $y$  – доля щебня товарной фракции в продукции предыдущей стадии, ( $d \leq 70$  мм);

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n \%}{100\%} \quad (3.20)$$

где:  $\sum \%$  – сумма процентного содержания товарных фракций в готовом продукте.

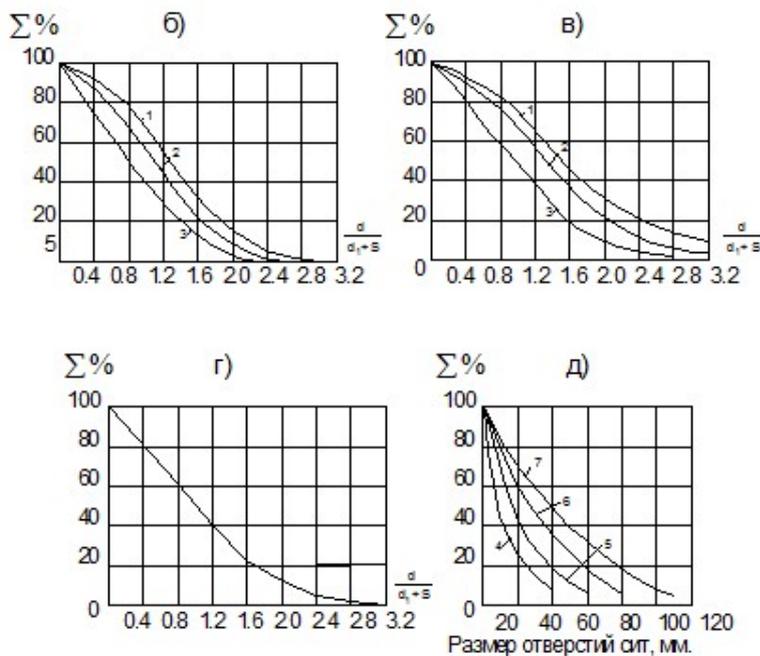
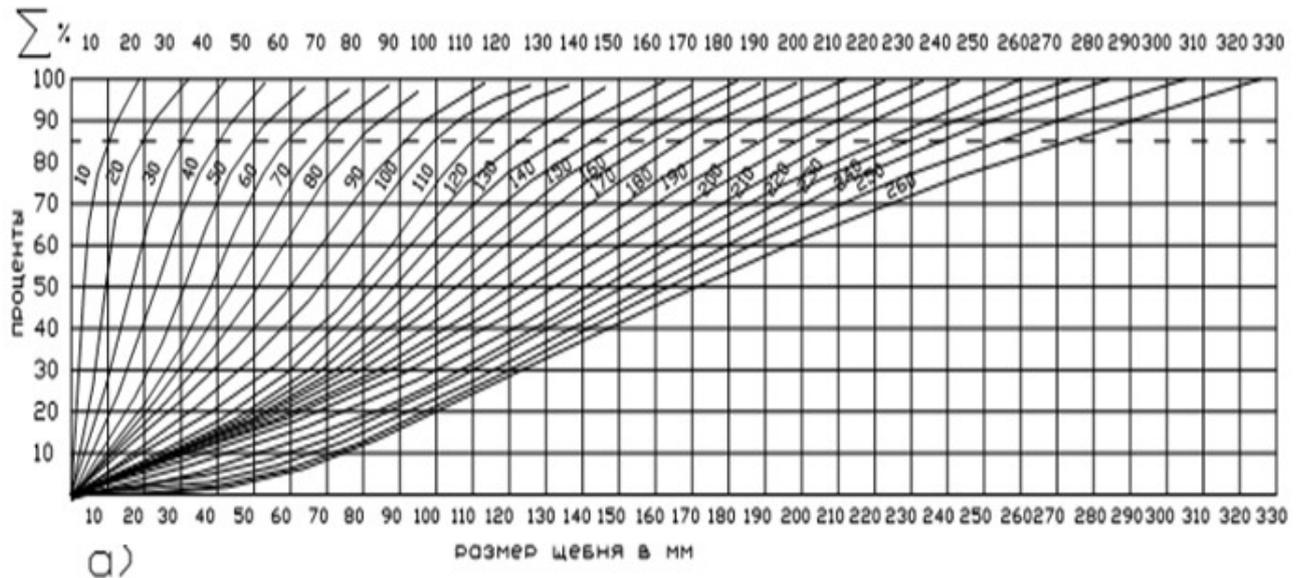


Рис. 3.6. Гранулометрия  
 продуктов дробления:

а-щековых дробилок;  
 б-конусных среднего  
 дробления;  
 в-конусных мелкого  
 дробления;

г-валковых дробилок;  
 д-роторных дробилок.

1-для пород прочностью более  $150 \text{ МН/м}^2$ ; 2-то же при  $80-150 \text{ МН/м}^2$ ; 3-то же при  $30-80 \text{ МН/м}^2$ ; 4-размер щели между плитой и ротором – 12 мм; 5-то же 22 мм; 6-тоже 33 мм; 7-тоже 46 мм.

7. Расчет грохотов сводится к определению площади отдельных сит грохотов. Выбор типа и марки грохота производится по наибольшей расчетной согласно табл. 3.6 и 3.8.

Производительность грохотов при сухом грохочении дробленого материала соответственно на горизонтальных и наклонных грохотах, м<sup>3</sup>/ч:

горизонтальные грохоты:

$$\Pi = 0,65 \cdot q \cdot k_2 \cdot k_3, \quad (3.21)$$

наклонные грохоты:

$$\Pi = 0,4 \cdot F \cdot q \cdot k_2 \cdot k_3, \quad (3.22)$$

где:  $\Pi$  – производительность сита, м<sup>3</sup>/ч;  $F$  – площадь сита, м<sup>2</sup>;

$q$  – производительность 1 м<sup>2</sup> сита в м<sup>3</sup>/ч (рис. 3.9, б);  $k_2$  – коэффициент, учитывающий процентное содержание зерен нижнего класса в продукте питания (рис. 3.9, в),  $k_3$  – коэффициент, учитывающий процентное содержание в нижнем классе зерен, размеры которых меньше 0,5 размера отверстия сита (график на рис. 3.9, г).

9. Анализ полученных данных составляем окончательную конструктивно-технологическую схему процесса (рис. 3.10). Технические характеристики выбранного оборудования сводим в таблицу 3.10. Определяем итоговый гранулометрический состав готового продукта.

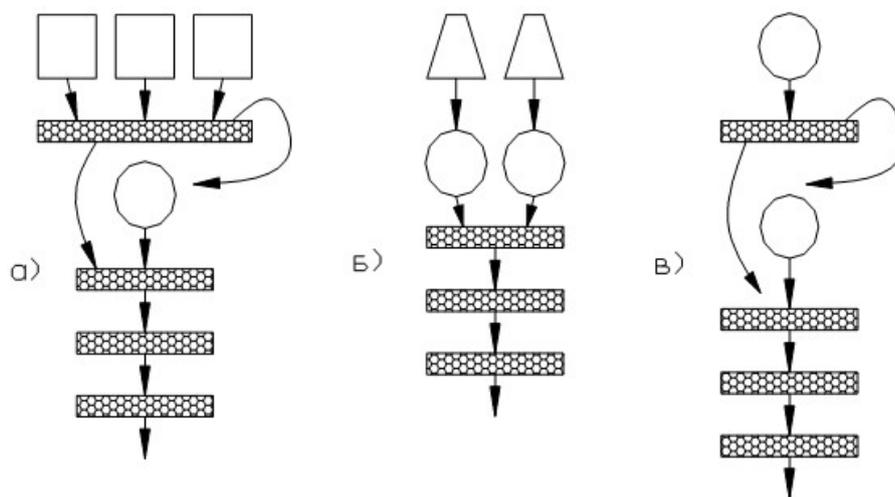


Рис. 3.8. Возможные варианты компоновки конструктивно-технологической схемы 2-х стадийного процесса дробления:

- а) 1 стадия – 3 щековых дробилки, грохот; 2 стадия – 1 роторная дробилка, грохот; б) 1 стадия – 2 конусные дробилки; 2 стадия – 2 роторные дробилки; в) 1 стадия – 1 роторная дробилка, грохот; 2 стадия – 1 роторная дробилка, грохот.

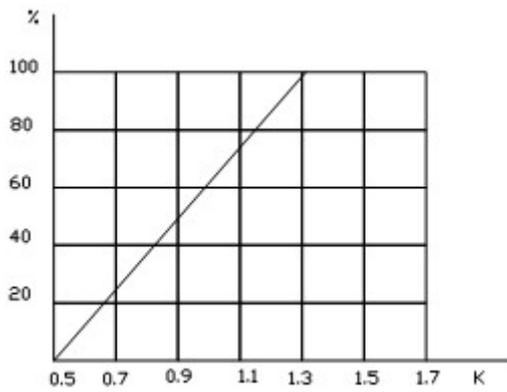


Рис.3.9, б. График значения коэффициента  $K_2$

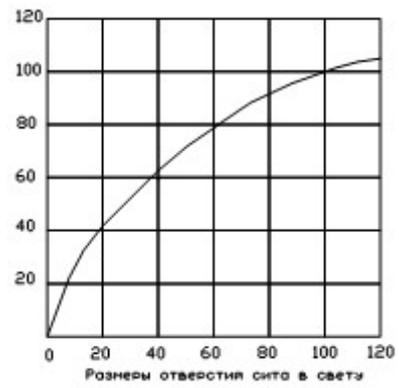


Рис.3.9, в. График удельной производительности сита, м/ч

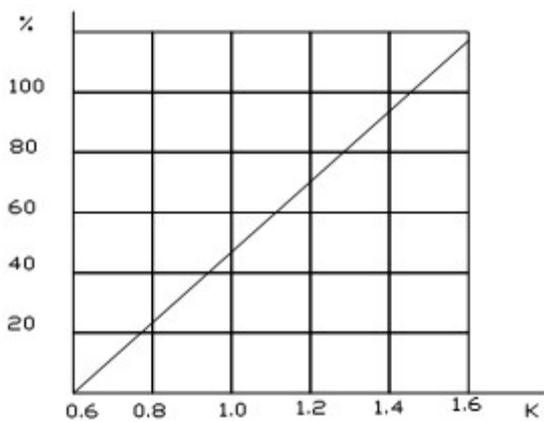


Рис.3.9, г. График значения коэффициента  $K_3$

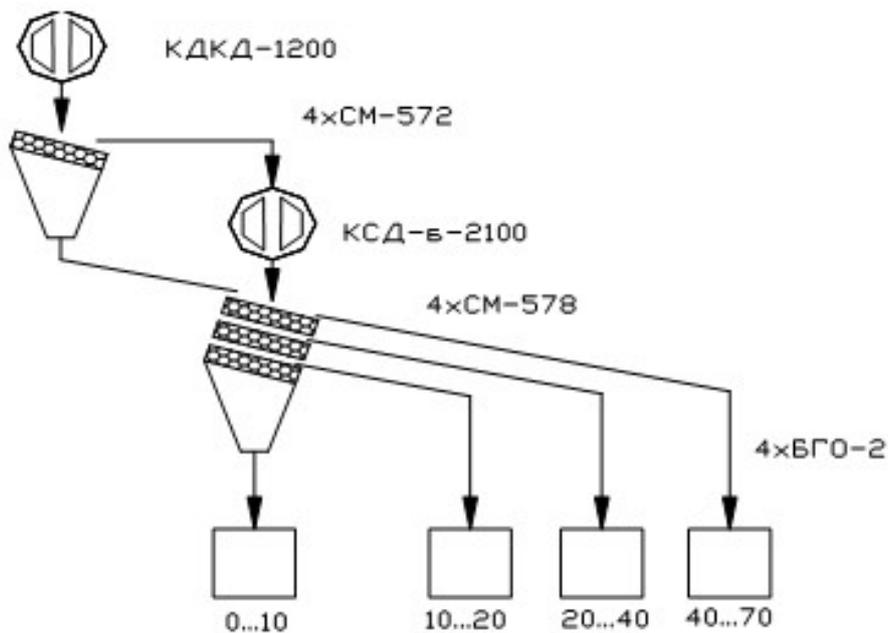


Рис. 3.10. Конструктивно-технологическая схема дробильно-сортировочной установки

Таблица 3.20

## Основные параметры щековых дробилок

Показатели	Размеры приемного отверстия								
	С простым движением щеки			Со сложным движением щеки					
	600 x 900	900 x 1200	1200 x 1500	1500 x 2100	160 x 250	250 x 400	250 x 900	400 x 900	600 x 900
Наибольший размер исходного материала D, мм	510	700	1000	1300	140	210	210	340	510
Номинальная исходная щель (d <sub>1</sub> +S) мм	100	130	150	180	30	40	40	60	100
Диапазон изменения выходной щели %	±25	± 25	± 25	± 25	±50	±50	±50	-30 +50	±50
Производительность при номинальной щеки Пт, м <sup>3</sup> /час	50	160	280	550	2,8	7,0	14,0	25,0	55,0
Мощность электродвигателя, кВт	75	100	160	250	10	17	40	30	75

Таблица 3.21

## Основные параметры конусных дробилок среднего и мелкого дробления

Показатели	КСД-600 Гр	КСД-900 Гр	КСД-1200 т	КСД-1200 Гр	КСД-1750 Гр	КСД-2200 т	КСД-2200 Гр	КМД-1200 Гр	КМД-1750 Гр	КМД-2200 Гр
Наибольший размер исходного материала D, мм	75	115	100	150	215	250	300	35	85	100
Размер выходной щели d <sub>2</sub> , мм	12...25	15...50	8...25	20...50	25...60	10...30	30...60	3..15	5...20	5...20
Диаметр основания подвижного конуса D <sub>н</sub> , мм	600	900	1200	1200	1750	2200	2200	1200	1750	2200
Производительность Пт, м <sup>3</sup> /час	19-32	38-62	30-85	70-105	160-300	120-340	340-580	12-55	40-120	75-220
Мощность электродвигателя, кВт	28	55	75	75	160	250	250	70	160	250

Таблица 3.22

## Основные параметры валковых дробилок

Наибольший размер исходного материала D, мм:	СМ-165А	СМ-12Б	Уралмаш 1000х400	СМ-201	Уралмаш 1200х500	Уралмаш 1500х600
при гладких валках	20	25	40...50	40...50	56...60	60...75
при рифленых валках	45	62	-	110	-	-
Диаметр вала D <sub>в</sub> , мм	400	610	1000	1000	1200	1500
Длина вала L, мм	250	400	400	500	500	600
Максимальная ширина щели, мм	8...9	30	100	100	120	150
Производительность Пт, м <sup>3</sup> /ч	10	30	-	100	-	-
Мощность электродвигателя, кВт	7	20	-	75	-	-

Таблица № 3.23

## Основные показатели роторных дробилок

Показатели	Крупного дробления						Мелкого и среднего дробления				
	ДРК 5х4	ДРК 5х4	ДРК 5х4	ДРК 5х4	ДРК 5х4	ДРК 5х4	ДРС5х5	ДРС5х5	ДРС5х5	ДРС5х5	
Наибольший размер исходного материала D, мм:	250	300	-	-	-	400	500	600	190	240	300
Диаметр ротора D <sub>р</sub> , мм	500	630	800	1000	1250	1600	2000	500	630	800	1000
Длина ротора L, мм	400	500	630	800	1000	1250	1600	500	630	800	1000
Производительность Пт, м <sup>3</sup> /ч	13	25	50	70	125	200	370	25	35	65	125
Мощность электродвигателя, кВт	10	22	40	55	100	160	250	30	40	75	125

Таблица № 3.24

Параметры гидрационных (эксцентриковых грохотов)

Показатели	С-96А	СМ-60	СМ-61	СМ-570	СМ-571	СМ-572	ГГР
Полезная площадь, м <sup>2</sup>	1,5	3,75	3,75	2,5	3,6	5,6	3,75
Число сит	3	2	3	2	2	2	2
Угол наклона, град	17...22	18...22	18...22	0...30	0... 30	0...30	15...25
Крупность зерен, мм	120	120	120	100	100	400	150
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	16	40	40	85	130	300	160
Мощность, кВт	4,5	5,8	7,8	4,5	7	7,85	2,36

Таблица № 3.25

Параметры инерционных грохотов

Показатели	ВГО-1	ВГО-2	ВГД-1	ВГД-2	ГУП-1
Полезная площадь, м <sup>2</sup>	3,1	4,5	3,1	4,5	3,1
Число сит	1	1	2	2	2
Угол наклона, град	15...25	15...25	15...25	15...25	15...20
Крупность зерен, мм	100	100	100	100	100
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	110	320	320	480	320
Мощность, кВт	5,5	5,5	5,5	5,5	3,8

Таблица № 3.26

Параметры дробильно-сортировочной установки

Стадия дробления	Дробилка			Грохот		
	Модель	Пт, м <sup>3</sup> /ч	N, кВт	Модель	Пт, м <sup>3</sup> /ч	N, кВт
I						
II						
III						

### 3.4. Расчет основных параметров бетоно-растворосмесительных установок

Определить мощность и производительность бетоно-растворосмесительных установок. Данные для расчета взять в таблице 3.4.1

*Последовательность выполнения упражнения:*

1. Начертить расчетную схему заданного оборудования (рис.3.4.1).
2. Определить геометрические параметры барабана.
3. Определить объем готового замеса.
4. Определить силы тяжести бетонной смеси  $G_1$  и барабана с бетонной смесью  $G_1 + G_2$ .
5. Определить угловые скорости барабана и лопастей.
6. Определить мощность двигателя привода барабана.
7. Определить мощность двигателя привода лопастей.
8. Определить эксплуатационную производительность смесительной машины.
9. Определить удельную энергоемкость смесителя.
10. Анализ полученных данных

Таблица 3.4.1

#### Задания к упражнению

№ Вар	Гравитационного перемешивания			№ Вар	Принудительного перемешивания		
	Емкость по загрузке $E$ , л	Осадка конуса, см	Назначение*		Емкость по загрузке $E$ , л	Осадка конуса, см	Назначение*
1	100	8	Б	16	150	2	Б
2	150	10	Б	17	200	2	Р
3	200	2	Б	18	250	4	Б
4	250	4	Б	19	300	6	Р
5	300	8	Р	20	350	4	Б
6	350	8	Б	21	400	10	Р
7	500	12	Б	22	450	8	Б
8	800	10	Р	23	500	12	Р
9	1000	8	Б	24	600	6	Б
10	1200	6	Б	25	700	10	Р
11	1500	5	Б	26	800	8	Б
12	2000	12	Р	27	900	8	Р
13	2400	10	Б	28	1000	10	Б
14	500	8	Б	29	400	8	Р
15	1000	6	Б	30	600	12	Р

\* Б - бетоносмесители, Р - растворосмесители.

1. Начертить расчетную схему заданного оборудования (рис. 4.1).

2. Определить геометрический объем барабана, л:

$$V = (2,25 \dots 3,0) \cdot E, (3.4.1)$$

где  $E$  – емкость барабана по загрузке, л.

Диаметр барабана, м:

$$D = \sqrt{4 \cdot V / \pi \cdot L}, (3.4.2)$$

где:  $L$  – длина барабана, назначается из соотношения  $L/D$ , принимаемого по графику (рис 7.в), исходя из емкости по загрузке  $E$ , м;  $V$ - объем барабана, м<sup>3</sup>.

3. Определить объем готового замеса:

$$Q = E \cdot k_{\text{вых}};$$

где  $k_{\text{вых}} = 0,65 \dots 0,67$  – коэффициент выхода бетонной смеси.

4. Определить силы тяжести бетонной смеси  $G_1$  и барабана с бетонной смесью  $G_1 + G_2$ :

$$G_1 = Q \cdot \gamma, (3.4.3)$$

$$G_2 = (0,6 \dots 0,7) \cdot G_1, (3.4.4)$$

$$G_1 + G_2 = (1,6 \dots 1,7) \cdot Q \cdot \gamma, (3.4.5)$$

где:  $\gamma$  - удельная сила тяжести бетонной смеси, Н/м<sup>3</sup>, принимаемая по табл. 4.2 в зависимости от жесткости бетонной смеси.

