

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Брянский государственный аграрный университет»

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра технических систем в агробизнесе, природообустройстве  
и дорожном строительстве

**Дьяченко А.В., Орехова Г.В.**

# **Технология автогрейдерных и асфальтобетонных работ**

методические указания для выполнения практических занятий  
и самостоятельной работы  
для обучающихся по направлению подготовки  
23.03.02 – Наземные транспортно-технологические комплексы

Брянская область, 2021

УДК 625.855.3 (076)

ББК 39.3

Д 93

Дьяченко, А. В. Технология автогрейдерных и асфальтобетонных работ: методические указания для выполнения практических занятий и самостоятельной работы для обучающихся по направлению подготовки 23.03.02 – Наземные транспортно-технологические комплексы / А. В. Дьяченко, Г. В. Орехова. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2021. - 113 с.

Методические указания предназначены для выполнения практических занятий и самостоятельной работы по дисциплине «Технология автогрейдерных и асфальтобетонных работ» для обучающихся по направлению подготовки 23.03.02 – Наземные транспортно-технологические комплексы. Целью методических указаний является выполнение практических занятий по дисциплине студентами очной формы обучения, практических занятий и самостоятельной работы студентами заочной формы обучения.

Рецензент: к.э.н., доцент Исаев Х.М.

Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института Брянского государственного аграрного университета, протокол № 1 от 31.08.2021 г.

© Брянский ГАУ, 2021 г.

© Дьяченко А.В., 2021 г.

© Орехова Г.В., 2021 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение	4
<u>Практическая работа №1</u>	6
Определение основных параметров автогрейдера	
<u>Практическая работа №2</u>	14
Тяговый расчет для рабочего и транспортного режима автогрейдера	
<u>Практическая работа №3</u>	18
Расчет гидроцилиндров механизма подъема отвала. Определение мощности гидромотора привода механизма поворота отвала.	
<u>Практическая работа №4</u>	23
Расчет гидроцилиндров управления боковым наклоном колес. Определение производительности автогрейдера и пути ее повышения.	
<u>Практическая работа №5</u>	27
Работы, выполняемые автогрейдером, расчет ведущих машин и ресурсов при возведении земляного полотна.	
<u>Практическая работа №6</u>	38
Расчет конструкции дорожной одежды со слоями из укрепленных грунтов.	
<u>Практическая работа №7</u>	64
Расчет основных параметров асфальтоукладчика. Выбор грузоподъемности и необходимого количества автосамосвалов.	
<u>Практическая работа №8</u>	74
Тяговый расчет асфальтоукладчика. Расчет мощности двигателя асфальтоукладчика.	
<u>Практическая работа №9</u>	84
Расчет объемов работ и потребности в материалах при строительстве дорожных одежд.	
<u>Практическая работа №10</u>	95
Решение технологических задач по производству асфальтобетонных работ.	
Приложения	103
Литература	111

## **ВВЕДЕНИЕ**

Методические указания предназначены для выполнения практических занятий и самостоятельных работ, разработаны согласно рабочей программы дисциплины «Технология автогрейдерных и асфальто-бетонных работ» для направления подготовки 23.03.02 - Наземные транспортно-технологические комплексы, профиль «Машины и оборудование природообустройства и дорожного строительства».

Изучение организационно-технологических процессов дорожного строительства предусмотрено в ряде учебных дисциплин, одной из которых является «Технология автогрейдерных и асфальто-бетонных работ». По учебному плану на эту дисциплину отводятся лекции, практические и лабораторные занятия.

Целью освоения дисциплины «Технология автогрейдерных и асфальто-бетонных работ» является формирование знаний о технологии, назначении, устройстве, принципе действия и основных регулировках средств механизации автогрейдерных и асфальто-бетонных работ.

Выполнение практических занятий и самостоятельных работ по данной дисциплине является неотъемлемым и важным этапом в подготовке бакалавров.

Данные методические указания предназначены для проведения практических занятий со студентами очной формы обучения; оно также может быть использовано для проведения практических занятий и выполнения самостоятельной работы студентами заочной формы обучения.

В методических указаниях представлены 10 практических занятий. Каждая практическая работа содержит вводную информацию, перечень задач, которые студенту необходимо решить, и пример расчета.

Дисциплина раскрывает следующие компетенции:

**ПКС-5.** Способен в составе коллектива исполнителей участвовать в организации производства и эксплуатации наземных транспортно-технологических машин и их технологического оборудования.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать: характер и состав основных автогрейдерных и асфальто-бетонных работ; технологии строительства земляного полотна, оснований и покрытий автомобильных дорог, содержания дорог; технико-экономические показатели работы машин; критерии рационального выбора дорожных машин для проведения автогрейдерных и асфальто-бетонных работ; технологические карты работ и порядок их составления.

Уметь: рассчитывать объемы автогрейдерных и асфальто-бетонных работ и определять потребности в машинах для их выполнения.

Владеть: навыками организации эксплуатации наземных транспортно-технологических машин и их технологического оборудования при выполнении автогрейдерных и асфальто-бетонных работ.

## Практическая работа №1

### **Определение основных параметров автогрейдера**

#### Теоретические сведения

Общее представление о машине обычно складывается по технической характеристике, содержащей основные параметры и сведения о конструктивных и эксплуатационных данных машины.

К основным параметрам и размерам относятся (рис. 1): масса автогрейдера, удельный показатель мощности, высота и длина отвала, скорость движения автогрейдера, дорожный просвет, угол резания ножа отвала, боковой вынос и заглабление отвала, колесная схема.

Масса автогрейдера является главным параметром, которым определяется тип машины. Масса легкого автогрейдера 9 т, среднего 13 т и тяжелого 19 т. В массе автогрейдера не учитывается масса заправочных материалов (топлива, смазки и охлаждающей жидкости).

Удельный показатель мощности определяется отношением мощности двигателя к массе автогрейдера. Удельный показатель мощности составляет 10-14 л. с/т.

Высота отвала  $R$  измеряется хордой, проведенной через режущую кромку ножа и верхний край лобового листа отвала.

Длиной отвала  $L$  называется расстояние, измеренное между двумя торцами. Длина отвала регламентируется без удлинителей, которые устанавливаются при проведении определенных работ автогрейдерами.

Скорости движения автогрейдера должны быть не более 4 км/ч для рабочего режима и не менее 30 км/ч для транспортного режима.

Дорожный просвет  $h_i$  – это расстояние между ровной поверхностью дороги и режущей кромкой отвала, поднятого в транспортное положение.

Угол резания ножа  $\beta$  измеряется между плоскостью, проведенной от режущей кромки ножа касательно к цилиндрической поверхности лобового листа

отвала, и опорной поверхностью автогрейдера. Этот угол регулируется в зависимости от рода выполняемых машиной работ.

Боковой вынос отвала предусматривает величину продольного перемещения отвала от оси симметрии тяговой рамы в обе стороны.

Заглублением отвала называется расстояние по вертикали, измеряемое по режущей кромке ножа в положении, когда отвал находится на опорной поверхности автогрейдера и в положении, максимально опущенном ниже опорной поверхности.

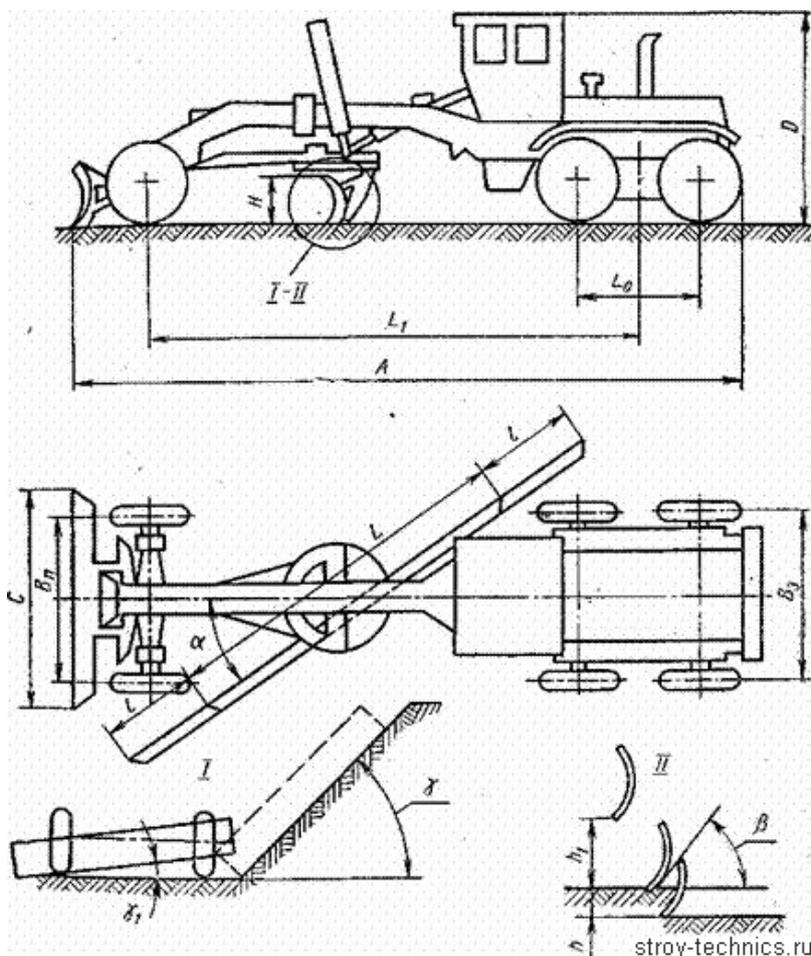


Рисунок 1.1 - Основные параметры и размеры автогрейдера

Колесная схема регламентирует число осей автогрейдера и их назначение.

Углом для срезания откосов  $\gamma$  - называется угол между опорной поверхностью и режущей кромкой отвала, вынесенного за пределы основной рамы и наклоненного так, что один край кромки находится на опорной поверхности, а второй максимально поднят.

Угол наклона отвала аналогичен предыдущему только при симметричном положении отвала относительно продольной оси автогрейдера.

Углом захвата  $\alpha$  - называется угол в плане между отвалом и продольной осью автогрейдера.

Длина, ширина, высота L-B-H – габаритные размеры, охватывающие все выступающие части автогрейдера.

Колея передних и задних колес  $B_п$ ,  $B_з$  представляет собой расстояние между осями левых и правых колес.

Колесная база общая  $L_1$  – расстояние, измеренное вдоль машины между осью передних колес и осью качания балансиров задней тележки.

Колесная база задней тележки  $L_0$  – расстояние, измеренное вдоль машины между осями колес задней тележки.

### Расчетная часть

К главным и основным параметрам автогрейдеров относятся: масса автогрейдера  $m_a$ , удельная мощность  $N_{уд}$ , высота отвала с ножом ( $H_o$ ), длина отвала без удлинителя  $L$ , скорости движения, высота подъема отвала в транспортное положение  $h$ , угол резания  $\beta$ , боковой вынос отвала  $l$ , заглублиение (опускание) отвала ниже опорной поверхности  $h_T$ ; колесная формула; угол для срезания откосов  $\gamma$  между опорной поверхностью и режущей кромкой отвала, вынесенного за пределы основной рамы и наклоненного так, что один край режущей кромки находится на опорной поверхности, а другой максимально поднят ( $\gamma = 0...80^\circ$ ); угол наклона отвала  $\gamma_1$  или угол зарезания, аналогичен  $\gamma$ , но определяется при положении отвала, симметричного оси автогрейдера ( $\gamma_1 = 0...30^\circ$ ); угол захвата  $\alpha$  - угол в плане между режущей кромкой отвала и осью автогрейдера ( $\alpha = 0\pm 90^\circ$ ); при вырезании грунта  $\alpha = 30...40^\circ$ ; при перемещении  $\alpha = 60...75^\circ$ , при планировке  $\alpha = 90^\circ$ .

Сцепная масса и общая масса связаны следующей зависимостью

$$m_{cy} = \psi m_0, \quad (1.1)$$

где  $\lambda_c$  - коэффициент распределения сцепного веса (нагрузки, приходящейся на ведущие колеса),  $\lambda_c = 0,7$  при схеме 1х2х3.

$$m_{cy} = 0,7 \cdot 11000 = 7700 \text{ кг}$$

Максимальную свободную силу тяги автогрейдера можно определить по сцепной массе

$$T_{cy} = m_{cy} \cdot g \cdot \varphi_{cy}, \quad (1.2)$$

где  $\varphi_{cy}$  - коэффициент сцепления при буксовании 18...22%,  $\varphi_{cy} = 0,45...0,55$ .

$$T_{cy} = 7700 \cdot 9,81 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 37,77 \text{ кН}.$$

Мощность двигателя (кВт), необходимая для копания:

$$N = \frac{m_0 \cdot v_\phi \cdot g}{3,6 \cdot \varepsilon \cdot \eta} \cdot \left[ \psi \cdot \varphi_{cy} + (\varphi_{cy} + f) \frac{\delta}{1 - \delta} \cdot \psi + f \right], \quad (1.3)$$

где  $v_\phi$  - фактическая скорость перемещения машины,  $v_\phi = 3,0...4,5$  км/ч;

$\delta$  - коэффициент буксования,  $\delta = 0,18...0,22$ ;

$f$  - коэффициент сопротивления качению, По не укатанному грунту  $f = 0,1...0,15$ ;

$\varepsilon$  - коэффициент, учитывающий уменьшение мощности двигателя в условиях неустановившейся нагрузки: для механической трансмиссии  $\varepsilon = 0,88...0,9$ , гидродинамической  $\varepsilon = 1,0$ ;

$\eta$  - КПД трансмиссии,  $\eta = 0,83...0,86$  для механической трансмиссии и  $\eta = 0,73...0,76$  для гидродинамической.

$$N = \frac{11 \cdot 4 \cdot 9,81}{3,6 \cdot 1 \cdot 0,75} \cdot \left[ 0,7 \cdot 0,5 + (0,5 + 0,1) \frac{0,2}{1 - 0,2} \cdot 0,7 + 0,1 \right] = 88,2 \text{ кВт}.$$

Мощность двигателя, определяемая для транспортного режима

$$N = \frac{m_a \cdot v_{\text{макс}} \cdot g \cdot f}{3,6 \cdot \eta} \quad (1.4)$$

где  $v_{\text{макс}}$  - заданная максимальная скорость движения автогрейдера, составляющая 35...50 км/ч. По укатанному грунтовому покрытию  $f = 0,04...0,045$ .

$$N = \frac{36,7 \cdot 11000 \cdot 9,81 \cdot 0,045}{3,6 \cdot 0,75} \cdot 10^{-3} = 66,0 \text{ кВт}.$$

По большему из полученных из полученных значений мощности подбираем двигатель Д-260.2 / А-01МС / А-01М с мощностью 95,6 кВт.

Длина отвала рассчитывается по формуле:

$$L = (0,7...0,76) \sqrt{m_a} + 1,2), \quad (1.5)$$

где  $m_a$  - масса автогрейдера, т.

$$L = 0,7 \cdot \sqrt{11} + 1,2) = 3,52 \text{ м}.$$

Высота отвала, м:

$$H = 0,2 \cdot L - 0,12 \quad (1.6)$$

$$H = 0,2 \cdot 3,52 - 0,12 = 0,58 \text{ м}$$

Отвалы автогрейдеров изготавливают с радиусом постоянной кривизны (рис. 1.2), величину которого определяют по формуле

$$r = H / (\cos \psi + \cos \beta), \quad (1.7)$$

где  $\beta$  - угол резания, в зависимости от вида работ измеряют в пределах 30...80°. Обычно принимают  $\beta = 30...45^\circ$ ;

$\psi$  - угол опрокидывания,  $\psi = 65...70^\circ$ .

$$r = 0,58 / (\cos 65^\circ + \cos 45^\circ) = 0,51 \text{ м}$$

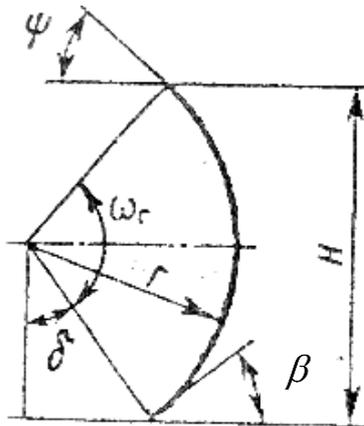


Рисунок 1.2 - Схема отвала автогрейдера

Угол захвата  $\alpha$  в зависимости от выполняемых работ обычно составляет 30...40° при вырезании грунта, 60...75° - при перемещений грунта в сторону и 90° при планировочных работах.

Расстояние от точки крепления тяговой рамы к передней оси до оси вращения отвала определяют из условия полноповоротности отвала. Поэтому минимальный размер базы автогрейдера.

$$L_{0\text{мин}} = 2r_k + \sqrt{L^2 - B_0^2} + 2e, \quad (1.8)$$

где  $r_k$  - радиус колеса автогрейдера, м;

$$r_k = 25,4 \cdot 10^{-3} \cdot (0,5d + (0,8 \dots 0,85)b),$$

где  $d$  - посадочный диаметр диска колеса в дюймах;

$b$  - ширина профиля шины в дюймах.

Для колес размерностью 14,00-20 радиус колеса составит:

$$r_k = 25,4 \cdot 10^{-3} \cdot (0,5 \cdot 20 + 0,85 \cdot 14) = 0,556 \text{ м},$$

где  $e$  - минимальный зазор между колесом и отвалом,  $e = 50$  мм (см. рис. 1.3).

$$L_{0,мин} = 2 \cdot 0,556 + \sqrt{3,52^2 - 2,8^2} + 2 \cdot 0,05 = 3,35 \text{ м}.$$

Минимальная длина колесной базы трехосного автогрейдера должна быть равной:

$$L'_{0,мин} = L_{0,мин} + r_k + \Delta / 2, \quad (1.9)$$

где  $\Delta = 0,05$  м – минимальное расстояние между колесами задней тележки (см. рис. 1.3).

$$L'_{0,мин} = 3,35 + 0,556 + 0,05 / 2 = 3,93 \text{ м}.$$

Колея  $B_0$  ориентировочно может быть определена, по формуле:

$$B_0 = (0,86 \dots 0,87) \sqrt{m_a}. \quad (1.10)$$

$$B_0 = 0,86 \sqrt{11} = 2,8 \text{ м},$$

где  $m_a$  - масса автогрейдера, т.

При одной передней управляемой оси (рис. 1.3 а) радиус поворота колес переднего наружного колеса равен:

$$r_n = L'_0 / \sin \beta_k \quad (1.11)$$

где  $\beta_k$  - угол поворота наружного управляемого колеса. При ведущем переднем мосте  $\beta_k$  до  $25^\circ$ , при не ведущем –  $\beta_k$  до  $45^\circ$ .

$$r_n = 3,93 / \sin 25^\circ = 3,93 / 0,42 = 9,3 \text{ м.}$$

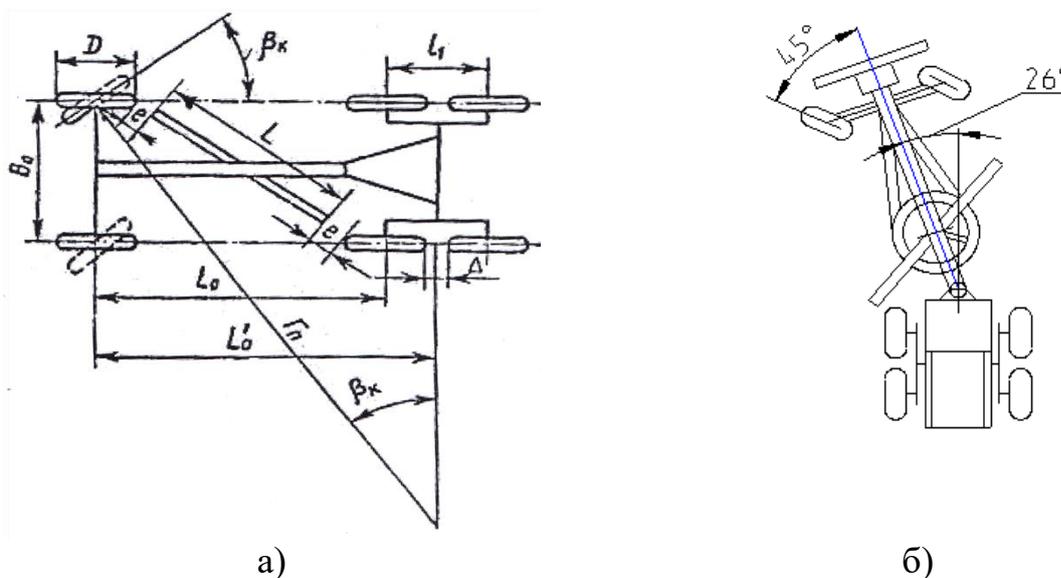


Рисунок 1.3 – Основные геометрические параметры автогрейдера

При шарнирно-сочлененной раме (рис. 1.3 б) радиус поворота колес переднего наружного колеса равен:

$$r_n \approx L'_0 \cdot \cos \beta_{\text{рам}} / \sin(\beta_k + \beta_{\text{рам}}), \quad (1.12)$$

где  $\beta_{\text{рам}} = 15 \dots 30^\circ$  - угол поворота рамы относительно продольной оси.

Размер базы  $L_0$ , колеи  $B_0$  и связанного с ними радиуса поворота автогрейдера (рис. 1.3) выбирают таким, чтобы машина имела меньшие размеры, и можно было маневрировать отвалом. Следует также учитывать, что чем ближе отвал к задней оси автогрейдера, тем лучше его планирующая способность.

## **Тяговый расчет для рабочего и транспортного режима автогрейдера**

### Теоретические сведения

Тяговый расчет автогрейдера на рабочем режиме можно вести двумя методами:

а) по заданным параметрам ножа и характеристике технологического процесса, выполняемого машиной, определяется тяговое усилие, а затем параметры двигателя и масса машины;

б) по заданным параметрам двигателя и массе машины определяется свободная сила тяги, т.е. выявляются возможные технологические режимы работы автогрейдера с отвалами и другими видами сменного рабочего оборудования.

При проведении тягового расчета автогрейдера на рабочем режиме принимаются следующие условия и допущения:

Осуществляется резание и перемещение грунта.

Резание происходит при оптимальных углах установки ножа при работе на горизонтальном участке.

Величина свободной силы тяги на ведущих колесах принимается с учетом перераспределения массы по осям и при оптимальном значении коэффициента сцепления.

Грунты однородные, например, третьей категории.

Режимы резания постоянные.

Состояние режущей кромки ножа соответствует техническим требованиям.

Налипание грунта на рабочую поверхность отвала отсутствует.

### Расчетная часть

Различают два режима работы автогрейдера: рабочий и транспортный. Для первого характерны большие тяговые сопротивления и малые скорости

движения, а для второго при движении с поднятым отвалом - большие скорости движения и сравнительно малые тяговые усилия.

Условия тягового расчета:

- на рабочем режиме

$$T_{cy} \geq W_k ;$$

- на транспортном режиме

$$T_n \geq W_T ,$$

где  $T_{cy}$  - сила тяги автогрейдера ограниченная по сцеплению;

$T_n$  - номинальная сила тяги ограниченная мощностью двигателя.

$W_T$  и  $W_K$  - сопротивления движению автогрейдера соответственно на транспортном и рабочем режиме.

$$W_K = W_P + W_{IP} = W_{TP} + W'_{TP} + W_{II} .$$

Сопротивление грунта резанию

$$W_P = K_{yd} \cdot F_c , \quad (2.1)$$

где  $F_c$  - площадь вырезаемой стружки;

$K_{yd}$  - удельное сопротивление грунта резанию; величина  $K_{yd}$  при оптимальных значениях углов резания и захвата зависит от физико-механических свойств грунта и находится в пределах 80...250 кН/м<sup>2</sup>

$$F_c = \frac{L \cdot h \cdot \sin \alpha}{4 \cdot \cos \beta} , \quad (2.2)$$

где  $\alpha$  - угол захвата ножа;

$L$  - длина отвала;

$h$  - наибольшая глубина резания;

$\beta$  - угол наклона ножа в вертикальной плоскости, нормальной к продольной оси машины.

$$F_c = \frac{3,52 \cdot 0,1 \cdot \sin 45}{4 \cdot \cos 35} = 0,076 \text{ м}^2 .$$

$$W_p = 160 \cdot 0,076 = 12,16 \text{ кН} .$$

Сопротивление перемещению призмы волочения

$$W_{np} = \mu_2 \cdot G_{np} \cdot \sin \alpha , \quad (2.3)$$

где  $\mu_2$  - коэффициент трения грунта о грунт,  $\mu_2=0,5...1,0$ ;

$G_{np}$  - сила тяжести призмы волочения.

$$G_{np} = \frac{H^2 \cdot L \cdot g \cdot k_{II}}{2 \cdot \operatorname{tg} \rho} , \quad (2.4)$$

где  $k_{II}$  - коэффициент, учитывающий форму призмы волочения в зависимости от угла резания, скорости движения и свойств грунта, принимается примерно равной 2;

$\rho$  - угол естественного откоса грунта,  $\rho=20...40^\circ$ .

$$G_{np} = \frac{0,58^2 \cdot 3,52 \cdot 9,81 \cdot 2}{2 \cdot \operatorname{tg} 40^\circ} = 13,85 \text{ кН} .$$

$$W_{np} = 0,75 \cdot 13,85 \cdot \sin 45^\circ = 7,34 \text{ кН} .$$

Сопротивление перемещению грунта вверх по отвалу

$$W_{TP} = \mu_1 \cdot G_{np} \cdot \sin \alpha \cdot \cos^2 \beta , \quad (2.5)$$

где  $\mu_1$  - коэффициент трения по металлу,  $\mu_1 = 0,35...0,8$ .

$$W_{TP} = 0,5 \cdot 13 \cdot \sin 45 \cdot \cos^2 35 = 3,08 \text{ кН}$$

Сопротивление перемещению грунта вдоль по отвалу

$$W'_{TP} = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot G_{np} \cdot \cos \alpha , \quad (2.6)$$

$$W'_{TP} = 0,5 \cdot 0,75 \cdot 13 \cdot \cos 45^\circ = 3,45 \text{ кН} .$$

Сопротивление перемещению автогрейдера

$$W_{II} = m_a \cdot g \cdot (f \pm i), \quad (2.7)$$

где  $i$  - уклон пути, %.