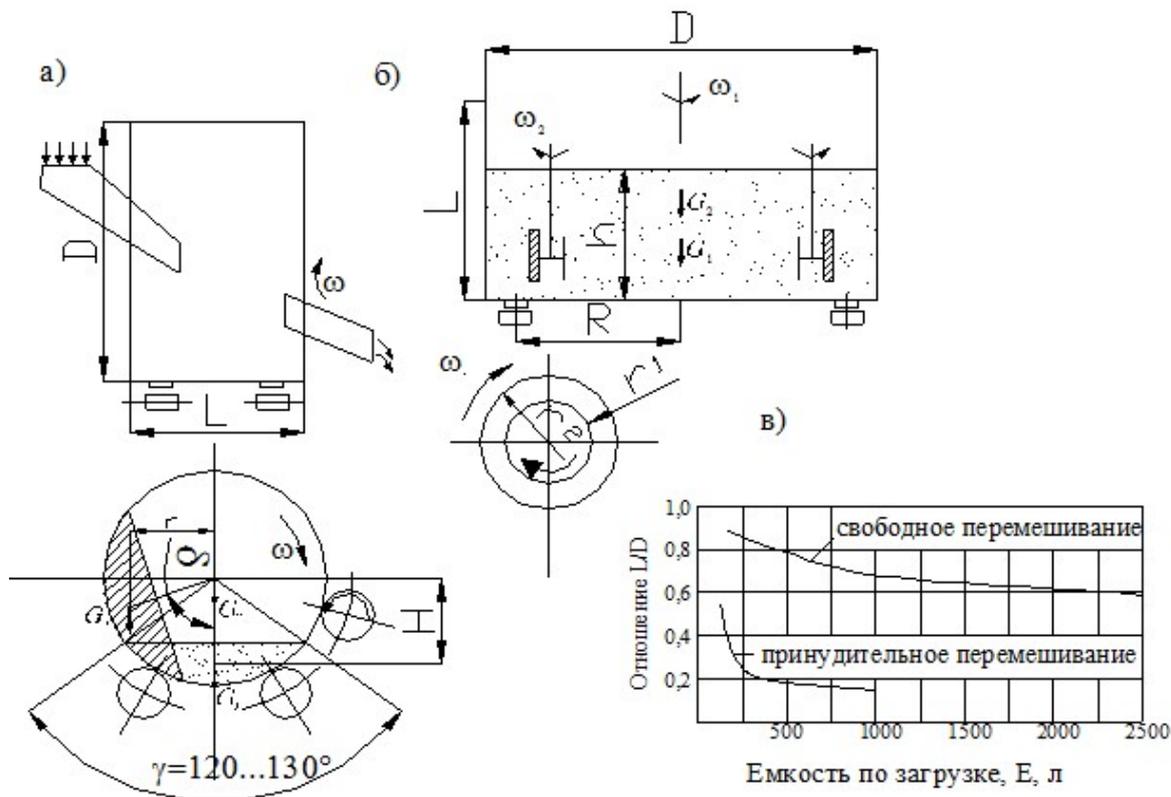


Рис. 3.4.1. Схемы бетоно-растворосмесительных барабанов:

а-гравитационного перемешивания; б-принудительного противоточного перемешивания; в-графическая зависимость  $L/D$  от  $E$ ;  $\omega_1$ -угловая скорость барабана;  $\omega_2$ -угловая скорость лопастей;  $G_1$ -сила тяжести бетонной смеси;  $G_2$ -сила тяжести барабана;

Таблица 3.4.2

Удельная сила тяжести бетонной смеси и раствора

Показатели	Бетонная смесь с осадкой конуса, см				Цементный раствор с осадкой конуса СтройНИИЛ			
	0...2	3...5	3...8	9...12	2...4	5...7	8...9	10...12
Удельная сила тяжести $\gamma$ , Н/м <sup>3</sup>	17300	18800	20200	21000	17300	18500	20400	22000

5. Определить угловые скорости барабана и лопастей.

Для гравитационных бетоносмесителей  $\omega_1 = 1,2...1,4$  рад/с ( $\omega_1=1,2...1,8$  рад/с при  $E= 1000 \dots 2500$  л;  $\omega_1=1,8...2,4$  рад/с при  $E$  менее 1000 л).

Для бетоносмесителей принудительного перемешивания  $\omega_1=0,8...1,2$ рад/с. Угловая скорость лопастного вала  $\omega_2=1,0...1,5$  рад/с

Принятые значения проверить:

а) для барабанов из условия предельного значения центробежных сил:

$$\text{свободного перемешивания: } \omega_1 \leq 2 \frac{1}{\sqrt{D}} \text{ рад/с., (3.4.6)}$$

$$\text{принудительного перемешивания: } \omega_1 \leq \frac{1}{\sqrt{D}} \text{ рад/с.,(3.4.7)}$$

где:  $D$  - диаметр барабана, м;

б) для лопастей – по условиям максимальных окружных скоростей

$$v_{л} = \omega_2(r_1+r_2)/2 \leq 2,5...3,0 \text{ м/с., (3.4.8)}$$

Средний радиус лопасти принять:

$$(r_1+r_2)/2 = D/(6...8), (3.4.9)$$

4. Определить мощность двигателя привода барабана, кВт:

$$N_1 = M \cdot \omega_1 / 10^3 \cdot \eta, (3.4.10)$$

где:  $M$ -вращающий момент на валу барабана, Н·м;

$\omega_1$  – угловая скорость барабана, рад/с;  $\eta = 0,85...0,9$  – КПД привода барабана

$$M = M_1 + M_2 + M_3, \quad (3.4.11)$$

где:  $M_1$  – момент трения на опорных роликах;

$M_2$  – момент от неуравновешенной части бетонной смеси (для бетоносмесителей принудительного перемешивания  $M_2=0$ );

$M_3$  – момент сил трения бетонной смеси о барабан (для гравитационных бетоносмесителей  $M_3 = 0$ );

$$M_1 = (G_1 + G_2) \cdot f \cdot R, \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (3.4.12)$$

$f = 0,02 \dots 0,03$  – объединенный коэффициент трения качения роликов по беговым дорожкам и в цапфах;  $R$  – радиус бандажа, м ( $R = (0,52 \dots 0,55)D$  – для гравитационных бетоносмесителей), ( $R = (0,4 \dots 0,45)D$  – для бетоносмесителей принудительного перемешивания).

$$M_2 = G_1' \cdot r = G_1' \cdot H \cdot \sin \delta; \text{ где: } G_1' = (0,7 \dots 0,8) G_1, \text{ Н}, \quad (3.4.13)$$

$H$  – расстояние от оси барабана до центра тяжести бетонной смеси, м.

$$H = (0,3 \dots 0,35)D$$

$\delta$  – угол трения смеси о стенки барабана;  $\text{tg} \delta = \mu = 0,7 \dots 0,85$ .

Условно принять, что внутренние вращающиеся лопасти останавливают  $2/3$  массы бетонной смеси или раствора относительно барабана, но так как барабан вращается, то возникает дополнительный момент от сил трения,  $\text{Н}\cdot\text{м}$ :

$$M_3 = \frac{2}{3} G_1 \cdot \mu \cdot \frac{D}{4}; \quad (4.14)$$

5. *Определить мощность двигателя привода лопастей, кВт:*

$$N_2 = \frac{M_4 \cdot \omega_2 \cdot z}{10^3 \eta_2}, \quad (3.4.15)$$

где:  $M_4$  – вращающий момент на лопастном валу,  $\text{Н}\cdot\text{м}$ ;

$\omega_2$  – угловая скорость лопастного вала, рад/с;

(обычно  $z = 3$ );  $z$  – количество лопастных валов;

$\eta_2 = 0,65 \dots 0,75$ ;  $\eta_2$  – КПД привода лопастных валов;

$$M_4 = \frac{k \cdot b \cdot (r_2^2 - r_1^2) \cdot n \cdot m}{2}, \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (3.4.16)$$

где:  $k$  – коэффициент сопротивления движения лопасти в смеси,  $\text{Н}/\text{м}^2$  (табл. 3.4.3);

$b = (0,6 \dots 0,8)L$  – проекция высоты лопасти на вертикальную ось, м;

$n$  – количество лопастей на валу;  $n=3$ ;  $r_2 - r_1 = 0,05 \dots 0,07$  м – ширина лопасти;

$m$  – коэффициент, учитывающий погружение лопастей в смесь при перемешивании;  $m = 0,6 \dots 0,7$ .

Таблица 3.4.3

Значения коэффициента  $k$ , Н/м<sup>2</sup>

Смеси	Осадка конуса, см				
	0...2	2...4	5...7	8...10	10...12
Бетонная	50000	45000	40000	35000	30000
Раствор	29000	25500	22000	16000	7000

8. Определить эксплуатационную производительность смесительной машины, м<sup>3</sup>/час:

а) циклического действия:

$$P_{\text{э}} = (3,6 \cdot E \cdot k_{\text{вых}}) \cdot k_{\text{в}} / (t_1 + t_2 + t_3 + t_4), (3.4.17)$$

где:  $E$  – емкость барабана по загрузке, л;  $t_1$  – время загрузки, с;  $t_1 = 10 \dots 15$  с – при бункерном питании,  $t_1 = 15 \dots 20$  с – при загрузке скиповым ковшом;  $t_2$  – время перемешивания, зависит от смеси, типа машины;  $t_2 = 100 \dots 300$  с (устанавливается технологически);  $t_3$  – время разгрузки;  $t_3 = 10 \dots 30$  с; время возврата барабана в исходное положение, с;  $t_4 = 0$ ;  $k_{\text{в}} = 0,8$  – коэффициент использования машины по времени;

б) непрерывного действия:

$$P_{\text{э}} = 3600 \cdot F \cdot v \cdot k_4 \cdot k_{\text{в}}, (3.4.18)$$

где:  $F$  – площадь сечения материала в смесителе, м<sup>2</sup>;

$v$  – осевая скорость перемешивания материала, м/с;  $v = 0,05 \dots 0,10$  м/с;  $k_4$  – коэффициент неравномерности смеси по длине барабана;  $k_4 = 0,9$ ;

б. Определить удельную энергоёмкость смесителя, кВт·ч/м<sup>3</sup>:

$$\text{Э} = (N_1 + N_2) / P_{\text{э}}, (3.4.19)$$

### 3.5. Подбор оборудования для пневматического способа транспортирования бетонной смеси и растворов

*Задание:* Определить основные параметры установки для пневматического транспортирования бетонной смеси и растворов по трубам. Данные для расчета даны в табл. 3.5.1.

*Последовательность выполнения упражнения:*

1. Определить общую длину бетоновода.
2. Определить приведенную длину бетоновода.

1. Определить внутренний диаметр бетоновода  $D_T$  и по нему в соответствии с ГОСТ 8732 -70 (табл №5.3) подобрать бесшовную стальную трубу.
4. Определить среднюю скорость движения бетонной смеси по бетоноводу.
5. Определить значение избыточного давления в нагнетателе.
6. Определить эксплуатационную производительность пневмотранспортной установки.
7. Выбрать по величине  $V_H$  бетоносмеситель.
8. Определить объем ресивера.
9. Определить удельный расход воздуха на транспортирование  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси.
10. Определить требуемую расчетную производительность компрессора.
11. Определить требуемую мощность пневмотранспортной установки.
12. Подобрать тип передвижного (табл. 3.5.1) или стационарного (табл. 3.5.2) компрессора.
13. Определить объем бункера.
14. Выбрать марку компрессорной установки по условию (5.23) из таблиц 3.5.1 и 3.5.2.
15. Определить энергоемкость процесса транспортирования бетонной смеси.
16. Изобразить схему пневмотранспортной установки (рис. 3.5.1) и нанести на нее полученные параметры.

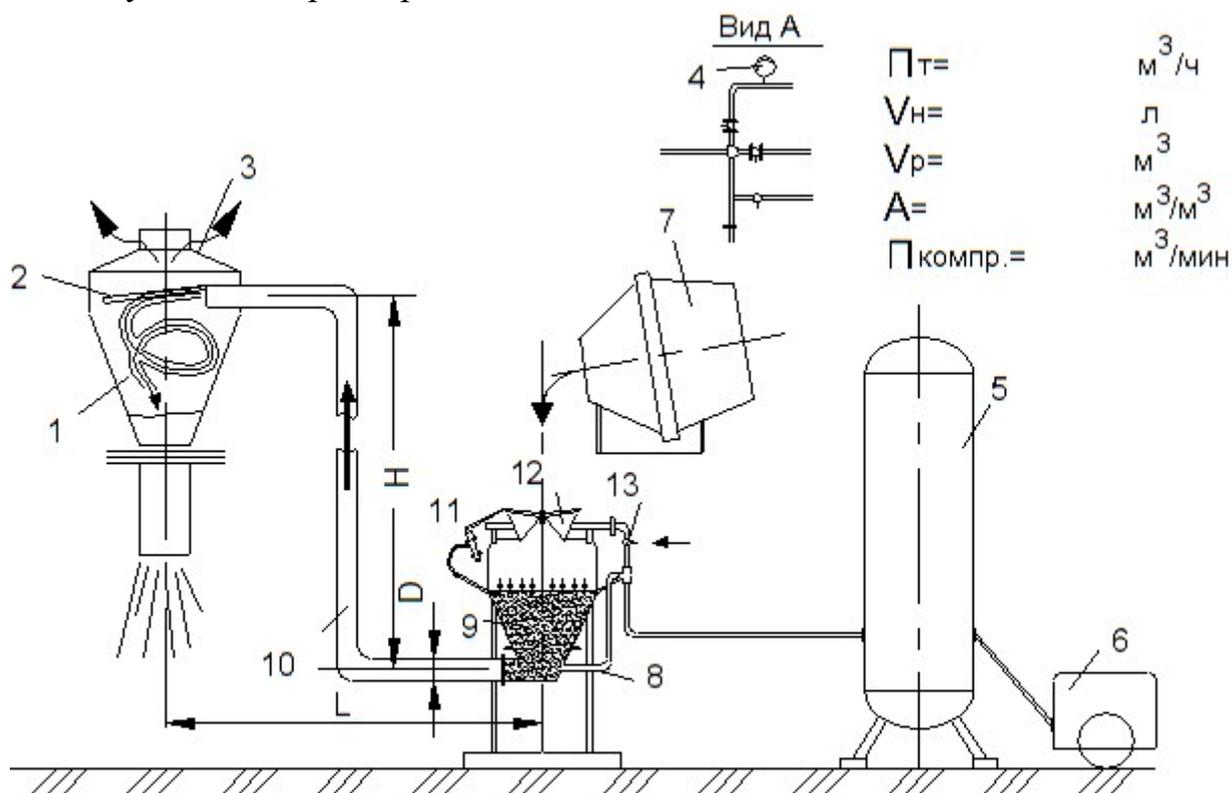


Рис. 3.5.1. Схема пневматической установки для транспортирования бетонных смесей и растворов: 1- гаситель; 2- отбойный лист; 3- верхние жалюзи; 4- манометр; 5- ресивер; 6- компрессор; 7- бетоносмеситель; 8- выходное колено; 9- пневмонагнетатель; 10- бетоновод; 11- пневмоцилиндр; 12- загрузочная воронка; 13- распределительный кран

1. Определить общую длину бетоновода, м:

$$\ell=L+N,(3.5.1)$$

где: L,N- соответственно длина горизонтального и высота вертикального участка транспортирования (рис. 5.1).

2. Определить приведенную длину бетоновода, м:

$$L_{\text{пр}}=\ell_1+\ell_2+\ell_3,(3.5.2)$$

где:  $L_{\text{пр}}$  – приведенная длина бетоновода, м;

$\ell_1$  – длина горизонтального участка, м;

$\ell_2$  – эквивалентная длина вертикального участка, м;

$$\ell_2 = K_0 \cdot N,(3.5.3)$$

$K_0$  – коэффициент эквивалентности( $K_0=8\dots 10$ );

N – длина вертикального участка;

$\ell_3$  – длина, эквивалентная коленам, м;

$$\ell_3 = \sum_{i=1}^n L \ell_{\text{Mi}} \cdot K_{\text{Mi}},(5.4)$$

$\ell_{\text{Mi}}$  – длина отрезка, эквивалентная одному колену, м;

$K_{\text{Mi}}$  – количество колен соответствующего типа.

Таблица 3.5.1

Задание к упражнению

№ Вар.	Техническая производительность $P_T, \text{ м}^3/\text{час}$	Крупность заполнителя d, мм	Подвижность смеси $\Delta$ , см	Длина по горизонтали L, м	Высота подъема H, м	Давление в нагнетателе P, МПа
1	8	35	8	140	15	0,4
2	10	40	8	160	10	0,4
3	12	45	8	180	8	0,5
4	14	45	8	150	12	0,5
5	16	50	6	140	16	0,6
6	18	50	6	120	18	0,3
7	20	50	6	130	20	0,3
8	22	44	10	110	10	0,4
9	24	40	10	100	20	0,5
10	26	45	10	150	30	0,6
11	28	50	10	180	40	0,7
12	30	50	14	270	30	0,6
13	32	60	14	300	20	0,4
14	34	60	12	280	15	0,7
15	36	30	12	260	10	0,7
16	38	38	8	240	18	0,7
17	40	45	8	220	12	0,5

18	42	40	10	200	20	0,5
19	44	50	10	200	30	0,5
20	46	60	12	100	40	0,4

Продолжение таблицы 3.5.1

№ Вар.	Техническая производительность $\Pi_T, \text{м}^3/\text{час}$	Крупность заполнителя $d, \text{мм}$	Подвижность смеси $\Delta, \text{см}$	Длина по горизонтали $L, \text{м}$	Высота подъема $H, \text{м}$	Давление в нагнетателе $P, \text{МПа}$
21	48	40	6	90	40	0,4
22	50	30	6	80	20	0,6
23	20	50	8	120	15	0,6
24	30	60	8	160	25	0,7
25	40	80	10	180	30	0,7
26	20	30	8	120	20	0,5
27	25	30	8	100	40	0,6
28	30	40	10	150	30	0,6
29	35	40	10	200	20	0,7
30	40	50	6	160	40	0,7

Таблица 3.5.2

Значение длины эквивалентных отрезков

Угол поворота, закругление радиусом 0,7...1,0 м, град. (принимать по принятой схеме транспортных участков).	22°30'	45°	90°
Длины эквивалентных отрезков коленам, м, $\ell_{mi}$	4	7	12

3. Определить внутренний диаметр бетоновода  $D$  и по нему в соответствии с ГОСТ 8732-70 (табл. 5.3) подбираем бесшовную стальную трубу.

$$D_T \geq 3d, (3.5.5)$$

где:  $d$  – диаметр наибольших кусков щебня, мм.

Таблица 3.5.3

Значение  $S$

Наружный диаметр, $D_H, \text{мм}$	108	114	121	127	133	140	146	152	159	168	180	194	203	219
Толщина стенки, $S, \text{мм}$	4,5,6,7,8				5,6,7,8			6,7,8,9,1			6,7,8,9,10			

$$D_T = D_H - 2S, (3.5.6)$$

4. Определить среднюю скорость движения бетонной смеси по бетоноводу, м/с:

$$v = (\Pi_T \cdot \ell) / (3,6 \cdot V_H - \Pi_T \cdot T_{всп}) (3.5.7)$$

где:  $P_T$  - техническая производительность установки, м<sup>3</sup>/час, (табл. 3.5.1);  $l$  - общая длина бетоновода, м;  $T_{всп}$  - вспомогательное время, затрачиваемое на погрузку и разгрузку, с (табл.3.5.9);  $V_H$  – полезный объем нагнетателя, л.

Полезный объем нагнетателя  $V_H$  и  $T_{всп}$  предварительно принимаем по табл. 5.9, задаваясь соответствующей длительностью одного цикла – 1...3 мин.

*Примечание.* Если предварительно известны: подвижность бетонной смеси, объем нагнетателя  $V_H$ , приведенная длина бетоновода  $L_{пр}$ , давление в нагнетателе  $P_H$ , диаметр бетоновода  $D_T$ , тогда средняя скорость движения бетонной смеси может быть определена по формуле:

$$v = 2,5k_1k_2k_3k_4k_5, (3.5.8)$$

где:  $k_1$ - коэффициент влияния подвижной бетонной смеси (табл.3.5.4);  $k_2$  – коэффициент влияния объема транспортируемой порции бетонной смеси (табл.5.5);  $k_3$  – коэффициент влияния длины бетоновода (табл.3.5.6);  $k_4$  – коэффициент влияния давления сжатого воздуха в нагнетателе (табл.3.5.7);  $k_5$  – коэффициент влияния внутреннего диаметра бетоновода (табл.3.5.8).

Таблица 3.5.4

Значение  $K_1$

Подвижность $\Delta$ , см	6	8	10	12	14
$K_1$	0,82	0,91	1,00	1,09	1,13

Таблица 3.5.5

Значение  $K_2$

Полезный объем нагнетателя $V_H$ , л	250	300	400	500	800	1000
$k_2$	1,00	0,75	0,6	0,5	0,35	0,30

Таблица 3.5.6

Значение  $K_3$

Длина бетоновода $l$ , м	40	60	80	100	120	140	160	180
$k_3$	0,75	0,9	1,04	1,2	1,34	1,48	1,64	1,8

Таблица 3.5.7

Значение  $K_4$

Давление в нагнетателе $P_H$ , МПа	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
------------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

$k_4$	0,82	1,49	2,0	2,35	2,5	2,84
-------	------	------	-----	------	-----	------

Таблица 3.5.8

Значение  $K_5$ 

Диаметр бетоновода $D_T$ , мм	100	120	140	160	180	200
$k_5$	0,55	0,72	0,91	1,10	1,3	1,46

Таблица 3.5.9

## Технические параметры пневмотранспортных установок

Параметры	Модель					
	250	300	400	500	800	1000
Полезный объем нагнетателя, $V_H$ , л	250	300	400	500	800	1000
Геометрический объем, $V_{HG}$ , л	300	450	600	620	1000	1200
Производительность при длительности 1 цикла $P_T$ , м <sup>3</sup> /ч						
	1 мин	15	18	25	30	48
	2 мин	7,5	9	12	15	24
	3 мин	5	6	8	10	16
Вспомогательное время, $T_{всп}$ , с	30	35	40	45	50	60
Дальность транспортирования, м:						
По горизонтали, L	300	300	300	300	350	350
По вертикали, H	35	35	35	35	40	40
Рабочее давление P, МПа	0,3-0,7					
Удельный расход воздуха, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> на транспортирование 1 м <sup>3</sup> стега	10-50	10-50	0,5-45	9-45	8-35	7,5-30
Диаметр трубопровода $D_T$ , мм	125 150			150-180	180-200	200
Максимальный размер заполнителя d, мм	40-60			60-70	70-80	80

5. Определить значение избыточного давления в нагнетателе  $P_H$ , Н/м<sup>2</sup>.