На горизонтальном участке ( $i=0$ ) сопротивление перемещению составит

$$W_{II} = 11 \cdot 9,81 \cdot 0,1 = 10,79 \text{ кН} .$$

Таким образом, итоговое сопротивление в рабочем режиме

$$W_k = 12,16 + 7,34 + 3,08 + 3,45 + 10,79 = 36,82 \text{ кН} .$$

Условие тягового расчета в рабочем режиме выполняется.

Сопротивление передвижению автогрейдера в транспортном режиме

$$W_T = m_a \cdot g \cdot f . \quad (2.8)$$

По укатанному грунтовому покрытию  $f = 0,04 \dots 0,045$ .

$$W_T = 11 \cdot 9,81 \cdot 0,045 = 4,86 \text{ кН} .$$

Номинальное тяговое усилие в транспортном режиме

$$T_H = \frac{3,6 \cdot N \cdot \eta}{v_T}, \quad (2.9)$$

где  $N = 95,6 \text{ кВт}$  - номинальная мощность двигателя;

$\eta$  - КПД трансмиссии,  $\eta = 0,83 \dots 0,86$  для механической трансмиссии

и  $\eta = 0,73 \dots 0,76$  для гидродинамической;

$v_T = 36,7 \text{ км/ч}$  - транспортная скорость, принятые ранее.

$$T_H = \frac{3,6 \cdot 95,6 \cdot 0,75}{36,7} = 7,03 \text{ кН} .$$

Условие тягового расчета в транспортном режиме выполняется.

## **Расчет гидроцилиндров механизма подъема отвала.**

### **Определение мощности гидромотора привода механизма поворота отвала**

#### Теоретические сведения

Порядок расчета рабочих механизмов автогрейдера сводится к следующему: выбирается тип привода управления; составляется его ориентировочная кинематическая схема; в соответствии с расчетными: положениями вычерчиваются в масштабе механизмы и приводы управления ими; находятся усилия, действующие на каждый механизм; выбираются исполнительные скорости движения; определяют мощность привода каждого механизма, его общее передаточное число; оцениваются возможности совмещения операций при управлении машиной и устанавливается общая (суммарная) мощность привода управления; уточняется кинематическая схема.

Механизм подъема отвала рассчитывается исходя из таких предпосылок. Рабочий ход механизма подъема должен обеспечить заданную глубину копания, возможность полного выглубления отвала и удовлетворять условиям проходимости автогрейдера в транспортном положении. Величину подъемного усилия определяют для самого невыгодного положения, при котором отвал заглублен одной стороной, на него действует максимальная горизонтальная реакция грунта, а угол захвата равен 90 градусов. Принимаем что сила тяжести отвала, и тяговой рамы сосредоточены в центре тяжести системы, вертикальная составляющая грунта направлена вниз и препятствует выглублению отвала.

Механизм поворота отвала рассчитывается для двух положений. В первом из них отвал выглублен и максимально смещен от оси вращения, автогрейдер расположен на максимальном поперечном уклоне  $\alpha_{\text{макс}}$ .

## Расчетная часть

Все усилия, перечисленные выше, преодолеваются одним подъемным механизмом (гидроцилиндром), усилие в котором определяют, пользуясь расчетной схемой на рис. 3.1.

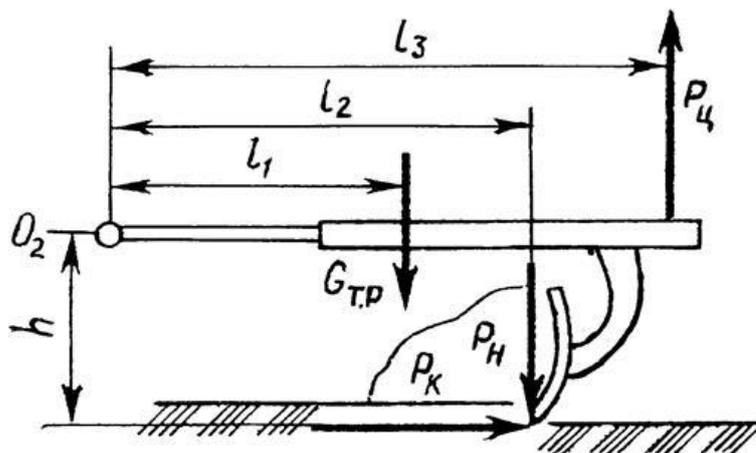


Рисунок 3.1 - Схема для определения усилий подъема отвала автогрейдера

$$P_{ц} = (G_{T.P.} \cdot l_1 + P_H \cdot l_2 - P_K \cdot h) / l_3 \quad (3.1)$$

где  $G_{T.P.}$  - сила тяжести тяговой рамы, и отвала;

$$P_K = T_{цц}$$

$$P_H = (0,3 \dots 0,5) T_{цц}$$

$$G_{T.P.} = 0,11G = 10780H$$

$$P_{ц} = (10780 \cdot 1520 + 0,3 \cdot 2100 - 37800 \cdot 1025) / 2691 = 540H$$

Положение центра тяжести поднимаемого оборудования принимается ориентировочно на расстоянии  $l_1 = (0,75 \dots 0,85)l_2$ , сила тяжести  $G_{T.P.}$  берется по прототипу. Усилие  $P_{ц}$  должен развивать каждый из двух механизмов подъема отвала. Механизм подъема должен обеспечивать также усилие заглубления  $P'_{ц}$  достаточное для того чтобы приподнять передние колеса автогрейдера над опорной поверхностью.

$$P'_{ц} = \frac{m_a \cdot g \cdot a - G_{T.P.} \cdot b}{c} \quad (3.2)$$

где  $a, b, c$  - соответственно расстояния от центра тяжести автогрейдера, центра тяговой рамы и отвала и точки приложения силы  $P'_{ц}$  до оси заднего колеса для двухосного и до оси качения балансирующей тележки для трехосного автогрейдера.

$$P'_{ц} = \frac{11000 \cdot 9,81 \cdot 1950 - 10780 \cdot 4950}{3825} = 41062 \text{ Н}$$

Привод рассчитывается по большему из вычисленных усилий, причем усилие  $P'_{ц}$  обеспечивается обоими механизмами (гидроцилиндрами) подъема.

Мощность привода механизма  $N_{п}$  (кВт) находится по формуле:

$$N_{п} = P_{ц} \cdot v_{п} / \eta \quad (3.3)$$

Скорость подъема отвала  $v_{п}$  принимается равной 0,09...0,18 м/с.

$$N_{п} = 41062 \cdot 0,09 / 90 = 39 \text{ кВт}$$

При повороте преодолеваются моменты сопротивления, определяемые трением, в направляющих, подъемом вращающихся деталей, инерцией при трогании с места. Расчетная схема дана на рис. 3.2.

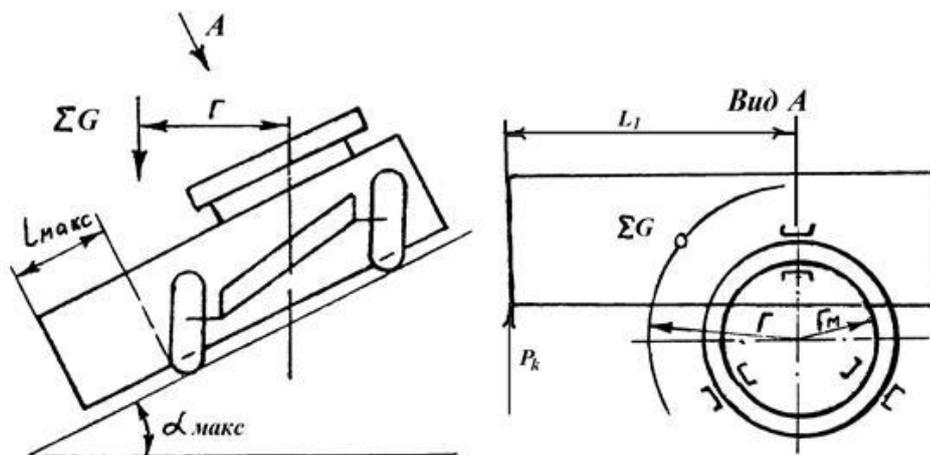


Рисунок 3.2 - Схема для расчета механизма поворота отвала автогрейдера

Момент сопротивления повороту (кН·м) вычисляется так:

$$M_{нов} = \sum GM r_m + \sum Gr \sin \alpha_{макс} + J\varpi / t_p \quad (3.4)$$

где  $\sum G$  - сила тяжести вращающихся частей;

$M$  - коэффициент трения металла по металлу,  $M - 0,1...2$ ;

$J$  - суммарный момент инерции вращающихся частей относительно оси

поворота,  $J = \frac{\sum G}{g} \cdot r^2$

$$J = \frac{10780}{9,81} \cdot 1800^2 = 3560366972 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$r$  - расстояние от центра тяжести вращающихся частей до оси поворота;

$t_p$  - время разгона,  $t_p = 1...2$  с,

$\varpi$  - угловая скорость поворота,  $\varpi = 2v_{нов} / B$

где  $v_{нов}$  - скорость поворота отвала при механическом приводе равная 0,03...0,1, при гидравлическом - 0,03...0,06 м/с.

$$M_{нов} = 10780 \cdot 0,15 \cdot 660 + 10780 \cdot 1800 \cdot \sin 15 + (3560366972 \cdot \frac{2 \cdot 0,03}{3730}) / 2 = 6117980 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Во втором расчетном положении отвал располагается горизонтально и поворот осуществляется, когда уже образована призма волочения. Момент поворота в этом случае

$$M_{нов} = \sum GM r_m + \sum G_{III} \frac{B}{4} \text{tg} \rho + J\varpi / t_p \quad (3.5)$$

$$M_{\text{пов}} = 10780 \cdot 0,15 \cdot 660 + 13 \cdot \frac{3730}{4} \cdot \text{tg} 40 + (3560366972 \cdot \frac{2 \cdot 0,03}{3730}) = 110402,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Большее из полученных значений момента сопротивления повороту принимается, для расчета мощности привода механизма поворота по формуле

$$N_{\text{п}} = M \cdot \omega / \eta \quad (3.6)$$

Исходя из значений  $\omega$  и частоты вращения вала выбранного двигателя определяет общее передаточное число механизма поворота, после чего устанавливают передаточные числа для отдельных кинематических звеньев.

При расчете поворотного механизма на прочность полагают, что отвал вынесен в сторону и к его концу приложена максимально возможная сила  $P_K = W_{P1}$ . Тогда с учетом; коэффициента динамичности  $K_{\delta} = 1,2$  момент на поворотном круге находят по формуле:

$$M_{\text{пов}} = K_{\delta} \cdot P_K \cdot l_1 = K_{\delta} \cdot K \cdot F_C \cdot \sin \lambda \cdot l_1 \quad (3.7)$$

где  $l_1$  - расстояние от конца отвала до центра поворота круга.

$$M_{\text{пов}} = 1,2 \cdot 24160 \cdot 90 = 2609280 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Механизм выдвижения отвала рассчитывают по усилию, равному силе тяги отвала. Скорость выдвижения отвала для гидравлического привода считают равной 0,06...0,1 м/с.

**Расчет гидроцилиндров управления боковым наклоном колес.**

**Определение производительности автогрейдера и пути ее повышения**

Теоретические сведения

При работе автогрейдера на косогоре и при планировании откосов, насыпей необходим такой наклон колес, который придает машине большую устойчивость. Механизм наклона колес позволяет изменять угол наклона колес  $\alpha$  к нормам в пределах  $0...30^\circ$ .

Наклон колес осуществляется за счет действия веса машины, а выведение колес из наклонного положения в вертикальное производится гидроцилиндрами.

Производительность является важнейшей выходной характеристикой машины. Ее определяют количеством продукции, произведенной машиной в единицу времени. Различают расчетную (теоретическая или конструктивная), техническую и эксплуатационную производительность. Под расчетной (теоретической, конструктивной) производительностью понимают производительность за 1 ч непрерывной работы при расчетных скоростях рабочих движений, расчетных нагрузках на рабочем органе и расчетных условиях работы. Теоретическую производительность рассчитывают на стадии разработки конструкторской документации на машину, используя для этого нормативные значения расчетных параметров и расчетных условий. Под технической производительностью понимают максимально возможную в данных производственных условиях производительность при непрерывной работе машины. Под эксплуатационной производительностью понимают фактическую производительность машины в данных производственных условиях с учетом ее простоев и неполного использования ее технологических возможностей.

Расчетная часть

Усилие в гидроцилиндре  $P_H$  может быть определено из условия равенства работ: совершаемой гидроцилиндром: на пути  $l$  перемещения штока и затрачиваемой на подъем веса проходящегося на переднюю ось (рис. 4.1).