Оно должно быть больше или равно давлению, при котором начинается трогание с места бетонной смеси или раствора –  $P'$ :

$$P_H \geq P' = (a\sqrt{v} + P_0) \cdot K, \quad (3.5.9)$$

где: a – коэффициент, зависящий от состава смеси и ее реологических характеристик:

для растворов:  $a = (17...22) \cdot 10^3$ ;

для бетонной смеси:  $a = (11...14) \cdot 10^3$ ;

$P_0$  – давление, необходимое для преодоления трения смеси в момент трогания с места, Н/м<sup>2</sup>;

для растворов:  $P_0 = 9000 \dots 14000$  Н/м<sup>2</sup>;

для бетонной смеси:  $P_0 = 6000 \dots 11000$  Н/м<sup>2</sup>;

$K$  – коэффициент, зависящий от диаметра бетоновода.

Таблица 3.5.10

Значение  $K$

$D_T$ , мм	69	100	120	140	160	180	200
$K$	1,000	0,690	0,575	0,493	0,431	0,383	0,345

Кроме того,  $P_H$  должно быть больше или равно давлению  $P''$ , которое обусловлено необходимостью преодолевать гидростатическое давление от столба бетонной смеси  $P_C$ , давление от инерционных сил  $P_{И}$  и давление на преодоление гидравлических сопротивлений  $P_{Г}$ .

$$P_H \geq P'' = P_C + P_{И} + P_{Г}, \text{ Н/м}^2, \quad (3.5.11)$$

$$P_C = \gamma_{\bar{o}} \cdot g \cdot H, \text{ Н/м}^2, \quad (3.5.12)$$

где:  $\gamma_{\bar{o}}$  – плотность бетонной смеси (табл. 3.5.11)

$g$  – ускорение силы тяжести;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;

$H$  – длина участка, м;

Таблица 3.5.11

Плотность бетонной смеси и раствора

Показатели	Бетонная смесь с осадкой конуса, см.		Раствор с осадкой конуса, см.					
	0...2	3...5	5...8	9...12	2...4	5...7	8...9	10...12
$\gamma_{\bar{o}}$ , кг/м <sup>3</sup>	1760	1920	2060	2150	1750	1880	2080	2240

$$P_{И} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{\bar{o}} \cdot \frac{l \cdot v_P}{t_P}, \text{ Н/м}^2, \quad (3.5.13)$$

где:  $t_P$  – время разгона бетонной смеси;  $t_P = 5 \dots 10$  с;

$v_P$  – в м/с;  $\gamma_{\bar{o}}$  – в кг/м<sup>3</sup>;

$P_{Г}$  – давление на преодоление гидравлических сопротивлений, Н/м<sup>2</sup>:

$$P_{Г} = (2 \dots 4) 10^5, \text{ Н/м}^2 \quad (3.5.14)$$

Из двух значений ( $P'$  и  $P''$ ) выбирается большее и по нему назначаем  $P_H$

8. Определить эксплуатационную производительность пневмотранспортной установки, м<sup>3</sup>/час:

$$\Pi_{\text{Э}} = \frac{3,6 \cdot V_{\text{Н}}}{\frac{l_{\text{ПР}}}{v} + T_{\text{ВСП}}} \cdot k_{\text{В}}, \quad (3.5.15)$$

где:  $V_{\text{Н}}$  – в л.;  $l_{\text{ПР}}$  – в м.;  $v$  – в м/с;  $T_{\text{ВСП}}$  – вспомогательное время, затрачиваемое на погрузку и разгрузку, с;  $k_{\text{В}}$  – коэффициент использования установки по времени,  $k_{\text{В}} = 0,8$ ;

В случае, если фактическая производительность установки получается меньше заданной в задании, то необходимо принять увеличенный объем нагнетателя  $V_{\text{Н}}$  и выполнить соответствующий перерасчет  $v$  и  $\Pi_{\text{Э}}$ .

7. Выбрать по величине  $V_{\text{Н}}$ , л бетоносмеситель (марку):

$$Q \geq V_{\text{Н}}, \quad (3.5.16)$$

где  $Q$  – объем готового замеса (таб.5.12).

Таблица 3.5.12

Характеристика бетоносмесителей

Показатели	Гравитационные				Принудительного действия			
	СБ-15	СБ-91	СБ-10А	СБ-10А	СБ-80	СБ-35	СБ-79	С-951
Геометрическая емкость, л	500	750	1200	1500	250	500	750	1200
Объем готового замеса, л	330	500	800	1000	165	330	500	800

8. Определить объем ресивера  $V_{\text{Р}}, \text{м}^3$ :

$$V_{\text{Р}} = 1,2 \cdot V_{\text{Н.Г.}} + 0,85 D_{\text{Т}}^2 \cdot \ell, \quad (3.5.17)$$

где:  $V_{\text{Н.Г.}}$  – геометрический объем нагнетателя, м<sup>3</sup>;

$$V_{\text{Н.Г.}} = (1,2 \dots 1,5) \cdot V_{\text{Н}}, \text{ м}^3, \quad (3.5.18)$$

$D_{\text{Т}}$  - диаметр трубопровода, м;  $\ell$  - в м.

9. Определить удельный расход воздуха на транспортирование 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>:

$$A = \frac{P_H - P_1}{P_0} \cdot \frac{0,85 \cdot D_T^2 \cdot l + V_{H.G.}}{V_H}, \quad (3.5.19)$$

где:  $P_H$  – рабочее давление в нагнетателе, МПа;

$P_1$  – давление сжатого воздуха в нагнетателе и бетоноводе в конце цикла транспортирования при  $V_H$  и  $V_{H.G.}$  – в  $m^3$ ;

$$V_H = 0,25 \dots 0,4 \text{ м}^3; p_1 = 0,15 \text{ МПа};$$

$$V_H = 0,5 \dots 1,0 \text{ м}^3; p_1 = 0,17 \text{ МПа};$$

$P_0$  – атмосферное давление, МПа;  $P_0 = 0,1 \text{ МПа}$ ;

10. Определить требуемую расчетную производительность компрессора,  $m^3/\text{мин}$ ;

$$\Pi_{\text{компр.р}} = \frac{A \cdot \Pi_{\text{э}}}{60}, \quad (3.5.20)$$

11. Определить требуемую мощность пневмотранспортной установки (компрессора), кВт;

$$N_{\text{компр.}} = \frac{P_H \cdot \Pi_{\text{компр.}}}{60 \cdot \eta} \cdot K_3, \quad (3.5.21)$$

где:  $\eta$  - КПД привода;  $\eta = 0,70 \dots 0,80$ ;  $K_3$  - коэффициент запаса;  $K_3 = 1,2$ .

12. Подобрать тип передвижного (таб. 3.5.13) или стационарного (таб. 3.5.14) компрессора по требуемой мощности, производительности компрессора, и давлению в нагнетателе,  $m^3/\text{мин}$ .

Таблица 3.5.13

Характеристика передвижных компрессорных станций

Показатели	Модель						
	ПП-1,5	ПКС-3,5	ПКС-5,25	ПКС-5	ЭК-9М	МВ-107	ПР-16
Производительность, $m^3/\text{мин}$	1,5	3,5	5,25	5,0	9,0	10,0	16,0
Давление, МПа	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,8	0,7
Мощность двигателя, кВт	14,7	30	40	44,8	75	75	176,5

Таблица 3.5.14

Характеристика стационарных компрессорных установок

Показатели	Марка										
	Поршневые									Винтовые	
	ВУ-3/8	ПК-3,5	2ГП-415	КСЭ-5М	2ГП-6/18	202ВП-12,3	202ВП-20/2	ВП-20/8М	305ВП-30/8	6ВКМ-13/8	6ВКМ-25/8
Производительность, м <sup>3</sup> /мин	3	3,5	4	5	6	10	12	20	30	13	25
Давление, МПа	0,8	0,7	0,5	0,8	1,8	0,8	0,35	0,2	0,8	0,8	0,8
Мощность двигателя, кВт	20	20	23	34	60	75	75	75	200	125	200

12. Определить объем бункера, м<sup>3</sup>:

$$V_{\text{ПР}} = 3 \cdot V_{\text{Н}}, \quad (3.5.22)$$

14. Выбрать марку компрессорной установки по условию (5.23) из таблиц 5.13 и 5.14:

$$P_{\text{компр}} \geq P_{\text{компр.р}}; P_{\text{компр}} \geq P_{\text{Н}}, \quad (3.5.23)$$

где:  $P_{\text{компр}}$  и  $P_{\text{компр.р}}$ , соответственно, производительность и давление выбранного компрессора.

15. Определить энергоемкость процесса транспортирования бетонной смеси:

$$\mathcal{E}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}; \quad \mathcal{E} = \frac{N_{\text{ДВ. КОМПР}}}{P_{\mathcal{E}}}, \quad (3.5.24)$$

где:  $N_{\text{ДВ. КОМПР}}$  - мощность выбранного компрессора, кВт;

$P_{\mathcal{E}}$  - эксплуатационная производительность пневмотранспортной установки, м<sup>3</sup>/ч.

16. Изобразить схему пневмотранспортной установки (рис. 3.5.8) и нанести на нее полученные параметры.

### 3.6. Расчет основных параметров поршневого бетононасоса с механическим приводом

*Задание.* Рассчитать основные параметры поршневого бетононасоса.  
Данные приведены в таблице 3.6.1.

*Последовательность выполнения упражнения:*

1. Определить потребную мощность на привод бетононасоса.
2. Определить эксплуатационную производительность бетононасоса и энергоемкость процесса.
3. Расчет и подбор бетоновода.
4. Анализ полученных данных.

1.1. Определить мощность, потребную на привод поршневого бетононасоса, кВт:

$$N = \frac{1}{\eta_1}(N_1 + N_4) + \frac{1}{\eta_2}(N_2 + N_3), (3.6.1)$$

где:  $N_1$  - мощность, расходуемая на привод вала побудителя кВт;

$N_2$  - мощность, расходуемая на привод клапанов кВт;

$N_3$  - мощность, расходуемая на привод поршня кВт;

$N_4$  - мощность, расходуемая на привод лопастного вала кВт;

$\eta$  - механический КПД кривошипного вала; = 0,70...0,80;

$$N_{1...4} = M_{1...4} \times \omega_{1...4} \times Z \times 10^{-3}, (3.6.2)$$

где:  $M_{1...4}$  - вращающий момент на лопастном валу, Н·м;

$\omega_{1...4}$  - угловая скорость лопастного вала;  $\omega_{1...4} = 1,0...2,5$  рад/с;

$Z$  - количество лопастных валов;

$\eta_1$  - КПД привода лопастных валов;  $\eta_1 = 0.65...0.75$ ;

Таблица 3.6.1

Задание к методике

№ вар.	Техническая производительность $P_T$ , $M^3/ч$	Диаметр цилиндра $D_{ц}$ , мм	Ход поршня $S_p$ , мм	Количество цилиндров, шт.	Осадка конуса $L_k$ см	Максимальный диаметр заполнителя, мм	Длина горизонтального участка $L$ , м	Высота вертикального участка $H$ , м
1	12	150	270	1	8	40	100	10
2	15	160	270	1	10	40	80	12
3	18	170	280	1	8	50	120	8
4	20	180	300	2	4	50	20	15
5	21	190	310	2	6	40	50	15
6	25	200	310	1	8	40	150	2
7	27	200	310	2	8	60	130	3
8	30	210	320	1	10	60	30	15
9	32	210	320	1	10	40	40	15
10	35	220	320	2	6	50	50	20
11	38	220	340	2	8	70	60	12
12	40	220	350	2	12	70	10	18
13	42	225	370	1	12	40	10	20
14	40	225	400	2	6	50	10	25
15	36	230	400	2	6	60	5	20
16	28	230	300	2	8	70	5	25
17	20	230	350	2	10	70	5	22
18	25	240	350	2	4	70	100	8
19	36	245	300	2	4	75	100	5
20	31	245	300	2	6	80	50	10
21	33	250	250	2	5	80	70	7
22	24	240	250	2	5	70	70	5
23	27	150	250	2	6	60	75	10
24	38	155	200	2	7	50	75	12
25	45	160	220	2	8	50	5	20
26	27	200	300	2	10	60	5	25
27	38	270	400	2	4	60	25	30
28	39	280	400	2	5	70	5	15
29	40	280	310	2	6	80	20	15
30	42	280	320	2	6	80	40	10

$$M_{1...4} = \frac{kb_{1,2}(r_2^2 - r_1^2)n \times m}{2}, \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (3.6.3)$$

где:  $k$  - коэффициент сопротивления движению лопасти в смеси,  $\text{Н}/\text{м}^2$  (табл. 3.6.3);

$b_{1,2}$  - проекция высоты лопасти  $L$  на ось вращения, м;

$$b_{1,2} = (0,6...0,8) \times L_{1,2};$$

$$L_1 = 2 \times r_k = S_{\Pi}; L_2 \times \omega_{23} \times L_1;$$

$n$ - количество лопастей на валу ( $n = 3$ );

$r_2 - r_1 = 0,02 \dots 0,05$  м;

$m_{1,2}$  - коэффициент учитывающий погружение лопастей в смесь при перемешивании ( $m_1 = 1,0; m_2 = 0,7 \dots 0,8$ ).

$$N_2 = 10^{-3} M_2 \cdot \omega_{23} \times \sum_{i=1}^{i=2} F_i l_i \omega_i \text{ кВт}, \quad (3.6.4)$$

где:  $M_2$  - момент на коленчатом валу от усилий в тягах привода клапанов, Н·м;

$\omega_i$ - угловая скорость коленчатого вала, рад/с;

$F_i$  - усилие в соответствующей тяге (принимается по характеристике пружины, размещенной в теле), Н;

$l_i$ - плечи действия сил  $F_i$ , м.

Принять  $N_2 = (0,05 \dots 0,10) \cdot N_1$ , кВт;

$$N_3 = 10^{-3} \cdot \omega_k \cdot D_{\text{ц}}^2 \cdot p \cdot \omega_k \cdot r_k \cdot K_{\text{вс}}, \quad (3.6.5)$$

где:  $D_{\text{ц}}$  - диаметр цилиндра, м;

$r_k$ - радиус кривошипа, м;  $r_k = 0,5 S_{\Pi}$ , м;

$S_{\Pi}$ - ход поршня, м;

$Z$ - количество цилиндров;

$\omega_k$ - угловая скорость кривошипа, рад/с;

$K_{\text{вс}}$ - коэффициент, учитывающий затраты мощности на всасывание ( $K_{\text{вс}} = 1$  при  $z=1$ ;  $K_{\text{вс}} = 1,1 \dots 1,2$  при  $z=2$ ).

$$\Omega_k = \frac{P_T}{900 D_{\text{ц}}^2 Z S_{\Pi}}, \quad (3.6.6)$$

где:  $P_T$ - техническая производительность, м<sup>3</sup>/ч;

$p$ - давление на поршень, Н/м<sup>2</sup>;

$$p = p_1 + p_2 + p_3, \quad (3.6.7)$$

где:  $p_1$ - гидростатическое давление от столба бетонной смеси на вертикальном участке, Н/м<sup>2</sup>;

$$p_1 = F_6 \times H, \text{ Н/м}^2, \quad (3.6.8)$$

$F_6$ - удельная сила тяжести бетонной смеси и раствора, Н/м<sup>3</sup>; (табл.6.4)

$H$ – высота вертикального участка; м;

$p_2$ – давление от инерционных сил, сообщаемых поршнем бетонной смеси,  $H/m^2$ . Принято считать, что эти силы действуют на половине длины бетоновода;

$$p_2 = 0,5 \times F_6 l \omega_k^2 r_k g^{-1}, \quad l = L + H \text{– длина бетоновода, м}; \quad (3.6.9)$$

$g$ – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ ,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

$P_3$ – давление, обусловленное гидравлическими сопротивлениями,  $H/m^2$ ;

$$P_3 = \frac{2z \cdot \tau_0}{R} \left( \tau'' + \frac{2\mu U}{R} \right), \quad (3.6.10)$$

где:  $\tau''$ – напряжение сдвига,  $H/m^2$ ;

для бетонов  $\tau_0 = 20 \dots 40 \text{ Н/м}^2$ ;

$\mu$ – опытный коэффициент,  $H \cdot c/m^2$ ;

$\mu = 1,0 \dots 2,2 \text{ Н} \cdot c/m^2$ ;

$R$ – радиус трубы, м;

$$R = \frac{D_6}{2}, \quad (3.6.11)$$

$D_6$ – внутренний диаметр бетоновода, м;

Диаметр бетоновода  $D_6$  определяется предварительно из условия:

$$D_6 = D_T L_{пр} 3d, \quad (3.6.12)$$

$D_T$ – внутренний диаметр трубы, мм;

$d$ – размер наибольших кусков заполнителя, мм;

$L_{пр}$ – приведенная длина бетоновода, м.

1.2 Определить требуемую мощность двигателя  $N_{дв}$ , кВт:

$$N_{дв} = (1,2 \dots 1,3) N, \quad (3.6.13)$$

2.1. Определить эксплуатационную производительность бетононасоса,  $m^3/ч$ :

$$P_3 = 1200 D_m^2 S_{II} L_{пр} K_H K_B, \quad (3.6.14)$$

где:  $K_H$ – коэффициент объемного наполнения цилиндра.

$K_H = 0,70 \dots 0,80$  – для бетонных смесей

$K_H = 0,80 \dots 0,85$  – для строительных растворов

$K_B$ – коэффициент использования бетононасоса по времени,  $K_B = 0,50 \dots 0,75$ .

2.2. Определить энергоемкость процесса транспортирования бетонной смеси –  $\mathcal{E}_6$ ,  $кВт \cdot ч/m^3$ :

$$\mathcal{E}_6 = \frac{N_{дв}}{P_3}, \quad (3.6.15)$$

3. Определить внутренний диаметр бетоновода.

Внутренний диаметр трубы  $D_T$  назначается по ГОСТ 8732-70.

Толщина стенки трубы (S) насчитывается по формуле, м:

$$S = v D_T P' / 2 [\sigma_p] \quad (3.6.16)$$

где:  $P'$  - избыточное внутреннее давление в трубе,  $\text{Н/м}^2$ ;  $P' = 0,5P$ ,  $\text{Н/м}^2$ ;

$[\sigma_p]$  - допустимое избыточное давление в трубе,  $\text{Н/м}^2$  ( $[\sigma_p] = 120 \dots 180$ ,  $\text{МН/м}^2$ );

$v$  - скорость ядра течения бетонной смеси в бетоноводе, м/с;

$$v = r_k \sin(\delta), \text{м/с}, \quad (3.6.17)$$

$\delta$  - угол поворота коленчатого вала (отсчитывается от начала нагнетательного хода), град;  $\sin(\delta) = 1$ .

Окончательный бетоновод подобрать с учетом данных табл. 3.6.4.

Таблица 3.6.2

Характеристика стационарных компрессорных установок

Показатели	Модель										
	Поршневые									Винтовые	
	ВУ-3/8	ПК-3,5	2ПП-415	КСЭ-5М	2ГП-6/18	202ВП-12,3	202ВП-20/2	ВП-20/8М	305ВП-30/8	6ВКМ-13/8	6ВКМ-25/8
Производительность, $\text{м}^3/\text{мин}$	3	3,5	4	5	6	10	12	20	30	13	25
Давление, МПа	0,8	0,7	0,5	0,8	1,8	0,8	0,35	0,2	0,8	0,8	0,8
Мощность двигателя, кВт	20	20	23	34	60	75	75	75	200	125	200

Таблица 3.6.3

Значение коэффициента  $K$ ,  $\text{Н/м}^2$

Смеси	Осадка конуса, см				
	0...2	2...4	5...7	8...10	10...12
Бетонная	50000	45000	40000	35000	30000
Раствор	29000	25500	22000	16000	7000

Таблица 3.6.4

Удельная сила тяжести бетонной смеси и раствора

Показатели	Бетонная смесь с осадкой конуса, см				Цементный раствор с осадкой конуса, см			
	0...2	3...5	6...8	9...12	2...4	5...7	8...9	10...12
Удельная сила тяжести $F_6$ , Н/м <sup>3</sup>	17300	18800	20200	21000	17300	18500	20400	22000

Таблица 3.6.5

Характеристика трехметровых звеньев бетонопроводов

Внутренний диаметр бетоновода, мм.	Масса звена бетоновода с зажимом, кг.	Масса бетонной смеси в звене, кг.	Масса звена с бетонной смесью, кг.
280	250	390	640
207	170	260	430
150	65	115	180

Таблица 3.6.6

Техническая характеристика бетононасосов (поршневых)

Показатели	Марка	
	СБ-9	СБ-7
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	10	40
Дальность подачи, м, по:	вертикали	15
	горизонтали	250
Диаметр цилиндра, мм	150	280
Число цилиндров	1	2
Внутренний диаметр бетоновода, мм	150	283
Ход поршня, мм	250	400
Наибольшая крупность заполнителя, мм	40	70
Осадка конуса перекачиваемой смеси, см	6...12	6...12
Емкость приемного бункера, м <sup>3</sup>	0,45	2,8
Мощность двигателя, кВт	16,8	64,0
Габаритные размеры, мм:	длина	2460
	ширина	1350
	высота	1700
Масса (без бетоновода), кг	2850	12000

4.4. Полученные параметры сравнить с характеристикой промышленных бетононасосов (табл.6.6) и проставить под схемой бетононасоса рисунок 3.6.1

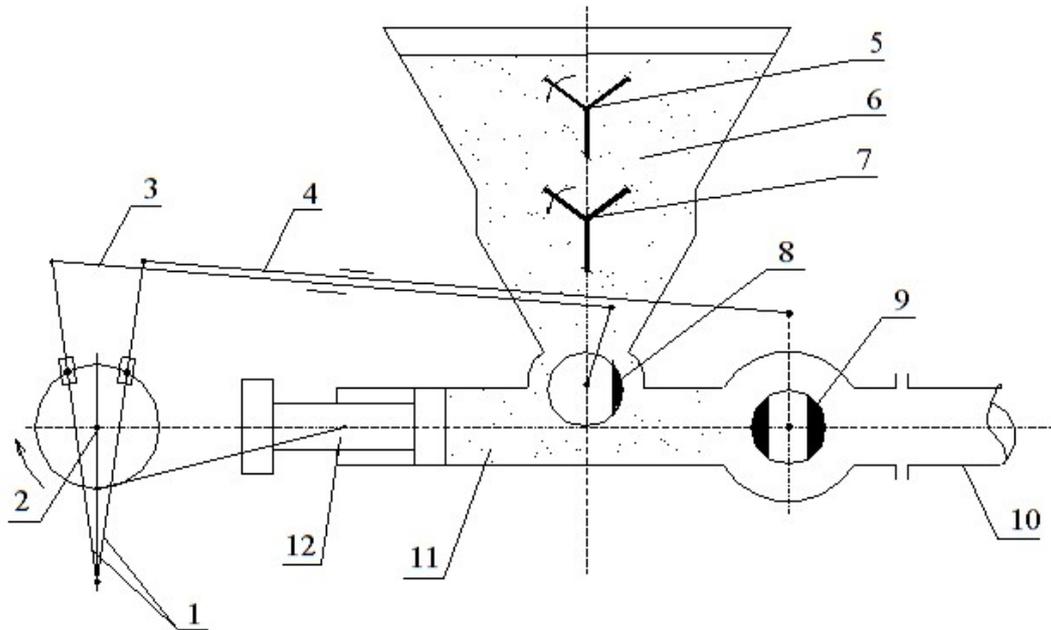


Рис. 3.6.1. Поршневой бетононасос с механическим приводом: 1-кулисный механизм привода клапанов; 2-коленчатый вал; 3 и 4-пружинные тяги; 5- лопастной вал; 6-приемный бункер; 7-вал побудителя; 8-всасывающий клапан; 9-нагнетательный клапан; 10-бетоновод; 11-рабочий цилиндр; 12-поршень

### 3.7. Расчёт основных параметров вибраторных машин для уплотнения бетонных смесей

*Задание:* Назначить режим работы, определить мощность, производительность и эффективность вибраторов. Данные для расчётов даны в табл. 3.7.1 и на рис. 3.7.1.

*Последовательность выполнения упражнения:*

1. Определить геометрические параметры вибратора (внешние).
  - 1.1. Определить длину рабочей части вибратора.
  - 1.2. Определить активную площадь вибратора.
2. Определить внутренние характеристики вибратора.
  - 2.1. Определить амплитуду колебания вибратора.
  - 2.2. Определить угол сдвига фаз.
  - 2.3. Определить потребную мощность вибратора.
  - 2.4. Определить максимальную мощность проектируемого вибратора.
3. Определить эксплуатационные характеристики вибратора и технологического процесса.

- 3.1. Выбрать двигатель по расчётному значению мощности.
- 3.2. Определить радиус действия вибратора.
- 3.3. Определить эксплуатационную производительность глубинного вибратора.
- 3.4. Энергоёмкость процесса уплотнения смеси глубинными вибраторами.
4. Анализ полученных результатов.
- 4.1. Полученные расчетные параметры вибратора свести в таблицу 3.7.4.
- 4.2. Изобразить схему вибратора в масштабе и схему технологического процесса.

Таблица 3.7.1

Задание к упражнению

№ вар.	Диаметр корпуса вибратора D, мм	Толщина перерабатываемого слоя H, см	Масса вибратора M+m, кг	Жесткость смеси, С	Тип вибратора (рис. 10)
1	40	30	2	100	№2
2	65	30	4	120	№3
3	50	40	6	130	№2
4	55	40	8	140	№3
5	60	50	10	150	№2
6	65	50	4	160	№3
7	70	60	6	170	№2
8	75	60	8	180	№3
9	80	70	10	190	№2
10	85	70	12	200	№3
11	90	60	8	210	№1
12	95	50	10	220	№1
13	100	50	12	80	№2
14	105	40	12	70	№3
15	100	40	16	60	№2
16	125	50	18	50	№3
17	120	50	18	90	№1
18	125	60	16	80	№1
19	130	60	14	70	№1
20	135	70	15	60	№2
21	140	70	16	50	№1
22	80	60	15	120	№1
23	100	60	18	90	№1
24	120	70	20	90	№1
25	140	70	25	80	№1
26	60	40	8	70	№2
27	70	45	10	60	№3
28	80	50	12	70	№3
29	90	55	16	60	№1
30	100	60	18	50	№1

1. Определить геометрические параметры вибратора: длину рабочей части и основную площадь. Диаметр корпуса вибратора задан.

1.1. Определить длину рабочей части вибратора, м:

$$L=H+\Delta h, \quad (3.7.1)$$

где:  $H$  – толщина прорабатываемого слоя бетонной смеси, м;

$\Delta h$  – глубина проникновения вибратора в предыдущий слой при проработке очередного слоя бетонной смеси, м;  $\Delta h = 0,05 \dots 0,15$  м.

1.2. Определить активную площадь вибратора,  $m^2$ :

$$F=D \cdot L, \quad (3.7.2)$$

где:  $D$  – диаметр корпуса, м.

Определить внутренние характеристики вибратора: статический момент дебалансов, их частоту вращения, возмущающую силу, амплитуду колебаний корпуса, частоту колебаний и угол сдвига фаз, потребляемую мощность.

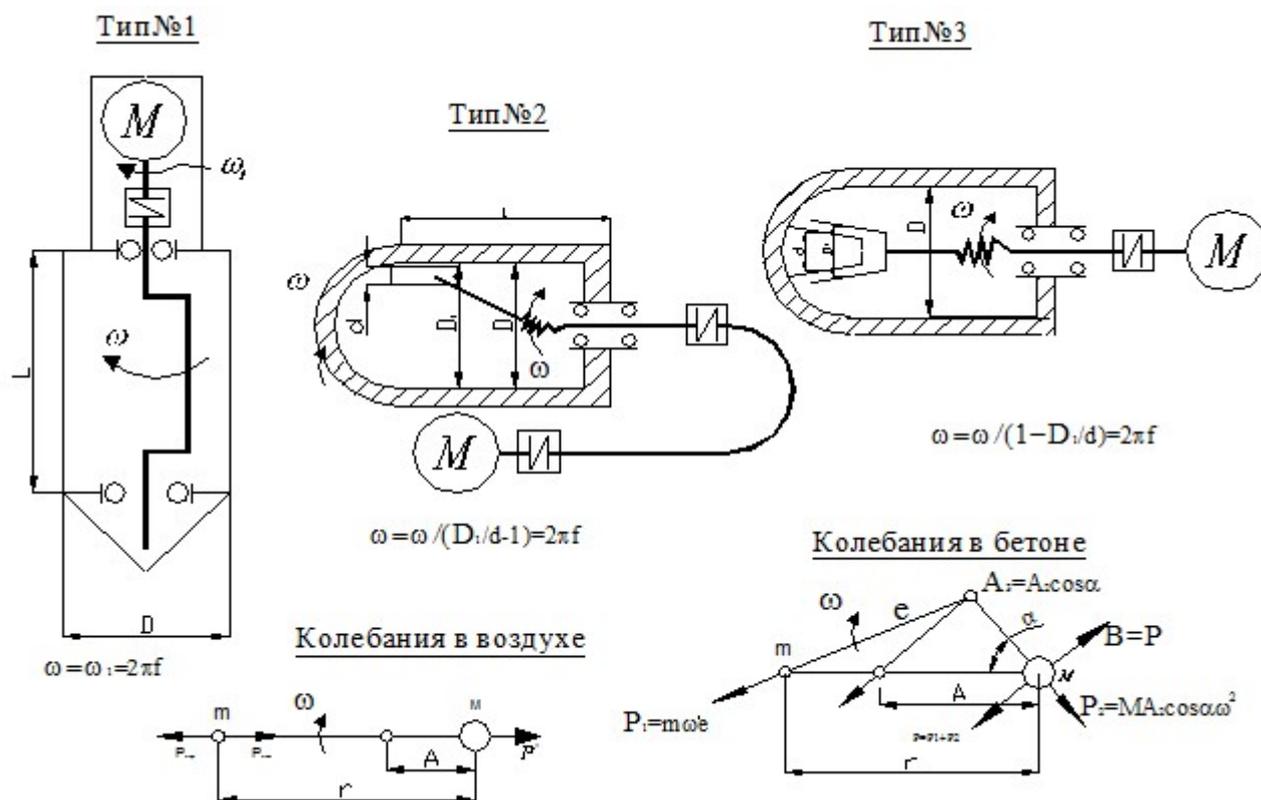


Рис. 3.7.1. Схемы глубинных вибраторов для уплотнения бетонных смесей: *Тип 1* – дебалансный со встроенным двигателем; *Тип 2* – планетарный наружной обкатки с гибким валом; *Тип 3* – планетарный внутренней обкатки со встроенным двигателем.

$\omega$ -угловая скорость;  $D$ -диаметр корпуса вибратора;  $A$ -принятое значение амплитуды колебания;  $A_1$ -амплитуда колебания в воздухе;  $A_2$ -амплитуда колебания в среде;  $A_3$ -амплитуда в среде с учетом угла сдвига фаз;  $m$ -дополнительная масса колеблющейся смеси;  $P$ -максимальное значение возмущающей силы  $f$ -условный коэффициент трения.

$$P_{\text{отр}}=mr^2; P_{\text{вср}}=mA_1\omega^2; m(r-A_1)\omega=MA_1\omega^2; P=P_{\text{отр}}+P_{\text{вср}}=m(r-A_1)\omega^2$$

$$A=mr/(M+m); A_3=A_2\cos\alpha=\cos\alpha [mr/M+m+m_1]$$

2.1. Определить амплитуду колебания вибратора:

$$\text{в воздухе: } A_1=(m \cdot r)/(M+m), \quad (3.7.3)$$

$$\text{в среде: } A_2=(m \cdot r)/(M+m+m_1), \quad (3.7.4)$$

в среде с учётом угла сдвига фаз:

$$A_3=A_2 \cdot \cos\alpha, \quad (3.7.5)$$

где:  $m_1$  – дополнительная присоединительная масса колеблющейся бетонной смеси;

$$m_1=0,3 \cdot (M+m), \quad (3.7.6)$$

$\alpha$  – угол сдвига фаз;  $\alpha = 0 \dots 45^\circ$  (обычно  $\alpha = 7 \dots 15^\circ$ );

$m \cdot r$  – статический момент массы дебаланса, кг·м;

$$m \cdot r = P/\omega^2, \quad (3.7.7)$$

$P$  – максимальное значение вынуждающей силы, Н;

$$P = v \cdot F \cdot \omega \cdot A, \quad (3.7.8)$$

где:  $v = (3 \dots 5) \cdot 10^{-2}$  с/см<sup>3</sup> – удельный коэффициент сопротивления бетонной смеси колебаниями глубинного вибратора (коэффициент вязкого сопротивления);

$F$  – активная площадь вибратора, см<sup>2</sup>;

$f$  – частота колебаний корпуса вибратора, Гц;  $f = 80 \cdot (1 + (10/D))$ ;

$A$  – амплитуда колебания, см;

$\omega$  – угловая скорость вращения дебаланса или бегунка, рад/с: для дебалансного вибратора (тип №1);

$$\omega = \omega_1 = 2\pi \cdot f, \quad (3.7.9)$$

для планерного вибратора с наружной обкаткой (тип №2):

$$\omega_1 = 2\pi \cdot f \cdot ((D_1/d) - 1); D_1/d = 1,1 \dots 1,3 \quad (3.7.10)$$

для планетарного с внутренней обкаткой (тип №3):

$$\omega_1 = 2\pi \cdot f (1 - (d/D_1)); \quad d/D_1 = 0,7 \dots 0,9 \quad (3.7.11)$$

Амплитуда колебаний вибратора в среде (в бетонной смеси) с учётом угла сдвига фаз  $A^3$ , во избежание возникновения опасности расслоения бетонной смеси и перехода на нерациональный виброударный режим работы, не должна превышать 1,2...1,3 мм, т.е.  $A_{\max} = 1,2 \dots 1,3$  мм.

С другой стороны, по условию обеспечения максимальной производительности и наименьшей энергоёмкости  $A_3$  должно быть больше минимального допустимого значения, в зависимости от диаметра корпуса вибратора, т.е.

$$A_3 \geq A_{\min}, \quad (3.7.12)$$

Частота колебаний корпуса вибратора также должна лежать в оптимальном интервале для диаметра корпуса (табл. 3.7.2).

Таблица 3.7.2

Рекомендуемая частота и амплитуда колебаний

Диаметр корпуса вибратора D, см	2,5...3,5	3,5...5,0	6,0...7,5	7,5...12,5	Свыше 12,5
Частота f, Гц	300...200	200...150	150...100	100...50	50...25
Амплитуда $A_{\min}$ , см	0,3...0,5	0,3...0,5	0,3...0,5	0,5...0,7	0,5...0,7

Выражение (3.7.5) можно записать в виде:

для дебалансного вибратора (тип №1)

$$A_3 = \frac{v \cdot F \cdot A \cdot \cos \alpha}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot (M + m + m_1)}, \text{ мм}; \quad (3.7.13)$$

для планетарного вибратора с наружной обкаткой (тип №2)

$$A_3 = \frac{b \cdot F \cdot A \cdot \cos \alpha}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \left(\frac{D_1}{d} - 1\right) \cdot (M + m + m_1)}, \text{ мм}; \quad (3.7.14)$$

для планетарного с внутренней обкаткой (тип №3)

$$A_3 = \frac{b \cdot F \cdot A \cdot \cos \alpha}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \left(1 - \frac{D_1}{d}\right) \cdot (M + m + m_1)}, \text{ мм}; \quad (3.7.15)$$

Назначив максимальное значение для  $A_3 = 1, 2 \dots 1, 3$  мм и, задав по таблице 3.7.2 значение  $A$ , можно определить требуемую частоту колебаний корпуса вибратора:

$$f = \frac{b \cdot F \cdot A \cdot \cos \alpha}{A(M + m + m_1)_{3max}}, \text{ Гц (тип №1)} \quad (3.7.16)$$

$$f = \frac{b \cdot F \cdot A \cdot \cos \alpha}{A\left(\frac{D_1}{d} - 1\right)(M + m + m_1)_{3ma}}, \text{ Гц (тип №2)} \quad (3.7.17)$$

$$f = \frac{b \cdot F \cdot A \cdot \cos \alpha}{A\left(1 - \frac{D_1}{d}\right)(M + m + m_1)_{3ma}}, \text{ Гц (тип №3)}$$

Полученное значение  $f$  следует согласовать с табличными. Если значение больше или меньше допустимого, то следует, варьируя значения  $A$  в допустимых пределах, сделать пересчет.

После этого, окончательно назначить значения  $A$  и  $f$ , произвести расчет угловой скорости вращения дебаланса или бегунка  $\omega(\omega_1)$ , максимального значения вынуждающей силы  $P$ , статического момента дебалансов  $m \cdot r$

2.2 Определить угол сдвига фаз, град:

$$\alpha = \text{arctg} \cdot (b \cdot F) / (10^{-2} \cdot \omega \cdot (M + m + m_1)), (3.7.18)$$

2.3 Определить потребную мощность вибратора, Вт:

$$N = 1/\eta \cdot (N_1 + N_2 + N_3), (3.7.19)$$

где:  $N_1$  – полезная мощность, расходуемая вибратором на уплотнение бетонной смеси;

$N_2$  – дополнительная мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения корпуса вибратора о бетонную смесь;

$N_3$  – суммарные потери мощности внутри вибратора и элементах привода;

$\eta$  - механический К.П.Д. двигателя,  $\eta = 0,8$

$$N_1 = 10^{-4}/2 \cdot (m \cdot r)^2 / (M + m + m_1) \cdot \omega^3 \cdot \sin 2\alpha, \quad (3.7.20)$$

где:  $m \cdot r$  - кг·см;  $\omega$  – рад/с;  $M + m + m_1$  – кг.

$$N_2 = N_1 \cdot f, \quad (3.7.21)$$

где:  $f$  – условный коэффициент трения цементно-бетонной смеси по стали (принимается при вибрации  $f = 0,015 \dots 0,018$ )

$$N_3 = (M_1 + M_2 + M_3) \cdot \omega_1, \quad (3.7.22)$$

где:  $M_1$  – момент трения в подшипниках дебалансного вала, Н·м ;

$M_2$  – момент трения качения (момент сопротивления планетарному обкатыванию), Н·м;

$M_3$  – суммарный момент трения гибкого вала о броню, Н·м;

$\omega_1$  – угловая скорость вращения дебаланса или бегунка, рад/с

$$M_1 = f_2 \cdot (d_1/2) \cdot m \cdot r \cdot \omega^2, \quad \text{Н·м}; \quad (3.7.23)$$

где:  $f_2$  – условный коэффициент трения в подшипниках качения,  $f_2 = 0,003$ .

$d_1$  – номинальный диаметр шейки дебалансного вала на месте сопряжения с внутренними кольцами подшипника, м  $d_1 = 0,03 \dots 0,05$  м;

$P = m \cdot r \cdot \omega^2$  – максимальное значение вынуждающей силы, Н

$$M_2 = K \cdot P, \quad (3.7.24)$$

где:  $K$  – условный коэффициент трения качения при планетарном обкатывании, м.

$$K = (3 \dots 5) \cdot 10^{-5} \text{ м};$$

$$M_3 = (1 - \eta_2) \cdot (M_1 + M_2), \quad \text{Н·м}, \quad (3.7.25)$$

где:  $\eta_2$  – механический К.П.Д. гибкого вала, для модели В-127, В-128 и В-123 длина 3,3...3,9 м с диаметром сердечника 10, 12, 15 мм.

$$\eta_2 = 0,85 \dots 0,90$$

2.4 Определить максимальную мощность проектируемого вибратора,  $W$ : максимальная мощность, которая может быть разбита вибратором в среде с сопротивлениями при угле сдвига фаз  $\alpha_{\max} = 45^\circ$

$$N_{\max} = (N_1 \cdot \sin^2 \alpha_{\max}) / \sin 2\alpha, \quad (3.7.26)$$

3. Определить эксплуатационные характеристики вибратора – выбрать мощность двигателя, определить радиус действия и эксплуатационную производительность вибратора; а также энергоёмкость процесса.

3.1 Выбрать двигатель по расчётному значению мощности.

Мощность выбранного двигателя должна быть больше значений, определяемых по пунктам 6 и 7, т.е.  $N_{\text{двиг.}} = 1,2 N$ ;  $N_{\text{двиг.}} = 1,2 N_{\text{max}}$  – большее значение является основанием для подбора двигателя.