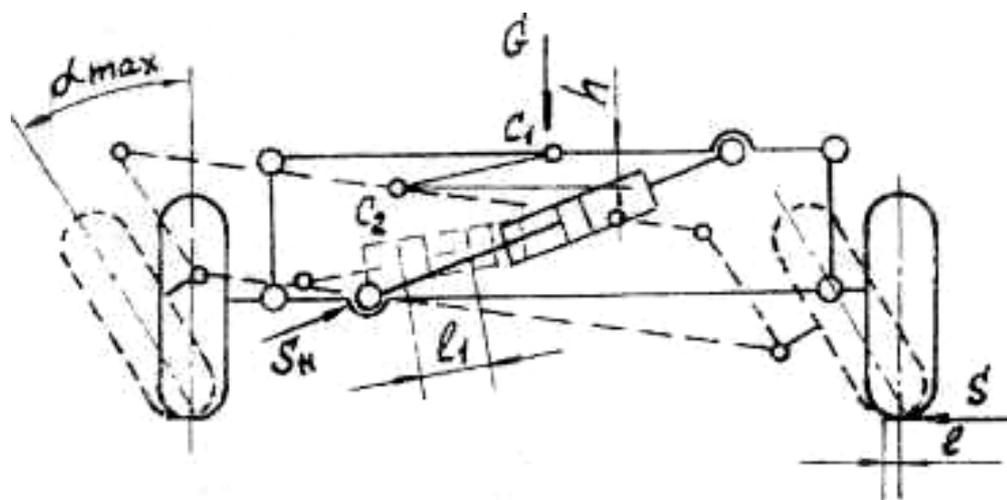


Рисунок 4.1 - Схема определений усилий в гидроциindre управления наклоном передних колес автогрейдера

$$P_H \cdot l = G_{II} \cdot h$$

где  $l=0,1\text{ м}$  - длина хода штока;

$$h = r_K \cdot (1 - \cos \alpha_{\max});$$

где  $r_K=0,556\text{ м}$  - радиус колеса;

$G_{II}$  - часть веса, приходящаяся на передние колеса. При схеме 1x2x3

$$G_{II} = 0,3 \cdot m_a \cdot g = 0,3 \cdot 11000 \cdot 9,81 = 33062 \text{ кН}.$$

$$P_H = \frac{G_{II} \cdot r_K (1 - \cos \alpha_{\max})}{l} \quad (4.1)$$

$$P_H = \frac{33062 \cdot 0,556 \cdot (1 - \cos 30^0)}{0,1} = 24628 \text{ Н}$$

*Производительность.*

Производительность грейдера зависит от вида производимых работ, состояния грунта, организации и использования времени работы, квалификации машиниста и других факторов.

При профилировании земляного полотна и гравийных дорог, планировке обочин, патрульной очистке дорог техническую производительность грейдера определяют по протяженности участка земляного полотна или дороги, сооружаемой за час работы, и выражают в км/ч следующей зависимостью:

$$P_T = L/T_{\text{ц}}, \quad (4.2)$$

где  $L$  - длина захватки, км. Примем  $L = 800 \text{ м} = 0,8 \text{ км}$ ;

$T_{\text{ц}}$  - время, затрачиваемое на сооружение этого участка дороги, ч.

$$P_T = L/T_{\text{ц}} = 0,8/4,56 = 0,18 \text{ км/ч}.$$

Время  $T_{\text{ц}}$  в свою очередь, определяют из выражения

$$T_{\text{ц}} = n_1 L/v_1 + n_2 L/v_2 + (n_1 + n_2) \cdot t_p \cdot 1/3600,$$

где  $n_1$  - число проходов при резании грунта ( $n_1 = 10 \dots 16$ );

$n_2$  - число проходов при перемещении грунта ( $n_2 = 10 \dots 16$ );

$t_p$  - время, необходимое для разворота грейдера на концах участка

( $t_p = 20 \dots 25 \text{ с}$ );

$v_1$  - скорость движения грейдера при резании грунта,  $v_1 = 3,0 \text{ км/ч}$ ;

$v_2$  - скорость движения грейдера при перемещении грунта,  $v_2 = 4,5 \text{ км/ч}$ ;

$1/3600$  - переводной коэффициент, позволяющий получать из этой формулы время, выраженное в часах.

$$T_{\text{ц}} = 10 \cdot 0,8/3 + 10 \cdot 0,8/4,5 + (10 + 10) \cdot 20 \cdot 1/3600 = 4,56 \text{ ч}.$$

При возведении насыпей, разработке выемок, устройстве дорожных осно-

ваний и выполнении других больших объемов работ техническую производительность определяют кубическими метрами грунта, перемещаемого за час работы ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ):

$$P_T = 1000 \cdot F \cdot L / (L/v_p + t_p/3600), \quad (4.3)$$

где  $F$  - площадь сечения стружки, срезанной за один проход,  $\text{м}^2$   
(0,05...0,09  $\text{м}^2$ );

$L$  - длина захватки, км;

$v_p$  - средняя рабочая скорость грейдера,  $v_p = 4,0$  км/ч.

$$P_T = 1000 \cdot 0,07 \cdot 0,8 / (0,8/4 + 20/3600) = 272,4 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Сменная эксплуатационная производительность грейдера ( $\text{м}^3/\text{смен}$ ):

$$P_{\text{э}} = P_T \cdot T \cdot K_B, \quad (4.4)$$

где  $T$  – часы работы с смену с учетом техобслуживания машины, отдыха машиниста, равное 6,82 ч;

$K_B$  – коэффициент использования машины по времени (0,85 ... 0,95).

$$P_{\text{э}} = 272,4 \cdot 6,82 \cdot 0,9 = 1672,2 \text{ м}^3 / \text{смен}.$$

К методам повышения производительности грейдера можно отнести следующие: повышение коэффициента использования машины по времени путем уменьшения простоев, обеспечения высокой готовности машины и других положений научной организации труда; увеличение длины захватки, что позволяет сократить непроизводительные затраты времени на развороты; повышение рабочей скорости грейдера; снижение числа проходов за счет выбора наилучших сочетаний углов установки отвала, максимального его заглубления.

**Работы, выполняемые автогрейдером, расчет ведущих машин и ресурсов  
при возведении земляного полотна**

Теоретические сведения

Для возведения земляного полотна автомобильной дороги используют машины для земляных работ: автогрейдеры, бульдозеры, скреперы, экскаваторы. Выбор ведущего типа машины зависит от высоты насыпи, глубины выемки, типа грунта и дальности его перемещения. Землеройно-транспортными называют машины с ножевым рабочим органом, выполняющие одновременно послойное отделение грунта от массива и его перемещение к месту укладки при своем поступательном движении.

Автогрейдер представляет собой самоходную планировочно-профилировочную машину, основным рабочим органом которой служит полноповоротный отвал криволинейного профиля с механическим или гидравлическим управлением, с ножами, размещенным между передним и задним мостами пневмоколесного ходового оборудования.

Ходовая часть автогрейдера состоит из четырех приводных задних колес, попарно объединенных с каждой стороны машины балансирными балками, шарнирно соединенными с подрамником, и из двух колес с приводным или не приводным управлением.

Отвал соединен с тяговой рамой через поворотный круг, который обеспечивает его вращение в плане на  $360^\circ$ . Механизм выноса отвала обеспечивает его установку в плане и в вертикальной плоскости под различными углами.

Автогрейдер ДЗ-122 является базовой моделью семейства автогрейдеров среднего типа, ДЗ-98 - тяжелого типа.

Автогрейдеры применяют:

- для планировки верха и откосов дорожного полотна;
- послойной разработки и перемещения на расстояние до 100 м грунтов I-

III категорий при планировочных и профилировочных работах на строительстве дорожного полотна;

- сооружения невысоких насыпей и профильных выемок;
- засыпки траншей, канав;
- очистки дорог от снега в зимнее время года;
- срезки недобора в выемке;
- устройства присыпных обочин, на которых помимо работ автогрейдера

выполняются следующие работы: разработка грунта экскаватором с погрузкой в автосамосвалы, разравнивание грунта, поливка водой, уплотнение самоходными катками на пневмошинах.

При выполнении планировочных работ автогрейдером нож устанавливается с углом захвата 60-90°, углом резания до 50° при минимальном угле наклона. Разравнивание производят продольными круговыми проходами, начиная от краев, постепенно приближаясь к середине.

#### Расчетная часть

Ширина подошвы дорожной одежды определяется по формуле:

$$B'' = B + 2 \cdot h \cdot m = 13 + 2 \cdot 0,43 \cdot 1,5 = 14,29 \text{ м}, \quad (5.1)$$

где  $B$  - ширина дорожного полотна, м;

$h$  - толщина дорожной одежды равная 43 см, включающая (например):

- верхний слой покрытия - 7 см;
- нижний слой покрытия - 8 см;
- верхний слой основания - 12 см;
- нижний слой основания - 16 см.

Площадь планировки верха дорожного полотна определяется из выражения:

$$F_{\text{дор.пл}} = B'' \cdot L_{\text{уч}} = 14,29 \cdot 1000 = 14290 \text{ м}^2, \quad (5.2)$$

где  $L_{\text{уч}}$  - длина участка, м.

Определяем длину откоса

$$L_{\text{откос}} = \sqrt{H^2 + (1,5 \cdot H)^2} = \sqrt{2,57^2 + (1,5 \cdot 2,57)^2} = 4,63 \text{ м.}$$

где Н - высота насыпи без дорожной одежды, определяемая по формуле:

$$H = H' - h = 3,0 - 0,43 = 2,57 \text{ м.} \quad (5.3)$$

Определяем площадь планировки откоса:

$$F_{\text{откос}} = 2 \cdot L_{\text{откоса}} \cdot L_{\text{уч}} = 2 \cdot 4,63 \cdot 1000 = 9260 \text{ м}^2. \quad (5.4)$$

Определяем суммарную площадь планировки дорожного полотна:

$$F_{\Sigma} = F_{\text{дор.пл}} + F_{\text{откос}} = 14290 + 9260 = 23550 \text{ м}^2. \quad (5.5)$$

Расчет ресурсов ведется на единицу измерения равную 1000 м<sup>2</sup>. Следовательно, для расчета принимается 23,55 (1000 м<sup>2</sup>). Расчет ведется в табличной форме (табл. 5.1).

Определяем количество автогрейдеров, необходимых для планировочных работ:

$$N_{\text{МАШ}} = \frac{\text{Треб. маш. - ч (чел. - ч)}}{N_{\text{смен}} \cdot T} = \frac{9,7}{1 \cdot 8} = 1,2 \approx 2 \text{ экскаватора.} \quad (5.6)$$

где *Треб, маш.-ч (чел.-ч)* - значение из табл. 5.1;

*N<sub>смен</sub>* - количество смен для выполнения данного объема работ;

*T* - продолжительность смены, принимают равной 8 ч.

Определяем норму времени и требуемое количество автогрейдеров, экскаваторов и катков, необходимых для устройства присыпных обочин.

При устройстве присыпных обочин выполняются следующие виды работ:

- разработка грунта экскаватором с погрузкой на автомобили-самосвалы;
- планировка поверхности забоя и земляного полотна забойной дороги бульдозером;
- содержание забойной дороги;
- вспомогательные работы, выполняемые вручную, связанные с устройством водоотводных канав, с переходом экскаватора из забоя в забой.

Таблица 5.1 – Расчет ресурсов по возведению земляного полотна (работы по планировке и устройству присыпных обочин)

№ п/п	Наименование производственных процессов	Объем работ		Источник норм	Рабочая сила			Бульдозер (79 кВт)		
		Ед. изм	Кол-во		Н. вр. чел.-ч	Треб. чел.-ч	Треб. чел.-ч	Н. вр. маш.-ч	Треб. маш.-ч	Треб. маш.-ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Планировка верха и откосов земляного полотна	1000 м <sup>2</sup>	23,55	Е 1-87-6						
2	Итого									
Работа выполняется за 1 смену										
3	Устройство присыпных обочин: разработка грунта 2-й гр. экскаватором вместимостью ковша 0,65 м <sup>3</sup> с погрузкой в автосамосвалы	1000 м <sup>3</sup>	2,86	Е 1-17-8	16,73	47,9		12,12	34,66	
4	Итого									
Работа выполняется за 7 смен										
5	Разравнивание грунта 2-й группы	1000 м <sup>2</sup>	6,8	Е 1-145-12	47,43	322,6				
6	Поливка водой	1000 м <sup>3</sup>	1,298	Е 1-135-1	20,74	26,9				
7	Уплотнение грунта самоходными катками на пневмошинах	1000 м <sup>3</sup>	1,298	Е 2-1-31						
8	Итого					397,4	7,1 (8)		34,66	0,6 (1)

Продолжение таблицы 5.1

№ п/п	Требуемые ресурсы																		
	Трактор (108 л.с.)			Грейдер прицепной			Авто	Экскаватор (0,65 м <sup>3</sup> )			Автогрейдер средний (99 кВт)			Поливомоечная машина			Самоход пневмокаток (16 т)		
	Н. вр. маш.-ч	Тр. маш.-ч	Тр. маш.	Н. вр. маш.-ч	Тр. маш.-ч	Тр. маш.	Тр. маш.	Н. вр. маш.-ч	Тр. маш.-ч	Тр. маш.	Н. вр. маш.-ч	Тр. маш.-ч	Тр. маш.	Н. вр. маш.-ч	Тр. маш.-ч	Тр. маш.	Н. вр. маш.-ч	Тр. маш.-ч	Тр. маш.
1	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0,41	9,7		0,41	9,7														
2		9,7	1,2 (2)		9,7	1,2 (2)													
Работа выполняется за 1 смену																			
3							8	36,38	104,1										
4							8		104,1	1,86 (2)									
Работа выполняется за 7 смен																			
5											2,45	16,7							
6														20,74	26,9				
7																	29,4	38,2	
8		9,7	1,2 (2)		9,7	1,2 (2)	8		104,1	1,8 (2)		16,7	0,3 (1)		26,9	0,5 (1)		38,2	0,7 (1)

Определяем объем присыпных обочин:

$$\begin{aligned} V_{\text{по}} &= 2 \cdot L_{\text{уч}} (b \cdot h + 0,5 \cdot 1,5 \cdot h^2) = \\ &= 2 \cdot 1000(3 \cdot 0,43 + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 0,432) = 2857 \text{ м}^3, \end{aligned} \quad (5.7)$$

где 2 - количество обочин с обеих сторон дороги;

$L_{\text{уч}}$  - длина участка строительства;

$b$  - ширина обочины, в зависимости от категории дороги.

Для II категории ширина обочины равна 3 м;

$h$  - толщина дорожной одежды, принимается из задания как суммарная величина до слоя песка;

1,5- заложение откоса.

Учитывая единицы измерения равные  $1000 \text{ м}^3$ , получаем 2,86 ( $1000 \text{ м}^3$ ).

Результат заносим в табл. 5.1.

Определяем производительность экскаватора:

$$P_{\text{э}} = \frac{1000 \cdot T}{H_{\text{вр}}} = \frac{1000 \cdot 8}{36,38} = 219,9 \text{ м}^3/\text{смену}. \quad (5.8)$$

Определяем количество смен для выполнения всего объема работ одним экскаватором:

$$N_{\text{смен}} = \frac{V}{P_{\text{э}}} = \frac{2857}{219,9} = 13 \text{ смен}. \quad (5.9)$$

Следовательно, объем экскаваторных работ при устройстве присыпных обочин может быть выполнен одним экскаватором с емкостью ковша 0,65 м за 13 смен. Аналогично принятым сменам работы ведущих машин принимают количество смен работы экскаваторов равное 7 сменам. Заполняем табл. 5.1.

Определяем количество экскаваторов, работающих на присыпных обочинах:

$$N_{\text{МАШ}} = \frac{\text{Треб. маш. - ч (чел. - ч)}}{N_{\text{смен}} \cdot T} = \frac{104,1}{7 \cdot 8} = 1,9 \approx 2 \text{ экскаватора.}$$

где *Треб, маш.-ч (чел.-ч)* - цифра по табл. 5.1;

$N_{\text{смен}}$  - количество смен для выполнения данного объема работ,  
принимая равным 7 сменам;

$T$  - продолжительность смены, принимают равной 8 ч.

Определяем количество автомобилей-самосвалов, необходимых для обеспечения работы экскаватора. Определяем производительность автосамосвала:

$$P_a = \frac{K_{\Pi} \cdot v \cdot T \cdot Q \cdot K_{\Gamma} \cdot K_B}{(L_{\Pi.\Gamma} + t \cdot v \cdot K_{\Pi}) \cdot \rho_{\text{СР}}} = \frac{0,5 \cdot 25 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 0,87}{(3 + 0,25 \cdot 25 \cdot 0,5) \cdot 1,5} = 66,27 \text{ м}^3/\text{смену. (5.10)}$$

где  $K_{\Pi}$  - коэффициент использования пробега,  $K_{\Pi} = 0,5$ ;

$v$  - скорость движения автомобиля, км/ч,  $v = 25$  км/ч;

$T$  - продолжительность смены,  $T = 8$  ч;

$Q$  – грузоподъемность автомобиля, принимаем в соответствии с заданием;

$K_{\Gamma}$  - коэффициент использования грузоподъемности, изменяется от 0,4 (при перевозке опилок, торфа) до 1,0 (при перевозке щебня, гравия, песка), принимаем  $K_{\Gamma} = 1,0$ ;

$K_B$  - коэффициент использования рабочего времени,  $K_B = 0,87$ ;

$L_{\Pi.\Gamma}$  - расстояние пробега, принимаем в соответствии с заданием;

$t$  - продолжительность простоя автомобиля под погрузкой и разгрузкой за одну поездку, ч;

$$t = 12 \text{ (погрузка)} + 3 \text{ (разгрузка)} = 15 \text{ мин} = 0,25 \text{ ч};$$

$\rho_{\text{ср}}$  - плотность грунта в рыхлом сложении (насыпная).

Определяем количество автосамосвалов, потребное для обеспечения работы экскаватора:

$$N = \frac{П_{э}}{П_{а}} = \frac{219,9}{66,27} = 3,3 \approx 4 \text{ автомобиля на 1 экскаватор.}$$

В данном случае грунт для присыпных обочин разрабатывают 2 экскаватора. Следовательно, количество автомобилей:

$$N_{\text{авт}} = N_{\text{экскав}} \cdot N = 2 \cdot 4 = 8 \text{ автомобилей.}$$

Результат расчета заносят в табл. 5.1.

Определяем количество автогрейдеров, необходимых для разравнивания грунта, доставленного из сосредоточенного карьера.

Учитывая, что работы по разравниванию грунта измеряются в м, определяем площадь присыпной обочины:

$$F_{\text{п.о}} = \frac{V_{\text{п.о}}}{h_{\text{д.о}}} = \frac{2857}{0,43} = 6876,8 \approx 6,9 \text{ тыс.м}^2. \quad (5.11)$$

где  $V_{\text{п.о}}$  - объем грунта для присыпных обочин;

$h_{\text{д.о}}$  - толщина дорожной одежды, принимается согласно исходным данным, м.

Результаты расчета вносят в табл. 5.1.

Определяем количество поливомоечных машин, необходимых для увлажнения грунта до оптимального состояния. Выбор нормы расхода времени производят согласно расценки Е 1-135-1.

Определяем объем увлажняемого грунта с учетом коэффициента уплотнения:

$$V_{\text{ув.грунта}} = \frac{V_{\text{п.о}}}{1,1 \cdot 2} = \frac{2857}{1,1 \cdot 2} = 1297 \text{ м}^3. \quad (5.12)$$

где  $V_{\text{п.о}}$  - объем присыпной обочины;

1,1 - коэффициент уплотнения;

2 - уплотнение половины объема грунта присыпной обочины.

Учитывая, что объем работ принимается в единицах 100 м, определяют количество единиц, равное 1,297.

Определяем требуемый расход нормы времени для работы поливомоечной машины:

$$N_{\text{вр}} \cdot V_{\text{ув. грунта}} = 20,74 \cdot 1,297 = 26,9 \text{ (чел.-ч и маш.-ч).}$$

Определяем норму времени на уплотнение грунта самоходным катком на пневматических шинах марок ДУ-31А (масса 16 т) и ДУ 29 (масса 30 т). Ширина уплотняемой полосы этих катков составляет соответственно 1,9 и 2,22 м, толщина уплотняемого слоя до 0,35 м - ДУ-31 А, и до 0,4 м - ДУ-29.

По «Единым нормам и расценкам на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы». Сб. 2. «Земляные работы». Вып. 1. «Механизированные и ручные земляные работы» (ЕНиР) принимают Е 2-1-31 «Уплотнение грунта самоходными катками».

По табл. 2 ЕНиР принимают норму времени (на 100 м<sup>3</sup>) на уплотнение грунта толщиной от 0,2 до 0,3 м при четырех проходах по одному следу и длине гона свыше 200 м равную 0,26. Принимают длину гона равную 250 м.

Учитывая, что количество проходов по одному следу составляет 8, добавляют из этой же таблицы дополнительно норму времени равную 0,04 на каждый проход сверх первых четырех. Таким образом, общая норма времени составит:

$$0,26 + (0,04 \cdot 4) = 0,42.$$

Определяем количество гонов на строящемся участке. Длина участка принимается согласно исходным данным. Делят на длину гона и получают количество гонов:

$$1000 : 250 = 4 \text{ гона.}$$

Определяем норму времени с учетом числа полос прохода катка по дорожному полотну. Для II категории ширина дорожного полотна составляет 13 м. Ширину уплотняемой полосы с учетом нахлеста принимают равной 2,0 м., следовательно, количество полос будет составлять:

$$13 : 2 = 7 \text{ проходов.}$$

Умножаем норму времени на число проходов

$$0,42 \cdot 7 = 2,94.$$

Рассчитанная норма времени соответствует единице равной  $100 \text{ м}^3$ . Расчет ресурсов производится на  $1000 \text{ м}^3$ . Следовательно, полученную норму времени переводят в единицы равные  $1000 \text{ м}^3$ . В этом случае норма времени будет равна:

$$2,94 \cdot 10 = 29,4.$$

Полученную норму времени записываем в табл. 5.1.

Определяем требуемое количество маш.-ч на уплотнении грунта:

$$N_{\text{вр}} \cdot V_{\text{ув. грунта}} = 29,4 \cdot 1,297 = 38,2 \text{ маш.-ч.} \quad (5.13)$$

Определяем количество автогрейдеров и катков, занятых на выполнении работ по устройству присыпных обочин. По каждой машине, а также рабочей силе определяется суммарный показатель требуемой нормы времени (заполняют последнюю строку «итога»). На основании полученных данных определяют количество людей, занятых на планировочных работах, по формуле:

$$N_{\text{МАШ}} = \frac{\text{Треб. маш. - ч (чел. - ч)}}{N_{\text{смен}} \cdot T} = \frac{397,4}{7 \cdot 8} = 7,8 \approx 8 \text{ чел.}$$

Определяем количество машин, занятых на планировочных работах:

$$N_{\text{МАШ}} = \frac{\text{Треб. маш. - ч (чел. - ч)}}{N_{\text{смен}} \cdot T} = \frac{34,66}{7 \cdot 8} = 0,6 \approx 1 \text{ бульдозер.}$$

Производим комплектование состава звена, выполняющего работы по планировке грунта (табл. 5.2).

Таблица 5.2 – Комплектование машинно-дорожного звена, занятого на планировочных работах

Наименование	Кол-во машин	Обслуживающий персонал		
		профессия	разряд, категория	кол-во
1	2	3	4	5
Состав экскаваторного звена				
Экскаватор (0,65 м <sup>3</sup> )	2	машинист	V	2
Бульдозер (79 кВт)	1	машинист	V	1
Поливомоечная машина	1	водитель	I	1
Самоходный пневмокоток	1	машинист	VI	1
Трактор (79 кВт)	2	тракторист	IV	2
Грейдер прицепной	2			прицепной
Автогрейдер (99 кВт)	1	машинист	VI	1
Автосамосвал	8	водитель	I	8
Рабочая сила		дор. рабочий	III	8
Итого	18			24

Работы по планировке верха и откосов дорожного полотна выполняем двумя прицепными грейдерами.

Работы по присыпным обочинам выполняют дорожно-строительным звеном в составе: 2 экскаваторов, 1 бульдозера, 8 автомобилей-самосвалов, 1 автогрейдера, 1 поливомоечной машины, 1 самоходного пневмокотка и 8 дорожных рабочих.

## **Расчет конструкции дорожной одежды со слоями из укрепленных грунтов**

### Теоретические сведения

Нежесткие дорожные одежды - это одежды со слоями, устроенными из разного вида асфальтобетонов (дегтебетонов), из материалов и грунтов, укрепленных битумом, цементом, известью, комплексными и другими вяжущими, а также из слабосвязных зернистых материалов (щебня, шлака, гравия и др.).

Расчетная схема конструкции - слоистое упругое полупространство, равномерно нагруженное по площади круга.

В многослойных конструкциях различают следующие элементы дорожной одежды.

Покрытие - верхняя часть одежды, воспринимающая усилия от колес автомобилей и подвергающаяся непосредственному воздействию атмосферных факторов. Покрытие должно быть прочным, ровным, шероховатым, противостоять пластическим деформациям при высоких положительных температурах, быть трещиностойким и хорошо сопротивляться износу - оно должно обеспечивать необходимые эксплуатационные качества проезжей части.

В I - III дорожно-климатических зонах покрытие должно быть водонепроницаемым. В покрытие входят также слои износа, шероховатый слой, защитный слой.

Основание - несущая прочная часть одежды, обеспечивающая, совместно с покрытием, перераспределение и снижение давления на расположенные ниже дополнительные слои или грунт земляного полотна (подстилающий грунт). Слои основания, непосредственно подстилающие усовершенствованное покрытие, должны быть, преимущественно, монолитными, сдвигоустойчивыми и достаточно хорошо сопротивляться растягивающим напряжениям при изгибе. Нижние слои основания устраивают из материалов менее прочных, чем вышележащие, но из достаточно морозостойких и водостойких материалов.