3.2 Определить радиус действия вибратора. Максимальный радиус определяется минимальной амплитудой колебания, при которой ещё происходит разжижение бетонной смеси. Связь между амплитудами колебаний в различных точках, удалённых от оси вибратора, выражается формулами:

при  $L/D = 3 \dots 6$  (сферические волны)

$$a_2/a_1 = (r_1/r_2) \cdot e^{-(\gamma_c/2) \cdot (r_2 - r_1)} \quad (3.7.27)$$

при  $L/D = 6 \dots 10$  (кольцевые волны)

$$a_2/a_1 = \sqrt{(r_1/r_2)} \cdot e^{-(\gamma_k/2) \cdot (r_2 - r_1)} \quad (3.7.28)$$

где:  $a_2$  – минимальная амплитуда, при которой ещё происходит смещение частиц относительно друг друга, т.е. уплотнение бетонной смеси (принимается по табл. 7.2);

$a_1$  – амплитуда колебаний бетонной смеси у поверхности вибратора (колебания пограничного слоя);  $a_1 = (0,56 \dots 0,62) \cdot A_3$ ;

$r_1$  – наружный радиус корпуса вибратора;  $r_1 = D/2$ ;

$r_2$  – расчётный радиус действия глубинного вибратора;

$\gamma_c, \gamma_k$  – коэффициенты затухания колебаний в бетонной смеси соответственно для сферических и кольцевых волн,  $\text{см}^{-1}$  (табл. 3.7.3).

Таблица 3.7.3

Значение  $a_2, \gamma_c$  и  $\gamma_k$  (бетонная смесь с осадкой конуса 4...6 см)

Частота колебаний $f$ , Гц	Минимальная амплитуда колебаний $A_2$ , см	Коэффициент затухания, $\text{см}^{-1}$	
		Для сферических волн $\gamma_c$	Для кольцевых волн $\gamma_k$
50	0,006...0,01	0,08	0,02
100	0,004	0,06	0,04
150	0,003	0,055	0,055
200	0,002	0,05	0,07
300	0,0015	0,045	0,09
400	0,001	0,04	0,1

Данные уравнения (3.7.27) и (3.7.28) являются алгебраическими трансцендентными уравнениями, которые решаются методом подбора или графически.

На рисунке 3.7.2 представлены графические зависимости расчетных параметров для кольцевых и сферических волн, построенные с использованием ЭВМ методом итераций с допустимой ошибкой менее 0,5%. Для пользования графиками по оси абсцисс отложить полученную при расчете величину  $a_2/a_1$  и найти соответствующее ей отношение  $r_2/r_1$  при заданном значении  $\gamma_{cr1}$  ( $\gamma_{kr1}$ ).

3.3 Определить эксплуатационную производительность глубинного вибратора,  $\text{м}^3/\text{ч}$ :

$$\Pi_3 = \pi \cdot r_2^2 \cdot H \cdot (3600 / (t_1 + t_2)) \cdot K_{\Pi} \cdot K_B \quad (3.7.29)$$

где:  $r_2$  – расчётный радиус действия глубинного вибратора, м;

$H$  – заданная толщина перерабатываемого слоя, м;

$t_1$  – оптимальная продолжительность вибрирования смеси в каждом месте погружения вибратора, с;

$$t_1 = 2J \cdot \sqrt{I_{ct} / I_{\phi}^2} \quad (3.7.30)$$

где:  $J$  – жёсткость бетонной смеси, с;

$I_{ct}$  – стандартная интенсивность бетонирования,  $\text{м}^2/\text{с}^3$ ;

$I_{\phi}$  – фактическая интенсивность бетонирования,  $\text{м}^2/\text{с}^3$ ;

$$I_{\phi,ct} = A_{\phi,ct}^2 \cdot \omega^3 = A_{\phi,ct}^2 \cdot (2\pi \cdot f_{\phi,ct})^3, \text{ м}^2/\text{с}^3;$$

где:  $A_{\phi,ct}$  – принятая (или стандартная –  $A_{ct}$ ) амплитуда колебаний, м;  $A_{ct} = 0,5$  мм;

$f_{\phi,ct}$  – принятая (стандартная  $f_{ct}$ ) частота колебаний, Гц;  $f_{ct} = 46,5$  Гц;

$t_2$  – время перемещения вибратора с одной позиции на другую, с, ( $t_2 = 45 \dots 60$  с);

$K_B$  – коэффициент использования вибратора по времени ( $K_B = 0,8 \dots 0,85$ );

$K_{\Pi}$  – коэффициент перекрытия (зависит от схемы уплотнения бетонной смеси)  $K_{\Pi} = 0,7$ .

3.4. Энергоёмкость процесса уплотнения смеси глубинными вибраторами:

$$\mathcal{E} = N_{\text{двиг}} / \Pi_3, \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3 \quad (3.7.31)$$

#### 4. Анализ полученных результатов.

4.1 Полученные расчетные параметры вибратора свести в табл. 3.7.4 и сравнить их с аналогичным серийным вибратором (табл.3.7.5).

4.2 Изобразить схему вибратора в масштабе и схему технологического процесса.

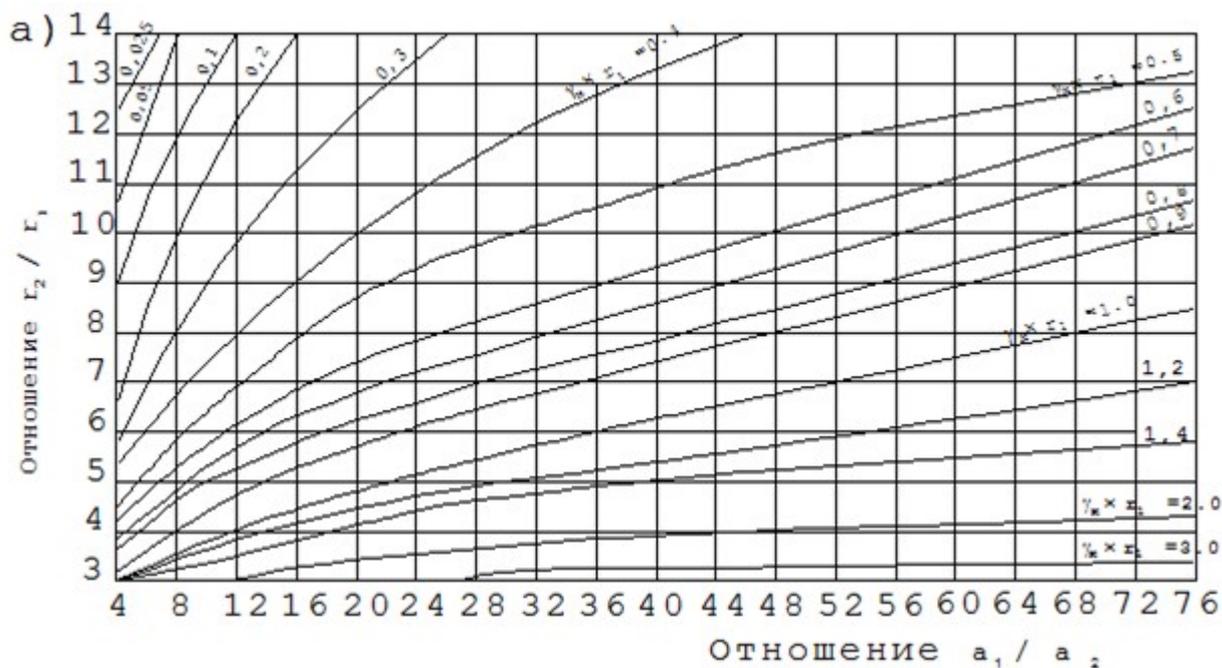


Рис. 3.7.1. Графические зависимости к расчету радиуса действия глубинного вибратора по затуханию в зависимости от кольцевых волн (а)

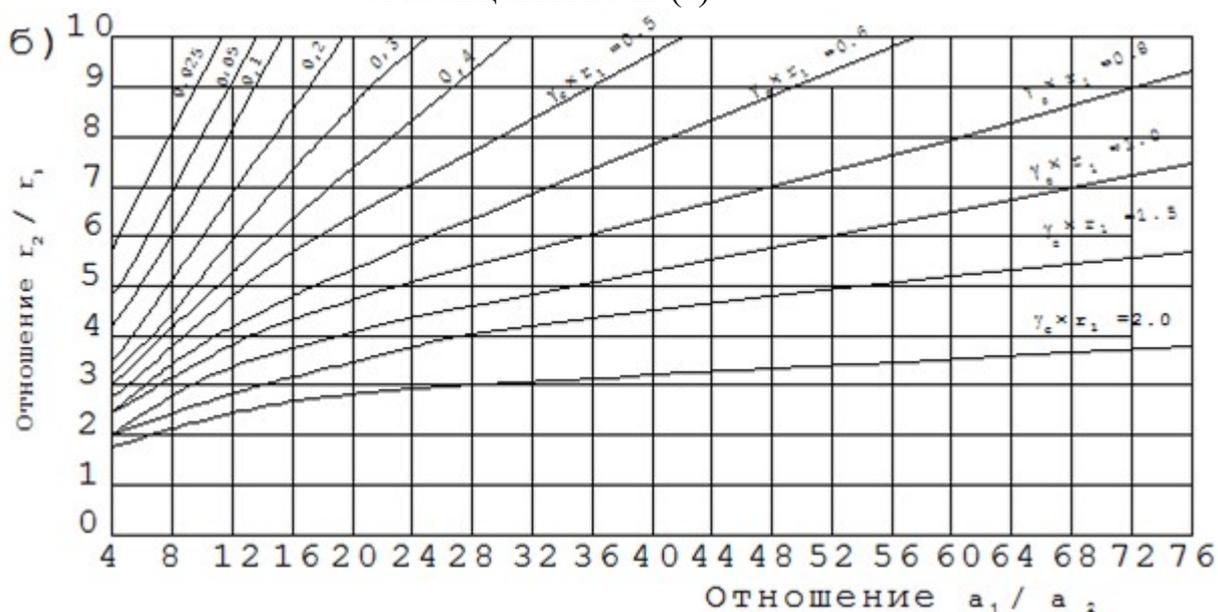


Рис. 3.7.2. Графические зависимости к расчету радиуса действия глубинного вибратора по затуханию в зависимости от сферических волн (б)

Таблица 3.7.4

Техническая характеристика вибратора

Вибратор	Тип, марка	Наружный диаметр, мм	Длина рабочей части, мм	Частота колебаний, $c^{-1}$	Вынуждающая сила, Н	Статический момент дебалансов, кгсм	Масса, кг	Радиус действия, см
Проектируемый								
Серийный								

Таблица 3.7.5

## Техническая характеристика глубинных вибраторов (серийных)

Параметры	Ручные								Подвесные						
	ИВ-27	ИВ-47	ИВ-47А	ИВ-59	ИВ-66	ИВ-67	ИВ-102	ИВ-103	ВП-1	ВП-3	ИВ-34	ИВ-34А	ИВ-90	В1-612	В1-631
Нарудный диаметр, мм	51	76	76	114	38	51	75	110	50	100	133	133	133	146	194
Длина рабочей части, мм	450	510	440	520	360	410	485	485	300	450	750	1000	1100	1250	1600
Частота колебаний, с <sup>-1</sup>	15000	10000	10000	5700	2000	1500	1100	100	1200	800	8000	8000	8000	4500	3000
Вынуждающая сила, кН	-	4,0	4,0	5,0	1,5	3,0	5,5	6,5	0,5**	0,5**	2,0	2,0	21,0	32,5	4,0
Статический момент дебаланса, кг·см	0,000	0,35	0,35	0,013	0,034	0,113	0,45	0,53	0,10	1,25	-	-	3,3	-	-
Мощность двигателя, кВт	-	1,2	1,2	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	1,0***	3,2	3,2	2,8	4,0	4,0
Масса, кг вибронаконечника	-	8,7	8,7	-	2,4	4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Общая	-	39,0	35,5	22,0	26,0	29,0	16,0	24,0	5,6	19,5	130	132	130	125	250
Радиус действия*, см	25...30	25...30	не менее 35	30...35	не менее 25	не менее 28	-	-	-	-	50...70	45...65	-	70...90	80...100
Ресурс работы вибратора, ч	-	500	500	1000	500	500	1000	1000	1500	1500	400	300	-	500	500

\* При осадке конуса 1...5 см;

\*\* Рабочее давление воздуха, МПа;

\*\*\* Расход воздуха, м<sup>3</sup>/мин

Вибратор с гибким валом, планетарный (графы 2...7).

Вибратор со встроенным электродвигателем, дебалансный (графы 8...9).

### 3.8. Расчет основных параметров свайных молотов и вибропогружателей

*Задание:* Определить основные параметры трубчатого дизель-молота и вибропогружателя свай. Данные для расчета даны в таблице 8.1.

*Последовательность выполнения упражнения:*

1. Определить энергию удара трубчатого дизель-молота.
2. Определить температуру воздуха в начале сжатия.
3. Определить коэффициент заполнения.
4. Определить давление газа при сжатии.
5. Определяем температуру газа при сжатии.
6. Вычислить максимальное и среднее индикаторное давление при сгорании.
7. Определить среднее эффективное давление.
8. Определить рабочий объем цилиндра.
9. Определить диаметр цилиндра  $D$  и ход поршня  $S$ .
10. Определить объем продувочного воздуха.
11. Выбрать применительно к параметрам заданной сваи по таблице 8.2 необходимую частоту и амплитуду колебаний вибропогружателя свай, а по табл. 8.3 назначить критическое сопротивление срыву.
12. Определить полное критическое сопротивление движению сваи или шпунта.
13. Определить необходимую величину вынуждающей силы вибропогружателя.
14. Назначить начальное давление  $p_0$ , создаваемое тяжестью сваи и вибропогружателя на лобовую поверхность сваи.
15. Определить необходимое давление сваи и вибропогружателя на грунт.
16. Определить суммарную силу тяжести сваи и вибропогружателя.
17. Определить статический момент дебаланса вибропогружателя.
18. Определить угловую скорость вращения дебалансных валов вибропогружателя.
19. Определить максимальную мощность привода вибровозбудителя.

Таблица 8.1

## Задание к упражнению

№ вар.	Трубчатый дизель-молот		Вибропогружатель		
	Масса ударной части Q, кг	Наибольшая высота подъема ударной части H, м	Материал свай	Длина L, м	Размеры сечения свай, м
1	240	2,5	Д <sup>1)</sup>	4	∅ 0,2 <sup>2)</sup>
2	300	2,5	С	6	∅ 0,165; 0,01 <sup>3)</sup>
3	400	2,4	Ж	8	0,4x0,4
4	500	2,4	Д	5	∅ 0,18
5	550	2,6	С	9	∅ 0,25; 0,015
6	600	3,0	Ж	15	0,25x0,25
7	1200	3,0	Д	3	∅0,28
8	1250	3,0	С	12	∅0,3; 0,02
9	1500	3,0	Ж	14	0,45x0,45
10	1800	3,0	Д	6	∅0,18
11	1950	2,9	С	10	∅0,2; 0,01
12	2300	2,9	Ж	12	0,45x0,45
13	2500	2,8	Ж	16	0,3x0,3
14	2960	2,8	Д	8	∅0,34
15	3100	2,8	Ж	9	0,35x0,35
16	3500	2,8	Д	7,5	∅0,34
17	3700	2,8	С	5	∅0,03; 0,01
18	4000	2,8	Ж	14	0,2x0,2
19	4200	2,7	Ж	16	0,35x0,35
20	4500	2,7	Д	10	∅0,28
21	4800	2,7	С	8	∅0,28; 0,01
22	5000	2,6	Ж	18	0,2x0,2
23	5200	2,6	Ж	6	0,4x0,4
24	5500	2,6	Д	12	∅0,3
25	5800	2,6	С	14	∅0,15; 0,01
26	6000	2,5	Ж	9	0,4x0,4
27	6200	2,5	Ж	22	0,25x0,25
28	6600	2,4	С	4	∅0,26; 0,01
29	6800	2,4	Ж	21	0,2x0,2
30	7000	2,4	Ж	14	0,4x0,4

1) Д-деревянная; С-стальная; Ж-железобетонная

2) ∅ 0,2-свая круглая сплошного сечения диаметром 0,2 м

3) ∅ 0,165; 0,01-труба диаметром 165 мм; толщина стенки 1 см

1. Определить энергию удара трубчатого дизель-молота, Дж:

$$E = 10 \cdot Q \cdot H \cdot \eta, \quad (8.1)$$

где: Q – масса ударной части молота, кг (табл. 8.1);

$H$  – высота подъема ударной части молота, м (табл. 8.1);

$\eta$  – механический КПД молота;  $\eta=0,58\dots0,6$ ;

2. Определить температуру воздуха в начале сжатия, °К:

$$T_a = \frac{T_0 + \nu \cdot T_{\Gamma}}{1 + \nu}, \quad (8.2)$$

где:  $T_0$  – температура воздуха при соприкосновении со стенками цилиндра, °К;

$$T_0 = T_0 + \Delta T;$$

где:  $T_0$  – температура окружающего воздуха;  $T_0 = 290^\circ\text{K}$ ;

$\Delta T$  – изменение температуры заряда свежего воздуха вследствие теплообмена со стенками; принимаем  $\Delta T = 2^\circ\text{K}$  т.е.  $T_0 = 290 + 2 = 292^\circ\text{K}$ ;

$\nu$  – коэффициент остаточных газов,  $\nu = 0,2$ ;

$T_{\Gamma} = 400^\circ\text{K}$  – температура остаточных газов;

3. Определить коэффициент наполнения:

$$\eta_V = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_a}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T_a} \cdot \frac{1}{1 + \nu} \quad (8.3)$$

где:  $\varepsilon$  – степень сжатия;  $\varepsilon = 15$  (для трубчатых дизель-молотов);

$p_a = 1 \cdot 10^5$  Па – давление в начале сжатия;

$p_0 = 0,99 \cdot 10^5$  Па – давление окружающего воздуха.

4. Определить давление газа при сжатии:

$$p_c = p_a \cdot \varepsilon^{n_1}, \quad (8.4)$$

где:  $n_1$  – показатель политропы сжатия,  $n_1 = 1,36$ ;

Определяем температуру газа при сжатии, °К:

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon^{n_1 - 1}, \quad (8.5)$$

5. Вычислить максимальное и среднее индикаторное давление при сгорании,

Па:

$$p_{\max} = \lambda \cdot p_c, \quad (8.6)$$

$$P_{cp} = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[ \lambda(\rho - 1) + \lambda \cdot \rho \frac{1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}}}{n_2 - 1} - \frac{1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}}}{n_1 - 1} \right], \quad (8.7)$$

где:  $\lambda$  – степень повышения давления,  $\lambda = 1,8$ ;  $\rho$  – степень предварительного расширения  $\rho = 1,3$ ;  $\delta$  – степень последующего расширения,  $\delta = \varepsilon/\rho$ ;  $n_2$  – показатель политропы расширения  $n_2 = 1,25$ ;

6. Определить среднее эффективное давление, Па:

$$p_{\text{ср.эф}} = \eta \cdot p_{\text{ср}}, \quad (8.8)$$

7. Определить рабочий объем цилиндра (объем захвата воздуха в начале сжатия),  $\text{м}^3$ :

$$V_p = E / p_{\text{ср.эф}}, \quad (8.9)$$

8. Определить диаметр цилиндра  $D$  и ход поршня  $S$  в пределах рабочего объема с учетом, что  $S/D = 1$ , м:

$$D = \sqrt[3]{\frac{V_p}{0,785}}, \quad (8.10)$$

9. Определить объем продувочного воздуха,  $\text{м}^3$ :

$$V_{\text{пр}} = 2,9V_p, \quad (8.11)$$

10. Применительно к параметрам заданной сваи выбрать по табл. 8.2

необходимую частоту и амплитуду колебаний вибропогружателя свай, а по табл. 8.3 назначить критическое сопротивление срыву. Принять для вариантов задания: №1...15- глинистые грунты; №16...30- песчаные грунты.

11. Определить полное критическое сопротивление движению сваи или шпунта,

$$H: T_{\text{кр}} = \tau_{\text{кр}} \cdot S \cdot L, \quad (8.12)$$

где:  $S$  – периметр поперечного сечения сваи, м;  $L$  – длина сваи, м;  $\tau_{\text{кр}}$  – критическое сопротивление срыву грунта (табл. 8.3).

12. Определить необходимую величину вынуждающей силы вибропогружателя,  $H$ :

$$P = m r \omega^2 \cong 1,1 \cdot k \cdot T_{\text{кр}}, \quad (8.13)$$

где:  $k$ - коэффициент, учитывающий параметры погружаемого элемента;

$k = 0,6$  – для тяжелых свай;  $k = 1,0$  – для легких свай.

13. Назначить начальное давление  $p_0$ , создаваемое тяжестью сваи и вибропогружателя на лобовую поверхность сваи,  $\text{Н}/\text{м}^2$ :

-стальные трубы мелкого диаметра и другие элементы площадью поперечного сечения до  $150 \text{ см}^2$  -  $p_0 = 1500 \dots 3000 \text{ Па}$ ;

-деревянные и стальные трубчатые сваи (с закрытыми концами) с площадью поперечного сечения до  $800 \text{ см}^2$  -  $p_0 = 4000 \dots 5000 \text{ Па}$ ;

-ж/б сваи квадратного и поперечного сечения до  $2000 \text{ см}^2$ ;

- $p_0 = 6000 \dots 8000 \text{ Па}$ .