Дополнительные слои основания - слои между основанием и подстилающим грунтом на участках с неблагоприятными погодно-климатическими и грунтово-гидрологическими условиями.

Эти слои совместно с покрытием и основанием должны обеспечивать, наряду с прочностью, необходимые морозоустойчивость и дренирование конструкции и создавать условия для снижения толщины слоев из дорогостоящих материалов. В соответствии с основной функцией, которую выполняет дополнительный слой, его называют морозозащитным, теплоизоляционным, дренирующим. К дополнительным слоям и прослойкам относят также гидроизоляционные и пароизоляционные, капилляропрерывающие, противозаиливающие и другие. Дополнительные слои устраивают из песка и других местных материалов в естественном состоянии или укрепленных органическими минеральными или комплексными вяжущими веществами из местных грунтов, в том числе, пучинистых, обработанных вяжущими, из укрепленных смесей с добавками пористых заполнителей. В районах вечномерзлых грунтов и в других районах с особо неблагоприятными природными условиями устраивают теплоизоляционные слои из высокоэффективных теплоизоляционных материалов.

Дополнительные слои должны обеспечивать возможность движения по ним построечных транспортных средств и дорожно-строительных машин.

Облегченную дорожную одежду с усовершенствованным покрытием, эксплуатационные требования к которому сравнительно высоки, рассчитывают также на работу без накопления остаточных деформации, но на менее продолжительный срок между капитальными ремонтами, чем для капитальных одежд. Это позволяет принять меньший запас прочности и облегчить конструкцию.

При проектировании переходных дорожных одежд, выравнивание которых не сопряжено со значительными затратами (щебеночные, гравийные и подобные им покрытия), допустимо некоторое накопление, остаточных деформаций под действием движения.

Проектирование дорожной одежды и земляного полотна представляет со-

бой единый процесс конструирования и расчета дорожной конструкции на прочность, морозоустойчивость и осушение и технико-экономического обоснования вариантов.

Задачи конструирования дорожной одежды: а) назначение типа покрытия; б) выбор материалов для устройства слоев одежды и размещение их в конструкции в такой последовательности, чтобы наилучшим образом проявились их грузораспределяющая и деформативная способности, прочностные и теплофизические свойства; в) установление числа слоев и их ориентировочных толщин; г) назначение морозозащитных или теплозащитных мер, а также мер по повышению трещиностойкости и сдвигоустойчивости слоев, чувствительных к тепловлажностным воздействиям.

При конструировании дорожной одежды необходимо руководствоваться следующими принципами:

а) тип покрытия, конструкция одежды в целом должны удовлетворять транспортно-эксплуатационным требованиям, предъявляемым к дороге или улице соответствующей категории, и ожидаемым в перспективе составу и интенсивности движения. Должна быть установлена целесообразность стадийного строительства, с целью поэтапного повышения эксплуатационных качеств;

б) конструкцию одежды нужно выбирать типовую или вновь разрабатывать для каждого участка или ряда участков дороги, характеризующихся сходными природными условиями (грунты земляного полотна, увлажнение, микроклимат), одинаковыми расчетными нагрузками, а также в равной степени обеспеченными строительными материалами. Следует рассмотреть целесообразность укрепления верхней части земляного полотна, что обеспечит стабильные во времени деформационные и прочностные характеристики верхнего слоя земляного полотна на участках большого протяжения, на которых можно применять однотипную конструкцию дорожной одежды. При выборе конструкции одежды для данных условий предпочтение следует отдавать проверенной на практике типовой конструкции;

в) в соответствующих элементах конструкции должны быть широко использованы местные малопрочные материалы с предварительной переработкой или укреплением их. В районах, недостаточно обеспеченных стандартными каменными материалами, необходимо широко применять местные каменные материалы, побочные продукты промышленности и грунты, свойства которых могут быть улучшены обработкой их вяжущими (цемент, битум, известь, активные золы уноса и др.). Одновременно надо стремиться к созданию конструкции, по возможности наименее материалоемкой. Нужно иметь в виду, что эффективны все дорожные одежды, те конструктивные слои основания которых выполнены из укрепленных грунтов;

г) конструкция должна быть технологичной и обеспечивать возможность максимальной механизации и индустриализации дорожно-строительных процессов;

д) при назначении конструкции дорожной одежды следует учитывать региональный опыт строительства и службы дорог в заданном конкретном районе.

При конструировании дорожной одежды необходимо иметь в виду, что процесс деформирования и прочностные качества материалов, содержащих органическое вяжущее, обуславливающие проявление упруго-вязко-пластических свойств композиции, существенно зависят от температуры и режима нагружения (скорости изменения и продолжительности действия нагрузки), тогда как свойства зернистых материалов (щебеночные, гравийные и подобные им), а также материалов и грунтов, укрепленных неорганическими вяжущими, сравнительно мало зависят от температуры и режима нагружения.

В процессе конструирования дорожной одежды следует определять, из каких грунтов (местных или привозных) целесообразно сооружать земляное полотно на отдельных участках, отдавая предпочтение водоустойчивым и морозоустойчивым грунтам. Необходимо назначать меры для обеспечения морозоустойчивости дорожной конструкции и предохранения ее от избыточного увлажнения. Наиболее целесообразное решение нужно выбирать с учетом того, насколько эффективны и технологичны отдельные мероприятия в конкретных условиях.

При выборе материалов для устройства слоев дорожной одежды необходимо учитывать следующие положения.

Покрытие и верхние слои основания испытывают значительные напряжения растяжения и температурные воздействия. Поэтому они должны быть монолитными, водостойкими, морозостойкими и термостойкими.

При выборе материала для верхнего слоя основания надо учитывать категорию дороги, тип покрытия, а также и то, что слои, содержащие органические вяжущие, обладают лучшими деформационными качествами и теплофизическими свойствами, чем материалы или грунты, укрепленные неорганическими вяжущими. Однако материалы, содержащие органическое вяжущее, весьма чувствительны к высокой положительной температуре, при которой уменьшается их сдвигоустойчивость, или отрицательной температуре, приводящей к повышению их хрупкости.

Щебеночные материалы по проекту уложены по принципу заклинки.

При применении укрепленных грунтов и материалов необходимо предусматривать комплекс материаловедческих, технологических и конструктивных мероприятий по ограничению развития трещин в основании, приводящих, как правило, к возникновению (копированию) трещин и в покрытии. К материаловедческим мерам относится, в частности, укрепление грунтов и материалов комплексными или малоусадочными вяжущими, а к конструктивным - устройство теплозащиты над слоями из материалов, укрепленных неорганическими вяжущими. Необходимо, чтобы теплофизические свойства материалов покрытия и верхнего слоя основания существенно не различались.

Дорожные одежды облегченного типа с усовершенствованными покрытиями (асфальтобетонные, дегтебетонные, из черного щебня, из щебня, обработанного вяжущими по способу пропитки, из крупнообломочных материалов, из песчаных или супесчаных грунтов, обработанных в установке битумной эмульсией совместно с цементом) необходимо применять преимущественно на дорогах II, III, IV категорий и при стадийном строительстве дорожных одежд на первой стадии стро-

ительства дорог. Такие одежды можно устраивать и на внутрихозяйственных дорогах промышленных и сельскохозяйственных предприятий, где по санитарным условиям не могут быть допущены покрытия переходного типа.

Усовершенствованное покрытие облегченных дорожных одежд следует, как правило, устраивать толщиной 4-6 см при применении асфальтобетона и 6-8 см при использовании других материалов. Более точно толщину покрытия нужно устанавливать расчетом на прочность.

Основания для облегченных дорожных одежд с усовершенствованным покрытием, как правило, необходимо устраивать из монолитных и зернистых материалов. При этом на дорогах II, III, и IV категорий целесообразно устраивать основание дорожной одежды из гравийного пористого асфальтобетона; гравийно-песчаных смесей, обработанных эмульсией, дегтями и другими органическими вяжущими; различных материалов и грунтов и побочных продуктов промышленности, обработанных неорганическими или комплексными вяжущими, щебеночных и щебеночно-гравийных смесей.

#### Расчетная часть

Рассмотрим для сравнения 3 варианта конструкций дорожных одежд.

Таблица 6.1 - I вариант дорожной одежды

Номер слоя	Материал слоя	Толщина слоя, см
1	Асфальтобетон мелкозернистый плотный	5
2	Асфальтобетон крупнозернистый пористый	6
3	Щебень фракционированный из прочных осадочных пород уложенный методом заклинки	20
4	Песчано-гравийная смесь по ГОСТ 25607 – 83	25
5	Грунт земляного полотна (суглинок тяжелый)	-

Таблица 6.2 - II вариант дорожной одежды

Номер слоя	Материал слоя	Толщина слоя, см
1	Асфальтобетон мелкозернистый плотный	5
2	Асфальтобетон крупнозернистый пористый	6
3	Черный щебень, уложенный по способу пропитки	10
4	Щебень фракционированный уложенный методом за- клинки	20
5	Песчано-гравийная смесь по ГОСТ 25607 – 83	25
6	Грунт земляного полотна (суглинок тяжелый)	-

Таблица 6.3 - III вариант дорожной одежды

Номер слоя	Материал слоя	Толщина слоя, см		
		18	22	26
1	Покрытие из бетона	18	22	26
2	Фракционированный щебень	20		
3	ПГС	16		
4	Суглинок тяжелый	-		

Исходные данные для расчета дорожной одежды:

Количество слоев дорожной одежды.....	4
Количество монолитных слоев.....	2
Расчетная приведенная интенсивность движения в авт/сут.....	933
Требуемый модуль упругости дорожной одежды в МПа.....	220
Коэффициент прочности дорожной одежды .....	0.9
Значение диаметра штампа колеса в см.....	32

Дорожная одежда автомобильной дороги рассчитана с учетом состава интенсивности перспективного движения на 2026 год  $N_{расч.} = 933$  авт/сут.

Задача расчета - определение толщины слоев одежды в вариантах, наме-

ченных при конструировании, или выбор материалов с соответствующими деформационными и прочностными характеристиками при заданных толщинах слоев. Расчет дорожной одежды на прочность основан на следующих предпосылках:

а) зависимость деформации от напряжения для дорожно-строительных материалов и грунтов при расчетных нагрузках, показателях влажности, плотности и температуры является линейной;

б) напряженно-деформированное состояние дорожной одежды под действием местной нагрузки (осесимметричной подвижной или статической) определяется решениями теории упругости для слоистого (двухслойного и трехслойного) полупространств с учетом условий сопряжения слоев на контактах;

в) влияние продолжительности и повторности действия нагрузок от движущихся автомобилей на напряженно-деформированное состояние дорожных одежд учитывается путем введения и расчет характеристик упруговязких и усталостных свойств материалов и грунтов в зависимости от особенностей работы различных частей дороги - перегонов, перекрестков, остановок и стоянок автомобилей, обочин, остановок городских общественных транспортных средств;

г) силы инерции, действующие на одежду и земляное полотно в процессе деформирования, весьма малы и расчетом не учитываются (задача квазистатическая);

д) предельное состояние дорожной одежды характеризуется показателями, зависящими от свойств материала каждого слоя одежды и грунта земляного полотна, а также от их размещения и условий работы в конструкции;

е) за расчетные принимают наиболее тяжелые автомобили, которые систематически обращаются по дороге в неблагоприятный период года;

ж) интенсивность движения учитывается при установлении допустимых значений прочностных характеристик материалов и грунтов и упругого прогиба конструкции в целом.

### I вариант

За расчетную нагрузку принят автомобиль группы Б со следующими параметрами: давление на покрытие  $p = 0,5$  МПа, расчетный диаметр следа колеса

движущегося автомобиля  $D_d = 32$  см, неподвижного  $D_d = 28$  см, номинальная статическая нагрузка на ось 60 кН.

Требуемый уровень надежности для заданной категории дороги  $K_n = 0,85$ .

Расчетные характеристики материалов дорожной одежды и грунта земляного полотна назначают исходя из эксплуатационных требований, с учетом наличия и стоимости отдельных материалов, условия их транспортировки; принимая во внимание имеющуюся технику, намечают следующие материалы для слоев дорожной одежды: 1) покрытие - мелкозернистый горячий плотный асфальтобетон I марки, тип Б толщиной 5 см на битуме БНД-60/90; 2) верхний слой основания - крупнозернистый горячий пористый асфальтобетон марки I, на битуме БНД-60/90 толщиной 6 см; 3) нижний слой основания - щебень фракционированный из прочных осадочных пород уложенный по способу заклинки толщиной 20 см; 4) дополнительный слой основания – песчано-гравийная смесь толщиной 25 см.