14. Определить необходимое давление сваи и вибропогружателя на грунт,  $\text{Па}$ :

$$p = (1,2 \dots 1,5)p_0, \quad (8.14)$$

15. Определить суммарную силу тяжести сваи и вибропогружателя (при необходимости с перегрузкой), Н;

$$G_c + G_{\text{п}} \geq p \cdot F, \quad (8.15)$$

где:  $F$  - площадь поперечного сечения погружаемой сваи,  $\text{м}^2$ ;

$G_c$  – сила тяжести сваи;  $G_{\text{п}}$  – сила тяжести вибропогружателя.

Необходимо проверить соблюдения условия:

$$v_1 = \frac{G_c + G_{\text{п}}}{P} < v_2, \quad \text{где } v_1 = 0,15; v_2 = 0,50 \text{ – стальной шпунт; } v_1 = 0,30; v_2 = 0,60 \text{ –}$$

легкие сваи, сваи-оболочки;  $v_1 = 0,40; v_2 = 100$  – тяжелые сваи, сваи-оболочки.

Таблица 8.2

Необходимая амплитуда колебаний вибропогружателей свай, мм

Погружаемые элементы	Частота колебаний, мин.		
	400...700	800...700	1200...1500
Стальной шпунт, профили и другие элементы с небольшой площадью поперечного сечения для грунта: глинистого	- -	10...12 8...10	6...8 4...6
Металлические трубы (с закрытым концом), деревянные и железобетонные сваи квадратного и поперечного сечения и сваи-оболочки для: грунта глинистого песчаного	15...20 8...15	6...15 4...12	- -

Таблица 8.3

Величина критического сопротивления срыву грунта  $\tau_{\text{кр}}$ ,  $\text{Н/м}^2$

Грунт	Сваи			Шпунт	
	деревянные и металлические трубы	Железобетонные	Ж/б сваи-оболочки	легкий	тяжелый
Водо-насыщенный песчаный и слабopластичный глинистый	60	70	50	120	140
То же, но с плотной глинистой или гравелистой прослойкой	80	100	70	170	200
Глинистые тугопластичные	150	180	100	200	250
То же полутвердые и твердые	200	300	200	400	500

16. Определить статический момент массы дебаланса вибропогружателя,  $\text{кг}\cdot\text{м}$ :

$$m \cdot r = \frac{A \cdot (G_c + G_{II})}{g \cdot \xi}, \quad (8.16)$$

где:  $A$  - амплитуда колебаний (табл.8.2), м;  $g$  – ускорение силы тяжести,  $\text{м/с}^2$ ,  
 $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ;

$\xi$  - расчетный коэффициент,  $\xi = 0,8$  – для ж/б свай;  $\xi = 1,0$  – для прочих погружаемых элементов;  $m$  – масса дебаланса, кг;  $r$  – эксцентриситет дебаланса, м

17. Определить угловую скорость вращения дебалансных валов вибропогрузателя,  $1/\text{с}$ :

$$\omega = \sqrt{\frac{P}{mr}}, \quad (8.17)$$

18. Определить максимальную мощность привода вибровозбудителя, кВт:

$$N_{\max} = 10^{-4} \frac{(mr)^2 \cdot \omega^3}{2 \cdot M \cdot \eta}, \quad (8.18)$$

где:  $m \cdot r$  – в кг·см;  $M = (1,2 \dots 1,5)(G_c + G_{II}) \cdot 1/g$  – общая масса свай, вибропогрузателя и соединенных с ними колеблющихся частей грунта, кг;  $g$  –  $\text{м/с}^2$ ;  $\eta$  - КПД дебалансных валов ( $\eta = 0,75 \dots 0,85$ ).

По значениям  $N_{\max}$  и  $\omega$  выбираем асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Доценко А.И. Строительные машины и оборудование: Учебник для строительных вузов/А.И. Доценко, В.Г. Дронов. –М.: ИНФА. -2014. –533 с.
2. Балабанов В.И. Технологии, техника и оборудование для координатного (точного) земледелия/В.И. Балабанов и др.-М.: Росинформагротех.-2016. -240 с.
3. Халанский В.М.Механизация растениеводства/В.М. Халанский и др. - М.: РГАУ-МСХА, -2014. -524с.
4. Балабанов В.И.Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие/В.И. Балабанов и др. -М.: РГАУ-МСХА, -2013. -146с.
5. Поддубный В.И. Машины и оборудование для свайных работ. Учебное пособие / В.И. Поддубный, Н.К. Теловов. -М.: РГАУ-МСХА. -2016.-75с.
6. Балабанов В.И. Малогабаритные и альтернативные энергетические средства / В.И. Балабанов, Ю.В. Башкирцев.-С.Пб.: РИАМиА. -2014.-32 с.
7. Поддубный, В.И. Расчет основных параметров скреперов/В.И. Поддубный, Н.К. Теловов. Учебное пособие.-М.: МГУП, -2009, -56с.
8. Поддубный В.И. Машины и средства гидромеханизации в водохозяйственном строительстве/В.И. Поддубный, Н.Б. Мартынова, Н.А. Палкин.-М.: МЭСХ.-2019.-84 с.
9. Поддубный В.И. Теория, расчет и потребительские свойства технологических машин. Методические указания/В.И. Поддубный, Н.Б. Мартынова, Н.А. Палкин.-М.: РГАУ-МСХА. -2017.-29с.
10. Балабанов В.И.Наноматериалы и нанотехнологии в сельском хозяйстве/В.И. Балабанов, С.А. Ищенко. -М.: РГАУ-МСХА, -2011. -290с.
11. Поддубный В.И. Статический расчет технологических машин природообустройства / В.И. Поддубный, Х.А. Абдулмажидов.-М.: ВНИИГиМ, -2019. -30с.
12. Абдулмажидов Х.А.Трехмерное моделирование элементов машин природообустройства в системе «AutoCAD»/ Х.А. Абдулмажидов, -М.: МГУП.-2012, -123 с.
13. Русанова Т.Г. Организация технологических процессов при строительстве, эксплуатации и реконструкции строительных объектов/ Т.Г. Русанова, Х.А. Абдулмажидов.-М.: Академия, 2015.- 352 с.
14. Кизяев Б.М. Рекомендации по методическим основам формирования федеральных регистров технологий и машин для производства мелиоративных работ в современных условиях / Б.М. Кизяев и др., М.: ВНИИГиМ, 2019.- 64 с.
15. Ли А. Техническая эксплуатация машин. Учебное пособие / А. Ли. Ташкент. -2020. -120 с.

**Варианты заданий для выполнения расчетов и подбора земснаряда**

№ варианта	Тип грунта	Ширина забоя В, м	Глубина разработки h, м	Длина забоя l, км	Производительность насоса по пульпе $Q_{пв}$ , м <sup>3</sup> /ч	Диаметр пульпо-провода $d_{пв}$ , мм	Геодезическая разность отметок насоса и гидроотвала $H_{д}$ , м	Длина транспортирования пульпы, L, м	Коэффициент консистенции пульпы	Потери мощности на всасывание $N_{вс}$ , кВт
1	Пески с малым содержанием гравия	500	1,5	1,0	720	250	5,0	500	1:3	5,0
2	Суглинки	600	1,7	1,2	1260	350	7,0	700	1:5	7,0
3	Глины	700	1,9	1,5	1900	400	9,0	800	1:8	8,0
4	Супеси	800	2,0	1,7	1620	600	10,0	850	1:10	9,0
5	Пески с большим содержанием гравия	900	2,5	1,9	2300	400	12,0	600	1:8	12,0
6	Пески	1000	2,7	2,1	2300	600	15,0	900	1:10	15,0
7	Глины	1200	3,0	2,5	2300	400	6,0	750	1:5	13,0
8	Суглинки	1500	4,0	3,0	2300	600	8,0	950	1:8	14,0
9	Пески с малым содержанием гравия	1700	5,0	4,0	2300	350	10,0	600	1:10	12,0
10	Супеси	2500	14,5	5,0	2300	600	12,0	900	1:8	13,0
11	Пески с большим содержанием гравия	1900	7,0	3,5	1620	400	10,0	700	1:5	11,0
12	Пески	2100	9,0	3,0	1250	350	8,0	600	1:8	12,0
13	Глины	1600	8,0	4,5	2300	400	10,0	750	1:5	14,0
14	Суглинки	1800	12,5	5,0	2300	600	8,0	500	1:5	11,0

Продолжение таблицы 1.1

№ варианта	Тип грунта	Ширина забоя В, м	Глубина разработки h, м	Длина забоя $\ell$ , км	Производительность насоса по пульпе $Q_{п}$ , м <sup>3</sup> /ч	Диаметр пульпо-провода $d_{п}$ , мм	Геодезическая разность отметок насоса и гидроотвала $H_{\Delta}$ , м	Длина транспортирования пульпы, L, м	Коэффициент консистенции пульпы	Потери мощности на всасывание $N_{вс}$ , кВт
15	Пески с малым содержанием гравия	1200	6,0	3,0	2300	350	6,0	650	1:8	12,0
16	Пески с большим содержанием гравия	1700	12,5	4,5	1620	400	9,0	500	1:10	9,0
17	Суглинки	1950	7,5	5,5	2300	600	8,0	600	1:10	11,0
18	Пески	1650	8,0	4,7	1620	400	7,5	700	1:8	12,0
19	Глины	1550	9,5	3,5	2300	350	8,5	800	1:10	13,0
20	Пески с малым содержанием гравия	1450	11,5	7,5	1620	400	9,6	650	1:8	9,0
21	Глины	1650	12,0	8,5	1620	350	8,0	700	1:8	10,0
21	Суглинки	1850	12,5	6,5	2350	400	9,0	850	1:10	12,0
23	Пески с большим содержанием гравия	1600	9,5	4,5	1250	400	11,0	900	1:10	13,0
24	Пески	1700	11,0	5,5	2300	600	12,0	750	1:10	12,0
25	Супеси	1350	9,0	7,0	1620	350	9,5	650	1:8	10,0

Таблица 1.2

**Средние скорости транспортирования пульпы, м/с**

Диаметр пульпопровода $D_p$ , мм	Глины, суглинки	Супеси, мелкие и средние пески	Пески с небольшим содержанием гравия	Пески с большим содержанием гравия
250	1,7	2,0	2,5	2,8
350	2,1	2,2	3,0	3,4
400	2,3	2,6	3,6	4,0
600	2,7	3,2	4,2	4,6

Таблица 1.3

**Коэффициент увеличения потерь напора для пульпы**

Консистенция пульпы	1:3	1:5	1:8	1:10
$k_p$	1,6	1,5	1,3	1,2

**Приложения 2**

Таблица 2.1

**Исходные данные для расчетов и выбора типа гидромонитора**

№ вар.	Размываемый грунт	Высота уступа, м	Способы размыва	Направление ведения размыва	Вид обезвоживания	Суточная выработка, м <sup>3</sup>
1	Пески мелкозернистые	до 5	с верхней площадки уступа	продольное	Сброс пульпы в отвал	1000
2	Супесь легкая	от 5 до 15	с нижней площадки уступа	поперечное	Укладка грунта в отвал	1200
3	Песчано-гравийная смесь с содержанием гравия до 40 %	свыше 15	с предварительным увлажнением пород	продольное	Сброс пульпы в отвал	1300
4	Пески среднезернистые	до 5	с механическим рыхлением	поперечное	Укладка грунта в отвал	1400

Продолжение таблицы 2.1

<b>№ вар.</b>	<b>Размываемый грунт</b>	<b>Высота уступа, м</b>	<b>Способы размыва</b>	<b>Направление ведения размыва</b>	<b>Вид обезвоживания</b>	<b>Суточная выработка, м<sup>3</sup></b>
5	Супесь средняя	от 5 до 15	с верхней площадки уступа	продольное	Сброс пульпы в отвал	1500
6	Суглинок легкий	свыше 15	с нижней площадки уступа	поперечное	Укладка грунта в отвал	1400
7	Песчано-гравийная смесь с содержанием гравия до 25 %	до 5	с предварительным увлажнением пород	продольное	Сброс пульпы в отвал	1300
	Пески крупнозернистые	от 5 до 15	с механическим рыхлением	поперечное	Укладка грунта в отвал	1200
9	Супесь тяжелая	свыше 15	с верхней площадки уступа	продольное	Сброс пульпы в отвал	1000
10	Торф разложившийся	до 5	с нижней площадки уступа	поперечное	Укладка грунта в отвал	1200
11	Песчано-гравийная смесь с содержанием гравия до 40 %	от 5 до 15	с предварительным увлажнением пород	продольное	Сброс пульпы в отвал	1300
12	Пески среднезернистые	от 5 до 15	с механическим рыхлением	поперечное	Укладка грунта в отвал	1400
13	Супесь тяжелая	до 5	с верхней площадки уступа	продольное	Сброс пульпы в отвал	1500
14	Пески крупнозернистые	от 5 до 15	с нижней площадки уступа	поперечное	Укладка грунта в отвал	1400
15	Песчано-гравийная смесь с содержанием гравия до 25 %	свыше 15	с предварительным увлажнением пород	продольное	Сброс пульпы в отвал	1300

Продолжение таблицы 2.1

<b>№ вар.</b>	<b>Размываемый грунт</b>	<b>Высота уступа, м</b>	<b>Способы размыва</b>	<b>Направление ведения размыва</b>	<b>Вид обезвоживания</b>	<b>Суточная выработка, м<sup>3</sup></b>
16	Супесь тяжелая	до 5	с механическим рыхлением	поперечное	Укладка грунта в отвал	1200
17	Пески мелкозернистые	от 5 до 15	с верхней площадки уступа	продольное	Сброс пульпы в отвал	1100
18	Супесь легкая	свыше 15	с нижней площадки уступа	поперечное	Укладка грунта в отвал	1000
19	Пески крупнозернистые	до 5	с предварительным увлажнением пород	продольное	Сброс пульпы в отвал	1100
20	Песчано-гравийная смесь с содержанием гравия до 25 %	от 5 до 15	с механическим рыхлением	поперечное	Укладка грунта в отвал	1200
21	Пески среднезернистые	свыше 15	с верхней площадки уступа	продольное	Сброс пульпы в отвал	1300
22	Пески крупнозернистые	до 5	с нижней площадки уступа	поперечное	Укладка грунта в отвал	1400
23	Супесь тяжелая	от 5 до 15	с предварительным увлажнением пород	продольное	Сброс пульпы в отвал	1500
24	Пески мелкозернистые	свыше 15	с механическим рыхлением	поперечное	Укладка грунта в отвал	1000
25	Песчано-гравийная смесь с содержанием гравия до 25 %	до 5	с верхней площадки уступа	продольное	Сброс пульпы в отвал	1200

## Задания

№ вар.	Модель рыхлителя (табл.3.1, 3.2)	Глубина рыхления h, см	Кол-во зубьев Z	Износ a, см	Длина гона L, м	Параметры грунта			
						Наименование	$\omega, \%$	$-T^{\circ}C$	$m_{св} \text{ Н/см}^2$
1	МГ-1-40	20	1	2	300	Песок	15	10	95
2	ДП-26С	25	1	2	400	Супесь	10	15	35
3	ДП-22С	30	1	3	500	Суглинок	10	10	16
4	Д-671С	35	1	3	600	Глина	15	15	30
5	ДП-9С	50	1	4	700	Песок	10	15	54
6	ДП-10С	60	1	4	800	Супесь	15	5	20
7	ДП-11С	70	1	5	900	Суглинок	20	10	20
8	МГ-1-40	25	1	3	500	Суглинок	15	15	50
9	ДП-26С	35	1	3	400	Супесь	15	5	20
10	ДП-22С	20	2	4	300	Глина	15	15	30
11	Д-671С	25	2	4	800	Песок	15	5	45
12	ДП-9С	30	2	2	700	Глина	10	20	10
13	ДП-10С	40	2	5	600	Суглинок	10	15	25
14	ДП-11С	50	1	3	300	Песок	15	20	95
15	МГ-1-40	35	1	5	400	Глина	25	10	35
16	ДП-26С	55	1	5	500	Супесь	10	18	40
17	ДП-22С	20	3	2	600	Песок	10	16	55
18	Д-671С	20	3	2	700	Глина	30	18	20
19	ДП-9С	30	3	3	800	Супесь	10	15	32
20	ДП-10С	40	3	3	900	Суглинок	15	8	25
21	ДП-11С	60	1	4	500	Глина	40	20	40
22	МГ-1-40	30	1	2	200	Песок	10	10	30
23	ДП-26С	25	1	2	300	Супесь	15	8	30
24	ДП-22С	35	3	2	400	Суглинок	20	12	12
25	Д-671С	20	2	4	500	Глина	25	10	30
26	ДП-9С	30	3	4	600	Песок	10	15	50
27	ДП-10С	40	1	5	800	Супесь	10	16	55
28	ДП-11С	50	1	3	400	Суглинок	10	20	32
29	ДП-26С	30	1	3	300	Глина	25	15	50
30	ДП-11С	20	2	5	200	Песок	15	12	97

Таблица 4.1

## Техническая характеристика рыхлителей статического действия

Показатели	Модель рыхлителя						
	МГ-1-40	ДП-26С	ДП-22С	Д-671С	ДП-9С	ДП-10С	ДП-11С
Наибольшее заглубление $h_{max}$ , м	0,46	0,45	0,5	0,5	0,7	0,7	1,0
Количество зубьев $z$ , шт	1	1	1...3	1...3	1...3	1...3	1
Расстояние между осями зубьев $l$ , м	-	-	0,8	0,96	1,02	0,85	-
Ширина наконечника зуба $b$ , см	6,6	6,6	8,6	10,4	10,5	10,5	12,4
Угол рыхления (при $h_{max}$ ) $\alpha$ , град	32-53 (3-х звенная подвеска)	45 (4-х звенная подвеска)	45	45	45	45	45
Скорость передвижения, км/ч							
Вперед $v_p$	2,36-10,15	3,17-10,45	2,86-11,96	2,67-17,9	2,3-20	0-16,4	0-16,2
Назад $v_x$	2,8-7,61	3,05-8,5	3,21-7,49	1,78-14,2	2,3-2,0	0-13,7	0-13,5
Общая масса $G$ , т	15,4	17,3	23,0	23,3	37,46	43,4	40,0
Базовая модель	Т-130Г-1	Т-130Г-1	Т-180КС	Т-220	ДЭТ-250М	Т-330	Т-500
Мощность $N$ , кВт	103	103	132	162	220	243	368
Наибольшее тяговое усилие $P_{max}$ , кН	95	95	168	141	257	361	500

Приложения 5

Таблица 5.1

## Данные для расчета

№ вариан- та.	Глубина промерза- ния Н, м	Вмести- мость ков- ша q, м <sup>3</sup>	Число ударов ударника ДорНИИ, С	Наименование грунта.	Число клиньев на рабочем органе, м.
1	0,8	0,3	80		3
2	0,9	0,4	80	Глина	3
3	1,0	0,5	80	-/-	3
4	1,1	0,6	100	-/-	2
5	1,2	0,8	100	-/-	2
6	1,3	1,0	100	Суглинок	2
7	1,4	1,0	120	-/-	2
8	1,5	1,0	120	-/-	2
9	1,6	1,25	120	-/-	3
10	1,7	1,25	160	-/-	3
11	1,8	1,25	180	-/-	3
12	1,9	1,5	190	Супесь	3
13	2,0	1,5	200	-/-	3
14	1,9	1,5	200	-/-	3
15	1,8	1,25	180	-/-	2
16	1,7	1,0	160	Глина	2
17	1,6	1,0	150	-/-	2
18	1,5	1,0	150	-/-	2
19	1,4	1,0	150	-/-	2
20	1,3	1,0	140	Суглинок	2
21	1,2	0,6	120	-/-	2
22	1,1	0,6	100	-/-	2
23	1,0	0,6	100	-/-	2
24	0,9	0,6	100	Супесь	2
25	0,8	0,6	100	Супесь	2
26	1,0	0,6	150	Супесь	2
27	1,2	0,8	200	Глина	3
28	1,4	1,0	160	Глина Суглинок	3
29	1,6	1,25	230	Суглинок	3
30	1,8	1,5	200	Супесь	1

Таблица 5.2

### Технические характеристики вибромолотов

Параметры	Ед. изм.	С-883	С-402А	С-834	С-835	ВМ-7Н	ВМ-9	С-836	ВМД-56	С-467М	ВМС-1
Энергия удара	Дж	160	500	1200	1650	620	800	2850	3000	4000	5000
Число ударов.	уд/ мин	705	480	480	480	1450	1440	485	980	490	730
Статический момент дебалансов.	кг·см	54	220	536	500	322	604	1440	1660	-/-	-/-
Вынуждающая сила	кН	11	22,5	50	112,5	70	140	145	176	218	125
Масса ударной части	т	0,1	0,28	0,65	0,7	0,67	0,7	1,4	1,65	2,1	2,85
Жесткость пружины	кН/ см	1,35	2,16	4,95	4,90	10,0	14,4	8,5	35	-/-	25,6
Установленная мощность	кВт	2,2	6,0	11	14	14	28	28	44	44	56