Расчетные характеристики материалов и грунта следующие:

а) модули упругости асфальтобетона покрытия (мелкозернистый горячий плотный асфальтобетон I марки, тип Б толщиной 5 см на битуме БНД-60/90) при  $+30^\circ\text{C}$   $E_1 = 900$  МПа, а при  $+10^\circ\text{C}$   $E_1 = 3200$  МПа, в расчете на изгиб  $E_1 = 4500$  МПа;

б) асфальтобетон верхнего слоя основания (крупнозернистый горячий пористый асфальтобетон марки I, на битуме БНД-60/90 толщиной 6 см). Его модуль упругости при  $+30^\circ\text{C}$ ,  $E_2 = 700$  МПа, а при  $+10^\circ\text{C}$   $E_2 = 2000$  МПа, в расчете на изгиб  $E_2 = 2800$  МПа, сопротивление растяжению при изгибе;

$$R_{\text{изг}} = R(1 - tv_R)K_y \cdot K_m, \quad (6.1)$$

$$R_{\text{изг}} = 1,6 \cdot (1 - 1,06 \cdot 0,1) \cdot 1 \cdot 0,9 = 1,29 \text{ МПа};$$

где  $R$  - среднее значение сопротивления асфальтобетона растяжению при изгибе;

$t$  - коэффициент нормированного отклонения  $R$ , принимаемый в зависимости от уровня проектной надежности  $K_n$  конструкции

дорожной одежды;  $K_H=0.85$ ;

$v_R$  - коэффициент вариации прочности на растяжение при изгибе асфальтобетона, равный 0,1;

$K_y$  - коэффициент усталости, учитывающий повторность нагружения от расчетной приведенной интенсивности движения на полосу;

$K_m$  - коэффициент снижения прочности, от воздействия природно-климатических факторов; назначается для асфальтобетона I – II марок на щебне изверженных пород  $K_m=1,0$  и III марки –  $K_m = 0.8$ ; для смесей на щебне осадочных пород и гравийных материалов I марки  $K_m = 0,9$  и II - III марок – 0,7; для дегтебетонов -  $K_m = 0,7$ .

в) модуль упругости фракционированного щебня из прочных осадочных пород  $E_3 = 400$  МПа;

г) расчетные характеристики песчано-гравийной смеси:  $E_4 = 180$  МПа,  $\varphi_{п} = 45^\circ$ ,  $c_{сц} = 0.03$  МПа;

д) расчетная относительная влажность грунта земляного полотна:

$$W_p = W(1 + w \cdot t) W_T \quad (6.2)$$

$$W_p = 0,6 (1 + 1,06 \cdot 0,1) W_T = 0,66 W_T.$$

где  $\bar{W}$  - средняя влажность грунта в долях от  $W_T$ ;

$W_T$  – граница текучести;

$w$  - коэффициент вариации влажности, равный 0.1;

$t$  - коэффициент нормированного отклонения, принимаемый в зависимости от заданного уровня проектной надежности конструкции дорожной одежды  $K_H=0,85$ , равен 1,06.

При этой расчетной влажности расчетные характеристики грунта:  $E_{гр} = 50$  МПа;  $\varphi_{гр} = 21^\circ$ ;  $c_{сц} = 0.024$  МПа.

Требуемый модуль упругости для нагрузок групп Б при приведенной интенсивности 933 авт/сут составляет  $E_{тр}=220$  МПа. Это значение  $E_{тр}$  выше минимального модуля упругости для автомобильных дорог II категорий 125 МПа.

Дорожная одежда рассчитывается по слоям снизу вверх по номограмме для определения общего модуля упругости. Результаты расчета приведены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 - Характеристики дорожной одежды 1 варианта

Наименование материала	Толщина слоя, см	Модуль упругости, МПа	Модуль на сдвиг, МПа	Модуль на изгиб, МПа	Сцепление, МПа	Угол, град	Прочность на растяжение, МПа
1. Асфальтобетон	5	3200	900	4500	-	-	2.8
2. Асфальтобетон	6	2000	700	2800	-	-	1.6
3. Фракционированный щебень	20	400	400	400	-	-	-
4. ПГС	25	180	180	180	0.030	45	-
5. Суглинок тяжелый	-	50	50	50	0.024	21	-

Таблица 6.5 - Результаты расчета

Материал слоя	Общий модуль упругости	Отношение $T_{доп}/T$ при сдвиге	Растягивающие напряжения при изгибе
1. Асфальтобетон	320	-	0.72
2. Асфальтобетон	240	-	-
3. Фракционированный щебень	176	-	-
4. ПГС	95.4	1.25	-
5. Суглинок тяжелый	-	4.25	-

Общий модуль упругости дорожной одежды равен 320 МПа.

Рассчитывают конструкцию по сопротивлению сдвигу в грунте. Для чего вычисляют по формуле 6.3 средний модуль упругости:

$$E_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (6.3)$$

где  $n$  – число слоев дорожной одежды;

$E_i$  – модуль упругости  $i$ -го слоя;

$H_i$  – толщина  $i$ -го слоя.

$$E_{cp} = \frac{1800 \cdot 5 + 1200 \cdot 6 + 400 \cdot 20 + 180 \cdot 25}{5 + 6 + 20 + 25} = 512.5$$

По отношениям  $E_{cp}/E_{гр}=512.5/50=10.25$  и  $\sum h_i/D=56/32=1.75$  и при  $\varphi_{гр}=21^\circ$  с помощью номограммы находим удельное напряжение сдвига  $\tau_n=0.009$ ,

отсюда  $\tau = \tau_n \cdot p = 0.009 \cdot 0.5 = 0.0045$  МПа.

По номограмме определяют напряжение сдвига от веса одежды при толщине ее 56 см и  $\varphi_{гр}=21^\circ$ ,  $\tau_b = - 0,0005$  МПа. Суммарное напряжение сдвига в грунте:

$$T = \tau_n + \tau_b; \text{ МПа.} \quad (6.4)$$

$$T = 0,0045 - 0,0005 = 0,004 \text{ МПа.}$$

Допустимое сдвигающее напряжение в грунте по формуле:

$$T_{доп} = C_{гр} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (6.5)$$

где  $C_{гр}$ - сцепление в грунте активной зоны земляного полотна в расчетный период, МПа;

$K_1$ - коэффициент, учитывающий снижение сопротивления грунта сдвигу под агрессивным действием подвижных нагрузок колебаниям и т. д. (при расчете на воздействие кратковременных нагрузок, принимаемый  $K_1=0,6$ , при длительном действии нагрузок с малой повторностью  $K_1=0,9$ );

$K_2$  - коэффициент запаса на неоднородность условий работы конструкции. При расчет на длительное действие нагрузки  $K_2=0,77$ ;

$K_3$  - коэффициент, учитывающий особенности работы грунта в конструкции.

$$T_{\text{доп}} = 0,024 \cdot 0,6 \cdot 0,77 \cdot 1,5 = 0,017 \text{ МПа.}$$

$T_{\text{доп}}/T = 0,017/0,004 = 4,25$ , что удовлетворяет требуемому коэффициенту прочности.

Расчет асфальтобетонных слоев на сопротивление растяжению при изгибе

Находим  $E''_{\text{ср}}$ :

$$E''_{\text{ср}} = (4500 \cdot 5 + 2800 \cdot 6) / 11 = 3573 \text{ МПа.}$$

По отношению  $E''_{\text{ср}} / E_{\text{общ}} = 3573/320 = 11.2$  и  $(h_1 + h_2)/D_y = 11/32 = 0.34$  с помощью номограммы находят, что  $\sigma_r = 1,7$ .

Следовательно, по формуле:

$$\sigma_r = \sigma_r \cdot p \cdot K_6; \text{ МПа} \quad (6.6)$$

$$\sigma_r = 1,7 \cdot 0,5 \cdot 0,85 = 0,72 \text{ МПа.}$$

$$R_{\text{доп}} / \sigma_r > K_{\text{пр}} = 1,00 \quad (6.7)$$

$$1,29/0,72 = 1,79 > 1,00$$

Расчет асфальтобетонных слоев на сопротивление сдвигу в слое основания из ПГС.

Проверяют, удовлетворяются ли условия прочности по сдвигу в песчаном слое основания. Для этого определяют средний модуль упругости слоев, лежащих выше слоя из ПГС, при температуре асфальтобетона  $+30^\circ\text{C}$ .

$$E_{\text{ср}} = (1800 \cdot 5 + 1200 \cdot 6 + 400 \cdot 20) / 31 = 780,6 \text{ МПа}$$

$$\text{При } E_{\text{ср}}/E_{\text{пгс}} = 780,6/180 = 4.34.$$

$$\sum h_i/D_y = 31/32 = 0,97, \quad (6.8)$$

активное напряжение сдвига в ПГС при  $\varphi_{\text{пгс}} = 45^\circ$  от подвижной нагрузки по номограмме составит  $\tau_n = 0,021$ .

Активное напряжение от собственного веса  $\tau_b = - 0,0046$  МПа. Полное активное напряжение сдвига:

$$T_{\text{пгс}} = 0,021 - 0,0046 = 0,016 \text{ МПа,}$$

$$T_{\text{доп}} = 0,03 \cdot 0,6 \cdot 0,75 \cdot 1,5 = 0,02 \text{ МПа,}$$

$$T_{\text{доп}}/T_{\text{пгс}} = 0,02/0,016 = 1,25.$$

Следовательно, выбранная конструкция удовлетворяет всем критериям прочности.

## II вариант

За расчетную нагрузку принят автомобиль группы Б со следующими параметрами: давление на покрытие  $p = 0,5$  МПа, расчетный диаметр следа колеса движущегося автомобиля  $D_d = 32$  см, неподвижного  $D_d = 28$  см, номинальная статическая нагрузка на ось 60 кН.

Требуемый уровень надежности для заданной категории дороги  $K_n = 0,85$ .

Расчетные характеристики материалов дорожной одежды и грунта земляного полотна назначают исходя из эксплуатационных требований, с учетом наличия и стоимости отдельных материалов, условия их транспортировки; принимая во внимание имеющуюся технику, намечают следующие материалы для слоев дорожной одежды: 1) двухслойное покрытие – верхний слой из горячей плотной мелкозернистой асфальтобетонной смеси марки I тип Б на битуме БНД-60/90 толщиной 0,05 м; нижний слой из горячей пористой крупнозернистой асфальтобетонной смеси марки I на битуме БНД-60/90 толщиной 0,06 м; 2) двухслойное основание – верхний слой из черного щебня, уложенного по способу пропитки толщ. 0,10 м; нижний слой из фракционированного щебня, уложенного по способу заклинки толщиной 0,20 м; 3) подстилающий слой из песчано-гравийной смеси С5 толщиной 0,25 м.

Расчетные характеристики материалов и грунта следующие:

а) модули упругости асфальтобетона верхнего слоя покрытия (мелкозернистый горячий плотный асфальтобетон I марки, тип Б толщиной 5 см на битуме

БНД-60/90) при +30°C  $E_1 = 900$  МПа, а при +10°C  $E_1 = 3200$  МПа, в расчете на изгиб  $E_1 = 4500$  МПа;

б) асфальтобетон нижнего слоя покрытия (крупнозернистый горячий пористый асфальтобетон марки I, на битуме БНД-60/90 толщиной 6 см). Его модуль упругости при +30°C,  $E_2 = 700$  МПа, а при +10°C  $E_2 = 2000$  МПа, в расчете на изгиб  $E_2 = 2800$  МПа, сопротивление растяжению при изгибе определяем по формуле 6.1:

$$R_{\text{изг}} = 1,6 \cdot (1 - 1,06 \cdot 0,1) \cdot 1 \cdot 0,9 = 1,29 \text{ МПа};$$

где  $R$  - среднее значение сопротивления асфальтобетона растяжению при изгибе;

$t$  - коэффициент нормированного отклонения  $R$ , принимаемый в зависимости от уровня проектной надежности  $K_n$  конструкции дорожной одежды;  $K_n = 0,85$ ;

$v_R$  - коэффициент вариации прочности на растяжение при изгибе асфальтобетона, равный 0,1;

$K_y$  - коэффициент усталости, учитывающий повторность нагружения от расчетной приведенной интенсивности движения на полосу;

$K_m$  - коэффициент снижения прочности, от воздействия природно-климатических факторов; назначается для асфальтобетона I - II марок на щебне изверженных пород  $K_m = 1,0$  и III марки -  $K_m = 0,8$ ; для смесей на щебне осадочных пород и гравийных материалов I марки  $K_m = 0,9$  и II - III марок - 0,7; для дегтебетонов -  $K_m = 0,7$ .

в) модуль упругости верхнего слоя основания из черного, щебня уложенного по способу пропитки  $E_3 = 500$  МПа;

г) модуль упругости нижнего слоя основания из фракционированного щебня, уложенного по способу заклинки  $E_4 = 400$  МПа;

д) расчетные характеристики песчано-гравийной смеси:  $E_4 = 180$  МПа,  $\varphi_n = 45^\circ$ ,  $C_{\text{сц}} = 0,03$  МПа;

е) расчетная относительная влажность грунта земляного полотна определяем по формуле 6.2:

$$W_p = 0,6 (1 + 1,06 \cdot 0,1) = 0,66$$

При этой расчетной влажности расчетные характеристики грунта:  $E_{тр} = 50$  МПа;  $\varphi_{гр} = 21^\circ$ ;  $C_{сц} = 0,024$  МПа.