Таблица 5.3

### Технические характеристики низкочастотных вибропогружателей типа ВРП с регулируемыми параметрами

Параметры/Индекс машины	ВРП-15/60	ВРП-30/132	ВРП-70/200
Статический момент дебалансов, т·см	0...15	0...30	23...70
Частота колебаний, Гц	0...7,8	0...8,7	0...8,3
Максимальная вынуждающая сила, кН	348	890	1900
Мощность электродвигателя, кВт	60	132	200
Амплитуда колебаний(без сваи), мм	0...30	0...40	18...50
Габаритные размеры, м	1,24x1,00x2,04	1,44x1,44x2,24	1,70x1,60x3,50
Общая масса, кг	5000	7250	13000
Погружаемый элемент и его максимальные размеры в плане, м	Сваи 0,45x0,45 Сваи-оболочки Ø 1,2	Трубчатые сваи Ø 0,6 Сваи-оболочки Ø 1,2; 1,6	Сваи-оболочки Ø 1,6; 3,0
Глубина погружения до, м	15	25	40

Таблица 5.4

## Технические характеристики низкочастотных вибропогружателей

Параметры/Индекс машины	СП-42Б ВП-1	ВУ-1,6	В1-722	ВПМ-170	ВП-3М
Статический момент дебалансов, кг·м	93	345	500	224; 290	263
Частота колебаний, Гц	7	8,25	7,9; 9,3	7,3; 9,3	6,8
Вынуждающая сила, кН	250	958	1250 1700	480,620	440
Электродвигатели:					
Мощность, кВт	60	150	200	120	100
Количество, шт.	1	2	1	2	1
Амплитуда колебаний (без свай), мм	20	28	50	28; 36	36
Габаритные размеры, мм	1321 х 1290 х 2778	3068 х 2618 х 1930	1435 х 1800 х 3400	2000х 2000х 3420	1550 х 1410 х 2130
Масса вибропогружателя (без наголовника и пульта), кг	4560	11700	15600	8000	7200
Погружаемый элемент и его максимальные размеры в плане, м	Сваи 0,4х0,4 Свай- оболочки Ø 1,0	Свай- оболочки Ø 1,6	Свай- оболочки Ø 1,6	Свай- оболочки Ø 2,0	Сваи 0,45 х 0,45 Свай- оболочки Ø 1,2

Таблица 5.5

## Технические характеристики высокочастотных вибропогружателей

Показатели	ВПП-2А	ВПП-4А	ВПП-5	ВПП-6
Статический момент дебалансов, кг·м	10	5,5	3,5	2,5
Частота колебаний, Гц	25	22...25	25	20...25
Наибольшая вынуждающая сила, кН	250	140	83	62
Амплитуда колебаний (без сваи), мм	14,3	13,8	10	10
Мощность электродвигателя, кВт	40	28	16	11
Погружаемый элемент и его максимальные размеры в плане, м	1270 x 800	1000 x 960	1250 x 680	830 x 760
Высота(без наголовника), мм	2250	1500	1250	1380
Масса вибрирующих частей, кг	700	400	350	250
Масса (с электродвигателем), кг	1500	800	850	500
Масса вибропогружателя, кг	2200	1200	1200	750

Таблица 5.6

## Технические характеристики вибромолотов

Параметры/ Индекс машины	С-835	С-836	С-467М	ВМ-7У	ВМС-1	ВМС-2
Суммарная мощность электродвигателей, кВт	14	26	44	14	60	80
Число электродвигателей	2	2	2	2	2	2
Частота ударов, Гц	8	8	8	24	12,2	10
Максимальный статический момент дебалансов, кг·м	5	14,40	3,00	23,00	45,00	9,00
Макс.вынуждающая сила, кН	112,5	145	218	84	140	180
Общая масса вибромолота (с наголовником), кг	1100	4600	6500	1300	5100	8000
В том числе вибровозбудителя (ударной части)	700	1400	2200	650	2850	5000
Габаритные размеры, мм	1360 x 1800 x 1030	3200 x 1400 x 1050	3000 x 1500 x 1300	1150 x 1050 x 1100	1570 x1560 x1370	1700 x1760 x1670

Таблица 5.7

## Технические характеристики виброударных шпунтовывёргивателей

Параметры/Индекс машины	СП-58	МШ-2, МШ-2а	СП-83
Суммарная мощность Электродвигателей, кВт	15(7,5x2)	44(22x2)	34(17x2)
Энергия удара, Дж	740	2200	2850
Частота ударов, Гц	8	16	8
Вынуждающая сила, кН	100	134	240
Длина шпунта, м	10	15	20
Тип наголовника	клиновой	гидравлический	клиновой
Масса ударной части, кг	700	2000	2400
Габаритные размеры, мм	2700x1300x720	2290x1210x1175	2750x960x1370
Общая масса, кг	1500	4200	4975

## Приложения 6

Таблица 6.1

## Характеристика горных пород

Горная порода	Характеристика материала			Тип породы по заданию
	Объемная масса $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж}$ , МПа	Модуль упругости E, МПа	
Щебень базальтовый	2800	200...300	(56...97)·10 <sup>3</sup>	1
Порфир	2700	150...280	(68...80)·10 <sup>3</sup>	2
Диабаз	2700	190...250	(61...79)·10 <sup>3</sup>	3
Гранит мелкозернистый	3300	180...200	(60...70)·10 <sup>3</sup>	4
Гранит крупнозернистый	2700	120...140	(52...62)·10 <sup>3</sup>	5
Известняк прочный	270	100...120	(34...50)·10 <sup>3</sup>	6
Песчаник серый	2700	100...120	(34...50)·10 <sup>3</sup>	7
Песчаник	2000	50...80	(34...50)·10 <sup>3</sup>	8
Известняк мягкий	1400	40...60	(34...50)·10 <sup>3</sup>	9
Сланец глинистый	1200	25...40	(11...19)·10 <sup>3</sup>	10

Таблица 6.2

## Данные для расчета

№ вар.	Тип породы (табл.3.1)	Максимальная крупность исходного продукта, м	Конечный продукт *	Фракция
1.	1	1,1	I	20-40
2.	1	1,25	II	40-70
3.	1	1,20	-	5-10
4.	2	1,15	-	20-40
5.	2	0,90	I	5-10
6.	2	0,80	-	40-70
7.	3	0,75	-	20-40
8.	3	1,00	II	10-20
9.	3	1,10	-	5-10
10.	4	0,60	I	20-40
11.	4	0,95	-	10-20
12.	4	0,70	-	20-40
13.	5	0,85	-	10-20
14.	5	0,90	II	10-20
15.	5	0,95	-	40-70
16.	6	1,20	-	5-10
17.	6	1,05	-	20-40
18.	6	0,50	I	40-70
19.	7	0,40	-	5-10
20.	7	0,35	-	10-20
21.	7	0,45	-	5-10
22.	8	0,15	III	5-10
23.	8	0,10	-	5-10
24.	8	0,45	I	5-10
25.	9	0,30	-	5-10
26.	9	1,35	-	20-40
27.	9	0,55	-	10-20
28.	10	0,95	II	20-40
29.	10	0,60	I	10-20
30.	10	0,70	-	20-40

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие факторы влияют на определение удельного расхода воды на отбойку пород гидромониторами?
2. Какие факторы влияют на определение необходимого напора воды для размыва пород гидромонитором?
3. Что такое отбойка и выгонка пород?
4. Что такое гранулометрический состав рыхлых отложений?
5. Как определяется пористость и коэффициент пористости пород?
6. Какая крупность глинистых фракций?
7. Способы размыва горных пород гидромонитором.
8. Способы разупрочнения пород при использовании средств гидромеханизации.
9. Что такое уклон? Единицы измерения уклона.
10. Системы гидравлических разработок.
11. Выбор системы гидравлических разработок.
12. Элементы гидромонитора.
13. Параметры гидромонитора.
14. Какие факторы влияют на дальность полета струи гидромонитора?
15. Какое должно быть минимальное расстояние от гидромонитора до забоя?
16. Что такое шаг передвижки гидромонитора?
17. Дать определение производительности гидромониторной установки.
18. Способы увеличения производительности гидромонитора.
19. Что такое не домыв? В каких случаях он применяется?
20. Как определяется часовая производительность гидромонитора?
21. Что должен отображать паспорт забоя гидромониторной установки?
22. Основные правила безопасности при работе гидромонитора.
23. Расчет напорного гидротранспорта
24. Принцип работы гидроэлеваторной установки.
25. Устройство гидроэлеваторной установки.
26. Область применения гидроэлеваторных установок.
27. Максимальные значения высоты подъема пульпы, дальности транспортирования пульпы и К.П.Д. при применении гидроэлеваторных установок.
28. Достоинства и недостатки гидроэлеваторных установок.
29. Какие факторы влияют на напор, развиваемый гидроэлеватором.
30. Параметры трубопровода.
31. Для чего необходим диффузор?
32. От чего зависит напор в насадке гидроэлеваторной установки?
33. Требования к крупности твердой фракции, подаваемой во всасывающий трубопровод.
34. Способы обеспечения заданной крупности твердой фракции, подаваемой во всасывающий трубопровод.
35. Какие факторы влияют на К.П.Д. гидроэлеваторной установки?

## ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

### 1. ЧТО ТАКОЕ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИЯ?

- а) гидромеханизация – это средство для тушения пожаров;
- б) гидромеханизация – это средство для тушения пожаров и мытья дорог;
- в) гидромеханизация – способ производства земляных работ, при котором для разработки, транспортирования и укладки грунта используется энергия потока или струи воды;
- г) гидромеханизация – способ производства земляных дноуглубительных работ.

### 2. ГИДРОМЕХАНИЗАЦИЕЙ НАЗЫВАЕТСЯ:

- а) смесь грунта с водой;
- б) способ производства земляных работ;
- в) комплекс машин и оборудования для производства земляных работ;
- г) единый технологический комплекс процессов и технических приёмов, связанных с разрушением грунтов и горных пород, их транспортированием и укладкой в тела сооружений или в отвалы гидравлическими методами.

### 3. СПОСОБАМИ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ ВЫПОЛНЯЮТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ ВИДЫ РАБОТ:

- а) разработка котлованов;
- б) разработка котлованов, выемок, каналов, намыв плотин, дамб и насыпей, углубление дна рек, планировка территорий очистка от наносов каналов и прудов, вскрышные работы, гидравлическая добыча песка и гравия и др.;
- в) разработка котлованов и выемок;
- г) намыв плотин, дамб и насыпей.

### 4. КОМПЛЕКС ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ СОСТОИТ ИЗ СЛЕДУЮЩИХ ОСНОВНЫХ ПРОЦЕССОВ (ОПЕРАЦИЙ):

- а) разработки грунта;
- б) транспортирования разработанного грунта к месту укладки;
- в) укладки грунта в гидроотвал или конкретное сооружение (намыв);
- г) разработки грунта, транспортирования разработанного грунта к месту укладки и укладка грунта в гидроотвал или конкретное сооружение (намыв);

## 5. РАЗРАБОТКА ГРУНТА В ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ – ЭТО:

- а) все способы разрушения грунтов и горных пород с применением воды;
- б) разработка грунта, при которой он разрушается механическими средствами и транспортируется водой;
- в) разработка грунта и транспорт его водой;
- г) разработка грунта мощной струёй воды.

## 6. ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ТРАНСПОРТОМ СЧИТАЮТСЯ:

- а) транспортирование грунта (и любых других материалов) в смеси с водой по напорным трубопроводам;
- б) все случаи транспортирования грунта (и любых других материалов) в смеси с водой напорным (трубопроводам), или безнапорным (лоткам, каналам).
- в) транспортирование грунта с водой по лоткам;
- г) транспортирование грунта с водой по лоткам и каналам.

## 7. НАМЫВОМ В ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ НАЗЫВАЮТ:

- а) отсыпка грунта в сооружение и заливка его водой;
- б) способы разрушения грунта и отсыпка его в котлован с водой;
- в) возведение земляных сооружений (плотин, дамб, насыпей, полунасыпей, перемычек и др.) гидравлическим способом;
- г) возведение земляных сооружений при помощи грунтовых насосов.

## 8. ПРОЦЕССЫ ПРИ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ ВЫПОЛНЯЮТСЯ С ПОМОЩЬЮ:

- а) механических фрез и гидромониторов;
- б) гидромониторов по лоткам;
- в) грунтовых насосов по трубам;
- г) с помощью энергии потока или струи воды.

## 9. ПУЛЬПА (ГИДРОСМЕСЬ – ЭТО:

- а) смесь ила;
- б) смесь песка;
- в) смесь глины
- г) смесь любого грунта при перемешивании его с водой.

## 10. КОНСИСТЕНЦИЯ ПУЛЬПЫ ХАРАКТЕРИЗУЕТСЯ:

- а) твёрдостью грунтовых частиц входящих в пульпу;
- б) количеством воды, находящейся в пульпе;

- в) количеством грунта, находящегося в пульпе;
- г) степенью насыщения воды частицами грунта и плотностью.

#### 11. ВИДЫ КОНСИСТЕНЦИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ:

- а) весовая и грузовая;
- б) грузовая и скоростная;
- в) скоростная и объёмная;
- г) объёмная и весовая.

#### 12. ВЕСОВАЯ КОНСИСТЕНЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНА СЛЕДУЮЩИМИ СООТНОШЕНИЯМИ:

- а) массы твёрдого вещества к массе воды, входящей в состав гидросмеси;
- б) массы твёрдого вещества, входящего в состав гидросмеси, к массе всего рассматриваемого объёма
- в) массы твёрдого вещества к массе воды, входящей в состав гидросмеси и массы твёрдого вещества, входящего в состав гидросмеси, к массе всего рассматриваемого объёма;
- г) массы жидкого вещества к массе грунта, входящего в состав гидросмеси;

#### 13. ОБЪЁМНАЯ КОНСИСТЕНЦИЯ – ПОНЯТИЕ:

- а) арифметическое;
- б) аналитическое;
- в) геометрическое;
- г) статистическое

#### 14. ОБЪЁМНАЯ КОНСИСТЕНЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНА СЛЕДУЮЩИМИ СООТНОШЕНИЯМИ:

- а) объёма плотного грунта к объёму воды, с которой смешан этот грунт;
- б) объёма плотного грунта в его естественном виде к объёму воды, с которой смешан этот грунт, и которая содержится в его порах;
- в) объёма грунта в его естественном виде к объёму смеси и объёма плотного грунта к объёму смеси;
- г) объёма плотного грунта к объёму воды, с которой смешан этот грунт, объёма плотного грунта в его естественном виде к объёму воды, с которой смешан этот грунт, и которая содержится в его порах, массы твёрдого веще-

ства к массе воды, входящей в состав гидросмеси и массы твёрдого вещества, входящего в состав гидросмеси, к массе всего рассматриваемого объёма.

15. КОЭФФИЦИЕНТ ОБЪЁМНОЙ КОНСИСТЕНЦИИ РАВЕН:

а)  $k_{\Pi} = m_{\Gamma}(V_{\Gamma}) / [m_{\text{В}}(V_{\text{В}})];$

б)  $k_{\Pi}^2 = m_{\Gamma}(V_{\Gamma}) / [m_{\text{В}}(V_{\text{В}})];$

в)  $k_{\Pi}^3 = m_{\Gamma}(V_{\Gamma}) / [m_{\text{В}}(V_{\text{В}})];$

г)  $k_{\Pi}^4 = m_{\Gamma}(V_{\Gamma}) / [m_{\text{В}}(V_{\text{В}})];$

16. ПЛОТНОСТЬ ПУЛЬПЫ  $\gamma_{\Pi}$  (КГ/М<sup>3</sup>) РАВНА:

а)  $\gamma_{\Pi} = (\gamma_{\text{с.г}} + n\gamma_{\text{В}}) / (1 + n)$

б)  $[\gamma_{\Pi} = (\gamma_{\text{с.г}} + n\gamma_{\text{В}}) / (1 + n)]^2$

в)  $[\gamma_{\Pi} = (\gamma_{\text{с.г}} + n\gamma_{\text{В}}) / (1 + n)]^3$

г)  $\gamma_{\Pi}^2 = (\gamma_{\text{с.г}} + n\gamma_{\text{В}}) / (1 + n)$

17. УДЕЛЬНЫМ РАСХОДОМ ВОДЫ НАЗЫВАЮТ:

а) количество воды, потребное для разработки 1 м<sup>3</sup> грунта;

б) количество воды, потребное для транспортирования 1 м<sup>3</sup> грунта;

в) количество воды, потребное для разработки, транспортирования и укладки в сооружение 1 м<sup>3</sup> грунта;

г) количество воды, потребное для разработки или транспортирования 1 м<sup>3</sup> грунта;

18. УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ЗАВИСИТ:

а) от состояния грунта;

б) от состояния грунта и скорости размыва;

в) от скорости размыва;

г) от вида грунта;

19. ГРУНТ УКЛАДЫВАЕТСЯ НА КАРТЫ НАМЫВА (ПЛОЩАДКУ НАМЫВАЕМОГО СООРУЖЕНИЯ) ИЛИ В ОТВАЛ ВСЛЕДСТВИЕ:

а) осаждения частиц грунта;

б) вследствие осаждения частиц грунта при медленном растекании пульпы;

в) вследствие быстрого осаждения частиц грунта;

г) вследствие быстрого осаждения частиц грунта при быстром растекании пульпы;

## 20. УКЛАДКА ГРУНТА В СООРУЖЕНИЕ ЗАВИСИТ:

- а) от скорости движения потока или струи воды (от величины энергии потока);
- б) от консистенции пульпы;
- в) от вида грунта;
- г) от вида сооружения.

## 21. РАЗМЫВ ГРУНТА И ОБРАЗОВАНИЕ ГИДРОСМЕСИ ПРОИСХОДИТ:

- а) при скоростях (менее 6 м/с);
- б) при больших скоростях (более 6 м/с);
- в) при скоростях (менее 3 м/с);
- г) при больших скоростях (более 10 м/с);

## 22. ПУЛЬПА РАСТЕКАЕТСЯ НА КАРТЕ НАМЫВА:

- а) со скоростью 0,5...0,1 м/с;
- б) со скоростью 0,1...0,01 м/с;
- в) со скоростью 0,5...0,3 м/с;
- г) со скоростью 0,3...0,7 м/с;

## 23. Для предотвращения вытекания пульпы за пределы карты по её контуру устраивают:

- а) канавы (зумпфы);
- б) земляные дамбы расчетной высоты, называемые дамбами обвалования.
- в) металлические быстро съёмно-разъёмные экраны;
- г) стену в грунте из шпунта.

## 24. В ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ ПРИМЕНЯЮТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ СПОСОБЫ РАЗРАБОТКИ ГРУНТА:

- а) гидроэлеваторный;
- б) гидромониторный;
- в) землесосный и гидроэлеваторный;
- г) землесосный и гидромониторный.

## 25. РАЗЛИЧАЮТ СЛЕДУЮЩИЕ СХЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПО ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ:

- а) землесосные схемы с напорным гидротранспортом грунта;
- б) гидромониторные схемы с расположением гидромониторов выше намываемого сооружения (с подачей пульпы к нему самотёком по лоткам);

в) гидромониторные схемы с расположением гидромониторов ниже намываемого сооружения (с подачей пульпы грунтовым насосом по напорному пульпопроводу);

г) гидромониторные схемы с расположением гидромониторов выше намываемого сооружения (с подачей пульпы к нему самотёком по лоткам) и гидромониторные схемы с расположением гидромониторов ниже намываемого сооружения (с подачей пульпы грунтовым насосом по напорному пульпопроводу);

## 26. КОМБИНИРОВАННЫЕ СХЕМЫ, РАЗРАБОТКИ ГРУНТА В ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ ПРИМЕНЯЮТ:

а) при возведении плотин из грунтов, разрабатываемых землеройными машинами в одном или нескольких карьерах, и сухопутно доставленных до бункера, где его перемешивают с водой, и в виде пульпы доставляют грунтовым насосом по напорному пульпопроводу к месту укладки;

б) при возведении сооружений (плотин) из грунтов различного состава, разрабатываемых в разных карьерах: в одном карьере, разрабатываемых землеройными машинами с сухопутным транспортированием грунта и укладкой его в одну часть плотины; в другом карьере, разрабатываемых плавучими землесосными снарядами с напорным гидротранспортом грунта в другие части плотины (сооружения).

в) при возведении сооружений (плотин) из грунтов, разработанных различными землеройными машинами;

г) при возведении плотин из грунтов, разрабатываемых землеройными машинами в одном или нескольких карьерах, и сухопутно доставленных до бункера, где его перемешивают с водой, и в виде пульпы доставляют грунтовым насосом по напорному пульпопроводу к месту укладки и при возведении сооружений (плотин) из грунтов различного состава, разрабатываемых в разных карьерах: в одном карьере, разрабатываемых землеройными машинами с сухопутным транспортированием грунта и укладкой его в одну часть плотины; в другом карьере, разрабатываемых плавучими землесосными снарядами с напорным гидротранспортом грунта в другие части плотины (сооружения).

## 27. ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГИДРОМЕХАНИЗИРОВАННЫХ СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ НЕОБХОДИМО УЧИТЫВАТЬ СЛЕДУЮЩИЕ ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ:

- а) влажность, плотность, ползучесть, липкость;
- б) гранулометрический состав, коэффициент внешнего трения, угол свободного откоса;
- в) гранулометрический состав, плотность, коэффициент сцепления, угол внутреннего трения, угол откоса;
- г) не принимать во внимание физико-механические свойства грунтов, а пользоваться рекомендациями по применению средств гидромеханизации.

#### 28. ПРИ РАЗРАБОТКЕ КАРЬЕРОВ СРЕДСТВАМИ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ ВСКРЫШНЫЕ ГРУНТЫ ПОДЛЕЖАТ:

- а) обязательному удалению с утилизацией их на специальных картах;
- б) при соответствующем обосновании допускается предварительно не удалять вскрышные грунты, а разрабатывать гидромониторами или землесосными снарядами, отмывая их в процессе разработки;
- в) текущей разработке, с соблюдением рекомендованной в проекте технологии производства работ;
- г) предварительному удалению при значительной мощности плодородного слоя.

#### 29. ПРИ ГИДРОМОНИТОРНОМ СПОСОБЕ РАЗРАБОТКИ ДИАПАЗОН НЕОБХОДИМЫХ НАПОРОВ ВОДЫ ДЛЯ РАЗМЫВА ГРУНТА СОСТАВЛЯЕТ (ЗАВИСИТ):

- а) необходимый напор зависит от характеристик применяемого центробежного насоса;
- б) необходимый напор зависит от типа размываемого грунта и марки применяемого гидромонитора;
- в) в зависимости от условий производства работ;
- г) необходимый напор составляет 25 – 80 м.

#### 30. ТРЕБОВАНИЯМ ПРАВИЛ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕД НАЧАЛОМ РАБОТЫ ГИДРОМОНИТОРА ДОЛЖНЫ СООТВЕТСТВОВАТЬ УСЛОВИЯ:

- а) из сферы действия струи гидромонитора должны быть удалены все люди;
- б) с места работы гидромонитора должны быть удалены лица, не имеющие отношения к его работе;
- в) территория участка на расстоянии не менее дальности действия струи гидромонитора должна обязательно ограждаться знаками, предупреждающими об опасности пребывания людей на этой территории;

г) во время пуска выходное отверстие гидромонитора должно быть всегда направлено в безопасное для окружающих место.

### 31. РАДИУСЫ ПОВОРОТА ПРИ ПРОКЛАДКЕ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ДОЛЖНЫ БЫТЬ:

- а) радиусы поворота должны быть не менее 3–6 диаметров трубы;
- б) радиусы поворота напорных трубопроводов зависят от возможных размеров отводимой полосы отчуждения;
- в) радиусы поворота напорных трубопроводов зависят от рельефа местности полосы отчуждения;
- г) радиусы поворота не зависят от параметров трубы и условий прокладки линии.

### 32. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕК С МАЛЫМ РАСХОДОМ ИЛИ НЕБОЛЬШИХ ВОДОЕМОВ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ УСТАНОВОК ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ РАЗРЕШАЕТСЯ ПРИ НАЛИЧИИ:

- а) при фактическом заборе, не превышающем расход или объем водоисточника на время проведения работ;
- б) использование разрешается при наличии водохозяйственного расчета, учитывающего санитарный минимум, естественные потери и хозяйственные потребности в воде района, находящегося ниже водозабора;
- в) специально обустроенных мест забора воды с применением приямков или углублений на дне;
- г) временных водозадерживающих гидротехнических сооружений.

### 33. ПЛАВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ НА ЛОДКАХ И ПОНТОНАХ ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ ЗЕМСНАРЯДА РАЗРЕШАЕТСЯ ПРИ УСЛОВИЯХ:

- а) независимо от технологии производства работ и погодных условий;
- б) плавание и производство работ на лодках и понтонах разрешается, при возможности отвода земснаряда в безопасное место в случае шторма;
- в) необходимости выполнения вспомогательных операций технологического цикла;
- г) плавание и производство работ на вспомогательных плавсредствах, не допускается.

### 34. КАЖДЫЙ ЗЕМСНАРЯД ДОЛЖЕН БЫТЬ СНАБЖЕН:

- а) каждый земснаряд должен быть снабжен паспортом, заводской табличкой или надписью с указанием типа и руководством по эксплуатации;

б) аптечкой, индивидуальными и коллективными средствами защиты машиниста и операторов;

в) спасательными кругами, плавучими средствами;

г) каждый земснаряд должен быть снабжен не менее чем двумя лодками: рабочей и спасательной.

**35. ДВА И БОЛЕЕ ГИДРОМОНИТОРА ПРИ ОДНОВРЕМЕННОЙ РАБОТЕ В ЗАБОЕ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ОБОРУДОВАНЫ:**

а) Гидромониторы должны быть оборудованы ограничителями горизонтального и вертикального поворота ствола, исключающими вылет струи на соседний гидромонитор;

б) границы забоев гидромониторов ограничиваются установкой специальных столбов или временных вешек;

в) гидромониторы должны быть оборудованы звуковой или световой сигнализацией для обеспечения взаимодействия при работе;

г) гидромониторы должны быть оборудованы устройствами регулирования напора подаваемой воды.

**36. ДЛЯ ВЫСОТЫ ЗАБОЯ, НЕ ПРЕВЫШАЮЩЕЙ 30 М, ПРИ РАЗМЫВЕ СТРУЕЙ ГИДРОМОНИТОРА РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ГИДРОМОНИТОРОМ И СТЕНКОЙ ЗАБОЯ ДОЛЖНО БЫТЬ:**

а) назначено в зависимости от напора воды перед насадком;

б) для сыпучих грунтов расстояние должно быть не менее 0,8 высоты забоя, для глинистых плотных грунтов – не менее 1,2 высоты забоя;

в) принято в зависимости от типа и протяженности пульпоотводящего сооружения;

г) назначено в зависимости от геометрии и размеров забоя.

**37. ОТ ПОВРЕЖДЕНИЯ ВОДОЙ НАХОДЯЩИЕСЯ В НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ БЛИЗОСТИ ОТ КАРТ НАМЫВА КОММУНИКАЦИИ И СООРУЖЕНИЯ ДОЛЖНЫ ЗАЩИЩАТЬСЯ СЛЕДУЮЩИМ ОБРАЗОМ:**

а) территории расположения коммуникаций и сооружений должны обозначаться специальными опознавательными знаками или ограждениями;

б) коммуникации и сооружения должны защищаться дамбами обвалования или водоотводными канавами;

в) мероприятия по защите коммуникаций и сооружений от повреждения водой должны соответствовать проектной документации;

г) дополнительные защитные сооружения должны быть предусмотрены при строительстве основных инженерных коммуникаций.

**38. РАЗРАБАТЫВАЕМАЯ ЧАСТЬ КАРЬЕРА, А ТАКЖЕ НАМЫВАЕМЫЕ СООРУЖЕНИЯ, ОТСТОЙНИКИ И КАНАВЫ, РАЗМЕЩЕННЫЕ В НАСЕЛЕННОЙ МЕСТНОСТИ, ДОЛЖНЫ БЫТЬ ОГРАЖДЕНЫ:**

а) временными переносными щитовыми заборами или столбиками с ограждающей светоотражательной лентой;

б) территории расположения сооружений должны обозначаться специальными опознавательными знаками или ограждениями;

в) элементы и конструкции ограждений должны быть предусмотрены нормативной документацией;

г) разрабатываемая часть карьера и другие сооружения, размещенные в населенной местности, должны быть ограждены защитными ограждениями или обозначены соответствующими предупредительными знаками безопасности и надписями, освещенными в темное время суток.

**39. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕК С МАЛЫМ РАСХОДОМ ИЛИ НЕБОЛЬШИХ ВОДОЕМОВ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ УСТАНОВОК ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ РАЗРЕШАЕТСЯ ПРИ НАЛИЧИИ:**

а) при фактическом заборе, не превышающем расход или объем водоисточника на время проведения работ;

б) использование разрешается при наличии водохозяйственного расчета, учитывающего санитарный минимум, естественные потери и хозяйственные потребности в воде района, находящегося ниже водозабора;

в) специально обустроенных мест забора воды с применением приямков или углублений на дне;

г) временных водозадерживающих гидротехнических сооружений.

**40. РАЗРАБОТКА ГИДРОМОНИТОРАМИ ПО СХЕМЕ ВСТРЕЧНЫХ ЗАБОЕВ (НАВСТРЕЧУ ДРУГ ДРУГУ) РАЗРЕШАЕТСЯ ПРИ УСЛОВИЯХ:**

а) разработка грунта гидромониторами не зависит от типа разрабатываемого грунта;

б) разработка грунта гидромониторами не зависит от конфигурации и геомет-рических размеров забоя;

в) разработка грунта гидромониторами по схеме встречных забоев не разрешается;

г) разработка грунта разрешается при ширине перемычки между гидромониторами, равной не менее высоты забоя.

**41. ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ ВЗРЫВООПАСНОГО ПРЕДМЕТА МАШИНИСТ ЗЕМСНАРЯДА ДОЛЖЕН:**

а) машинист должен немедленно прекратить все работы, эвакуировать людей, сообщить о случившемся руководству и при возможности отвести земснаряд в безопасное место;

б) обозначить месторасположение взрывоопасного предмета и продолжать работу в забое;

в) переместить земснаряд на другое место и продолжить работу;

г) прекратить работу и переместить земснаряд на другое место.

**42. КАЖДЫЙ ГИДРОМОНИТОР ДОЛЖЕН БЫТЬ СНАБЖЕН:**

а) руководством по эксплуатации с указанием режимов работы в зависимости от условий и применяемой технологии;

б) набором инструментов и приспособлений для проведения ремонтных или аварийных работ;

в) каждый гидромонитор должен быть снабжен манометром на стволе, паспортом, заводской табличкой или надписью с указанием типа и допускаемого рабочего давления;

г) Каждый гидромонитор должен быть снабжен аптечкой и индивидуальными средствами защиты.

**43. ТОЛЩИНА ЗАЩИТНОГО СЛОЯ ГРУНТА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВЫЕМКИ ПЛАВУЧИМИ ЗЕМСНАРЯДАМИ ПРИ ИСПОДЪЗОВАНИИ МЕТОДА ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ ДОЛЖНА БЫТЬ:**

а) одинаковой, независимо от типа разрабатываемого грунта;

б) назначается в зависимости от марки и производительности земснаряда;

в) для песчаных грунтов толщина должна быть не менее 0,5 м, для глинистых грунтов – 0,3 м;

г) назначается в зависимости от принятой технологии производства работ.

44. НАИМЕНЬШАЯ ГЛУБИНА РАЗРАБОТКИ, НАХОДЯЩЕЙСЯ НИЖЕ УРОВНЯ ВОДЫ, ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВЫЕМОК И КАРЬЕРОВ ПЛАВУЧИМИ ЗЕМЛЕСОСНЫМИ СНАРЯДАМИ ЗАВИСИТ ОТ:

- а) глубина разработки зависит от производительности землесосного снаряда, но не может быть ниже 1,5 м;
- б) произвольной, но ограниченной величиной осадки земснаряда;
- в) глубина разработки зависит от применяемой технологии производства работ;
- г) толщины слоя разрабатываемого грунта.

45. РАЗМЫВ ГРУНТА ГИДРОМОНИТОРАМИ МОЖЕТ ПРОИЗВОДИТЬСЯ ПО СХЕМЕ:

- а) снизу-вверх или сверху вниз;
- б) произвольно, в зависимости от размеров забоя;
- в) только снизу-вверх;
- г) только сверху вниз.

46. НАИМЕНЬШАЯ ГЛУБИНА РАЗРАБОТКИ НИЖЕ УРОВНЯ ВОДЫ ПРИ РАБОТЕ ПЛАВУЧИХ ЗЕМЛЕСОСНЫХ СНАРЯДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ ДОЛЖНА БЫТЬ:

- а) наименьшая глубина зависит от толщины слоя грунта, подлежащего разработке;
- б) наименьшая глубина зависит от марки и производительности землесосного снаряда, но она должна быть не менее 1 м;
- в) наименьшая глубина может быть произвольной;
- г) наименьшая глубина должна быть более 2 метров.

47. ВЫСОТНЫЕ ОТМЕТКИ ЭЛЕМЕНТОВ ВЫЕМКИ И КОНФИГУРАЦИЯ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ ЗЕМЛЕСОСНЫМИ СНАРЯДАМИ ПРОФИЛЬНЫХ ВЫЕМОК НА ПРЕДМЕТ СОТВЕТСТВИЯ ИХ ПРОЕКТНЫМ ДАННЫМ ОСУЩЕСТВЛЯЮТСЯ:

- а) пикеты измерений назначаются произвольно;
- б) выполнение измерений производится по пикетам, привязываемым к рельефу местности;
- в) на прямолинейных участках измерения осуществляются через каждые 50 м, на криволинейных – через 25 м;
- г) периодичность выполнения измерений должна регламентироваться проектной документацией.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
ГЛАВА I. СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СТРОИТЕЛЬНЫХ И МЕЛИОРАТИВНЫХ МАШИН.....	7
1.1 Одноковшовый экскаватор с рабочим оборудованием прямая лопата .....	15
1.2 Драглайн .....	16
1.3 Одноковшовый экскаватор с гидравлическим рабочим оборудованием обратная лопата .....	19
1.4 Траншейный экскаватор .....	24
1.5 Бульдозер .....	26
1.6 Сваебойное оборудование .....	29
1.7 Статический расчет каналоочистителя в системе Mathcad.....	31
ГЛАВА II. МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЯ ГИДРОМЕХАНИЗАЦИИ.....	33
2.1 Общие сведения по гидромеханизации в мелиоративном и водохозяйственном и строительстве .....	33
2.2 Землесосные снаряды .....	38
2.3 Грунтовые насосы .....	41
2.4 Классификация мелиоративных земснарядов .....	43
2.5 Общий расчет и подбор земснаряда с фрезерным разрыхлителем	52
2.6 Гидромониторный способ гидромеханизации .....	58
2.6.1 Схемы забоев при гидромониторном способе гидромеханизации	58
2.7 Конструкция гидромониторов .....	61
2.8 Расчёт производительности гидромонитора .....	65
2.9 Определение параметров гидромониторного размыва разрабатываемого карьера .....	65
ГЛАВА III. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ И МЕЛИОРАТИВНЫХ МАШИН	77
3.1 Расчет сопротивления резания грунта рыхлителями статического действия .....	77
3.2 Расчет виброударного механизма для разрушения мерзлого грунта .....	83
3.3 Определение основных параметров оборудования для дробильно-сортировочной установки.....	89

3.4	Расчет основных параметров бетоно-растворосмесительных установок .....	102
3.5	Подбор оборудования для пневматического способа транспортирования бетонной смеси и растворов .....	106
3.6	Расчет основных параметров поршневого бетононасоса с механическим приводом .....	116
3.7	Расчет основных параметров вибрационных машин для уплотнения бетонных смесей .....	122
3.8	Расчет основных параметров свайных молотов и вибропогружателей .....	133
	Библиографический список.....	139
	Приложения.....	140
	Контрольные вопросы.....	153
	Тестовые задания .....	154

## МУНДАРИЖА

Кириш.....	5
I боб. ҚУРИЛИШ ВА МЕЛИОРАЦИЯ МАШИНАЛАРИНИНГ СТАТИК ҲИСОБИ.....	7
1.1 Тўғри чўмичли бир чўмичли экскаватор.....	15
1.2 Драглайн .....	16
1.3 Тескари чўмичли гидравлик бошқарув тизимига эга бўлган бир чўмичли экскаватор.....	19
1.4 Узлуксиз ишловчи траншея қазувчи экскаватор.....	24
1.5 Бульдозер .....	26
1.6 Қозик қоқиш ускуналари.....	29
7.7 Mathcad дастури асосида канал тозалаш машинасининг статик ҳисоби .....	31
II боб. ГИДРОМЕХАНИЗАЦИЯ МАШИНА ВА ЖИҲОЗЛАРИ..	33
2.1 Мелиорация ва сув хўжалиги қурилишида қўлланилаётган гидромеханизация воситалари тўғрисида умумий маълумотлар....	33
2.2 Лойқасўргич снарядлари.....	38
2.3 Грунт насослари.....	41
2.4 Мелиорация лойқасўргич снарядларининг синфланиши .....	43
2.5 Фреза юмшатгичли лойқасўргич снарядини танлаш ва умумий ҳисоби.....	52
2.6 Гидромеханизациянинг гидромонитор усули .....	58
2.6.1 Гидромеханизациянинг гидромонитор усулида ишлов беришзабойининг схемалари.....	58
2.7 Гидромониторлар конструкциялари.....	61
2.8 Гидромониторнинг иш унумдорлигини ҳисоблаш.....	65
2.9 Карьерни сув билан ўпиришда гидромониторнинг кўрсаткичларини аниқлаш .....	65
III боб. ҚУРИЛИШ ВА МЕЛИОРАЦИЯ МАШИНАЛАРИНИНГ АСОСИЙ КўРСАТКИЧЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ МЕТОДИКА- СИ.....	77
3.1 Грунт юмшатгичнинг кесиш қаршилигини ҳисоблаш .....	77

3.2	Музлаган грунтни юмшатувчи титрама зарба берувчи механизмини ҳисоблаш.....	83
3.3	Тош майдалаш-саралаш ускунасининг асосий кўрсаткичларини ҳисоблаш .....	89
3.4	Бетон ва қоришма тайёрлаш ускунасининг асосий кўрсаткичларини ҳисоблаш.....	102
3.5	Бетон ва қоришмани пневматик усулда ташиш учун ускунани танлаш .....	106
3.6	Механик юритмали поршенли бетон насосининг асосий кўрсаткичларини ҳисоблаш.....	116
3.7	Бетон қоришмасини титрама зичловчи ускунанинг асосий кўрсаткичларини ҳисоблаш .....	122
3.8	Қозик қоқиш болғасининг асосий кўрсаткичларини ҳисоблаш...	133
	Адабиётлар рўйхати.....	139
	Иловалар.....	140
	Назорат саволлари.....	153
	Тест топшириқлари .....	154

## TABLE OF CONTENTS

Introduction.....	5
CHAPTER I. STATIC CALCULATION OF CONSTRUCTION AND RECLAMATION MACHINES.....	
1.1 Single-bucket excavator with working equipment, front shovel .....	15
1.2 Dragline.....	16
1.3 Single-bucket excavator with hydraulic working equipment, backhoe-sixteen.....	19
1.4 Trench excavator .....	24
1.5 Bulldozer.....	26
1.6 Pile driving equipment.....	29
7.7 Static calculation of the duct cleaner in the Mathcad system .....	31
CHAPTER II. MACHINES AND EQUIPMENT OF HYDROMECHANIZATION.....	
2.1 General information on hydromechanization in land reclamation and water management and construction .....	33
2.2 Dredgers.....	38
2.3 Dredge pumps .....	41
2.4 Classification of reclamation dredgers .....	43
2.5 General calculation and selection of a dredger with a milling opener..	52
2.6 Hydromonitor method of hydromechanization .....	58
2.6.1 Bottom-hole diagrams for the hydro-jetting method of hydromechanization.....	58
2.7 Construction of water monitors .....	61
2.8 Calculation of the performance of the water jet .....	65
2.9 Determination of parameters of jet washout open pit being developed .....	65
CHAPTER III. PROCEDURE FOR CALCULATION OF THE BASIC PARAMETERS OF CONSTRUCTION AND RECLAMATION MACHINES.....	
3.1 Calculation of the soil cutting resistance by static rippers .....	77
3.2 Calculation of a vibro-impact mechanism for the destruction of frozen soil .....	83

3.3	Determination of the main parameters of the equipment for crushing and screening plant .....	89
3.4	Calculation of the main parameters of concrete-mortar mixing plants..	102
3.5	Selection of equipment for the pneumatic method of transporting con- crete mix and mortars .....	106
3.6	Calculation of the main parameters of a piston concrete pump with mechanical drive .....	116
3.7	Calculation of the main parameters of vibration machines for compac- tion of concrete mixtures .....	122
3.8	Calculation of the main parameters of pile hammersand vibrators.....	133
	Bibliography.....	139
	Appendices.....	140
	Test questions.....	153
	Test tasks.....	154

БАЛАБАНОВ ВИКТОР ИВАНОВИЧ  
ЛИАФАНАСИЙ  
МАРТЫНОВА НАТАЛЬЯ БОРИСОВНА  
ХУДАЕВ ИБРОХИМ ЖУМАКУЛОВИЧ  
АБДУЛМАЖИДОВХАМЗАТ АРСЛАНБЕКОВИЧ  
КУЙЧИЕВ ОДИЛ РАХИМОВИЧ

ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА РАСЧЁТА  
ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
И МЕЛИОРАТИВНЫХ МАШИН

Учебное пособие

Корректурa и стиль авторов сохранены

**Редактор:**

**Н.Ташходжаева**

*Подписано в печать: 29.10.2020 г. Формат 60x84 - 1/16.*

*Объём: 10,75 п.л.. Тираж: 50 экз. Заказ № 0032.*

*Отпечатано в типографии ТИИМСХ.*

*Ташкент 100000, ул. Кари-Ниязова, 39.*

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**

---