Требуемый модуль упругости для нагрузок групп Б при приведенной интенсивности 933 авт/сут составляет  $E_{тр} = 220$  МПа. Это значение  $E_{тр}$  выше минимального модуля упругости для автомобильных дорог IV категорий 125 МПа.

Дорожная одежда рассчитывается по слоям снизу вверх по номограмме для определения общего модуля упругости. Результаты расчета приведены в таблице.

Таблица 6.6 - Характеристики дорожной одежды 2 варианта

Наименование материала	Толщина слоя, см	Модуль упругости, МПа	Модуль на сдвиг, МПа	Модуль на изгиб, МПа	Сцепление, МПа	Угол, град	Прочность на растяжение, МПа
1. Асфальтобетон	5	3200	1800	4500	-	-	2.8
2. Асфальтобетон	6	2000	1200	2800	-	-	1.6
3. Черный щебень	10	500	500	500	-	-	-
4. Фракционированный щебень	20	400	400	400	-	-	-
5. ПГС	25	180	180	180	0.03	45	-
6. Суглинок тяжелый	-	50	50	50	0.024	21	-

Таблица 6.7 - Результаты расчета

Материал слоя	Общий модуль упругости	Отношение Т <sub>доп</sub> /Т при сдвиге	Растягивающие напряжения при изгибе
1. Асфальтобетон	330	-	1,05
2. Асфальтобетон	260	-	-
3. Черный щебень	220	-	-
4. Фракционированный щебень	176	-	-
5. ПГС	95,4	1.05	-
6. Суглинок тяжелый	-	8.90	-

Общий модуль упругости дорожной одежды равен 330 МПа.

Рассчитывают конструкцию по сопротивлению сдвигу в грунте. Для чего вычисляют по формуле 6.3 средний модуль упругости:

$$E_{cp} = \frac{1800 \cdot 5 + 1200 \cdot 6 + 500 \cdot 10 + 400 \cdot 20 + 180 \cdot 25}{5 + 6 + 10 + 20 + 25} = 510.6$$

По отношениям  $E_{cp}/E_{гр}=510,6/50=10,21$  и  $\sum h_i/D=66/32=2,02$  и при  $\varphi_{гр}=21^\circ$  с помощью номограммы находим удельное напряжение сдвига  $\tau_n=0,005$ .

Отсюда  $\tau = \tau_n \cdot p=0,005 \cdot 0,5=0,0025$  МПа.

По номограмме определяют напряжение сдвига от веса одежды при толщине ее 66 см и  $\varphi_{гр}=21^\circ$ ,  $\tau_b = - 0,0006$  МПа. Суммарное напряжение сдвига в грунте определяем по формуле 6.4:

$$T=0,0025 - 0,0006=0,0019 \text{ МПа.}$$

Допустимое сдвигающее напряжение в грунте определяем по формуле 6.5:

$$T_{доп} = 0,024 \cdot 0,6 \cdot 0,77 \cdot 1,5 = 0,017 \text{ МПа}$$

$T_{\text{доп}}/T = 0,017/0,0019 = 8,9$ , что удовлетворяет требуемому коэффициенту прочности.

Расчет асфальтобетонных слоев на сопротивление растяжению при изгибе. Находим  $E''_{\text{ср}}$ :

$$E''_{\text{ср}} = (4500 \cdot 5 + 2800 \cdot 6) / 11 = 3573 \text{ МПа.}$$

По отношению  $E''_{\text{ср}} / E_{\text{общ}} = 3573/320 = 11,2$  и  $(h_1 + h_2)/D_y = 11/32 = 0,34$  с помощью номограммы находят, что  $\sigma_r = 1,7$ .

Следовательно, определяем по формуле 6.6:

$$\sigma_r = 1,7 \cdot 0,5 \cdot 0,85 = 0,72 \text{ МПа.}$$

$$1,29/0,72 = 1,79 > K_{\text{пр}} = 1$$

Расчет асфальтобетонных слоев сдвигу в слое основания из ПГС.

Проверяют, удовлетворяются ли условия прочности по сдвигу в песчаном слое основания. Для этого определяют средний модуль упругости слоев, лежащих выше слоя из ПГС, при температуре асфальтобетона  $+30^\circ\text{C}$ .

$$E_{\text{ср}} = (1800 \cdot 5 + 1200 \cdot 6 + 500 \cdot 10 + 400 \cdot 20) / 41 = 712,2 \text{ МПа.}$$

При  $E_{\text{ср}}/E_{\text{пгс}} = 712,2/180 = 3,96$ ,  $\sum h_i/D_y = 41/32 = 1,28$ , активное напряжение сдвига в ПГС при  $\varphi_{\text{пгс}} = 45^\circ$  от подвижной нагрузки по номограмме составит  $\tau_H = 0,025$ .

Активное напряжение от собственного веса  $\tau_B = -0,006$  МПа. Полное активное напряжение сдвига:

$$T_{\text{пгс}} = 0,025 - 0,006 = 0,019 \text{ МПа,}$$

$$T_{\text{доп}} = 0,03 \cdot 0,6 \cdot 0,75 \cdot 1,5 = 0,02 \text{ МПа,}$$

$$T_{\text{доп}}/T_{\text{пгс}} = 0,02/0,019 = 1,05.$$

Следовательно, выбранная конструкция удовлетворяет всем критериям прочности.

### III вариант

Расчетная нагрузка на покрытие  $P_k=35$  кН, среднее расчетное удельное давление колеса на покрытие  $q_{ш}=0,5$  МПа, диаметр колеса  $D=32$  см.

1. Требуемый уровень надежности  $K_n = 0,9$ , соответствующий ему коэффициент прочности  $K_{пр} = 0,94$ .

2. Расчетные характеристики грунта при расчетной влажности  $W_p = 0,66W_T$ :

Модуль упругости  $E_{гр} = 50$  МПа;

- угол внутреннего трения грунта  $\varphi_{гр}=21^0$ ;

- сцепление  $C = 0,024$  МПа.

3. Модуль упругости нижнего слоя основания из ПГС  $E=180$  МПа;

4. Модуль упругости верхнего слоя основания из фракционированного щебня  $E=350$  МПа.

5. Характеристики бетонного покрытия:

- модуль упругости бетона  $E_b=32 \cdot 10^3$  МПа;

- средняя прочность бетона на растяжение при изгибе – 4,5 МПа.

6. Срок службы покрытия - 25 лет.

7. Коэффициент динамичности  $m_d = 1,3$ .

### Расчет

1 . Определение расчетной нагрузки на колесо:

$$P = P_k \cdot m_q \cdot m_{nz}, \quad (6.9)$$

где  $m_q$  - коэффициент динамичности,  $=1,3$  (по ВСН п. 3.5);

$m_{nz}$  – коэффициент перегрузки,  $=1$ .

$$P = 35 \cdot 1,3 \cdot 1 = 45,5 \text{ кН}$$

2. Определение расчётной интенсивности нагрузки:

Приведенная интенсивность нагрузки за весь срок службы покрытия (25 лет):

$$N_{PT} = N_n \cdot n_c \cdot \frac{q^t - 1}{q - 1}, \quad (6.10)$$

где  $n_c$  – количество дней в году с положительной температурой воздуха, принимается  $h=210$  дней;

$q$  – коэффициент роста интенсивности движения, равный 1,05;

$T$  – срок службы жесткого покрытия, принимаемый равным 25 лет

$N_{пр}$  – общая суточная интенсивность движения, приведенная к расчетному автомобилю на первый год эксплуатации.

$$N_{pt} = 933 \cdot 210 \cdot \frac{3,39 - 1}{1,05 - 1} = 9365454$$

3. Назначение конструкции дорожной одежды:

а) задаемся несколькими значениями толщины бетонного покрытия:

$$h_{б1} = 18 \text{ см}, h_{б2} = 22 \text{ см}, h_{б3} = 26 \text{ см}.$$

б) Назначаем толщину верхнего слоя основания из фракционированного щебня  $h = 20$  см;

в) назначаем толщину нижнего слоя основания из ПГС  $h = 16$  см.

г) поперечные швы устраиваем без штырей;

Таблица 6.8 - Характеристики дорожной одежды 3 варианта

№ п/п	Материал	$E$ , МПа	$h$ , см	$h/D$	$E_{общ.}$ , МПа
1	Покрытие из бетона	$32 \times 10^3$	18	0,49	-
			22	0,59	
			26	0,70	
2	Фракционированный щебень	400	20	0,54	116
3	ПГС	180	16	0,43	57,6
4	Суглинок тяжелый	50	-	-	-

#### 4. Определение общего модуля упругости основания.

На уровне песка определяем по формуле 6.11:

$$D_{э2} = D + h_б + h_{ит} \quad (6.11)$$

где  $D$  – диаметр следа колеса, см;

$h_б$  – толщина бетона

$h_{ит}$  – толщина слоя основания

$$D^1_{э2} = 32 + 18 + 18 = 68 \text{ см}$$

$$D^2_{э2} = 32 + 22 + 18 = 72 \text{ см}$$

$$D^3_{э2} = 32 + 26 + 18 = 76 \text{ см}$$

На уровне щебня определяем по формуле 6.12:

$$D_{э1} = D + h_б \quad (6.12)$$

$$D^1_{э1} = 32 + 18 = 50 \text{ см}$$

$$D^2_{э1} = 32 + 22 = 54 \text{ см}$$

$$D^3_{э1} = 32 + 26 = 58 \text{ см}$$

#### 5. Определение общего модуля упругости слоев основания по цементобетону.

Используя номограмму и отношения  $\frac{h_{осн.}}{D_{э1}}$  и  $\frac{E''}{E'}$ , находим:

$$1) \frac{20+16}{50} = 0,72, \quad E'_{осн.} = 0,71 \cdot 116 = 82,36 \text{ МПа.}$$

$$2) \frac{36}{54} = 0,67, \quad E''_{осн.} = 0,70 \cdot 116 = 81,2 \text{ МПа.}$$

$$3) \frac{36}{58} = 0,62, \quad E'''_{осн.} = 0,68 \cdot 116 = 78,88 \text{ МПа.}$$

#### 6. Определение показателя жесткости бетонного покрытия:

$$S = \frac{3E_{\text{общ.осн.}} \cdot (1 - \mu_{\text{осн.}}^2) \cdot r_0^3}{E_b \cdot (1 - \mu_b^2) \cdot h_b^3}, \quad (6.13)$$

где  $E_{\text{общ.осн.}}$  - общий (эквивалентный) модуль упругости основания и грунта земляного полотна;

$\mu_{\text{осн.}}$  - коэффициент Пуассона основания, принимаемый равным 0,35;

$r_0$  - половина ширины плиты, см;

$E_b$  - модуль упругости бетона,  $=32 \cdot 10^3$  МПа;

$\mu_b$  - коэффициент Пуассона бетона, равный 0,2;

$h_b$  - толщина бетонной плиты, см.

1) для  $h_b = 18$  см определяем по формуле 6,13:

$$S = \frac{3 \cdot 116 \cdot (1 - 0,35^2) \cdot 350^3}{32 \cdot 10^3 \cdot (1 - 0,2^2) \cdot 18^3} = 73,1 > 10$$

⇒ плита относится к бесконечной в плане.

2) для  $h_b = 22$  см определяем по формуле 6.13:

$$S = \frac{3 \cdot 116 \cdot (1 - 0,35^2) \cdot 350^3}{32 \cdot 10^3 \cdot (1 - 0,2^2) \cdot 22^3} = 40 > 10$$

⇒ плита относится к бесконечной в плане.

3) для  $h_b = 26$  см определяем по формуле 6.13:

$$S = \frac{3 \cdot 116 \cdot (1 - 0,35^2) \cdot 350^3}{32 \cdot 10^3 \cdot (1 - 0,2^2) \cdot 26^3} = 24,2 > 10$$

⇒ плита относится к бесконечной в плане.

4) Определение момента  $M_{x(y)}$  в покрытии от воздействия нагрузки:

$$M_{x(y)} = P \cdot (0,0592 - 0,2137 \cdot \lg \frac{R}{l_y}), \quad (6.14)$$

где  $P$  - расчетная нагрузка, кН;

$R$  - радиус отпечатка колеса, см;

$l_y$  - упругая характеристика плиты, см,

$$l_y = h_{\bar{o}} \cdot \sqrt[3]{\frac{(1 - \mu_{\text{осн.}}^2) \cdot E_{\bar{o}}}{6 \cdot (1 - \mu_{\bar{o}}^2) \cdot E_{\text{общ.осн.}}}} \quad (6.15)$$

Для 18 см определяем по формуле 6.15:

$$l_y = 18 \cdot \sqrt[3]{\frac{(1 - 0,35^2) \cdot 32 \cdot 10^3}{6 \cdot (1 - 0,2^2) \cdot 116}} = 62,58 \text{ см}$$

Для 22 см определяем по формуле 6.15:

$$l_y = 22 \cdot \sqrt[3]{\frac{(1 - 0,35^2) \cdot 32 \cdot 10^3}{6 \cdot (1 - 0,2^2) \cdot 116}} = 76,49 \text{ см}$$

Для 26 см определяем по формуле 6.15:

$$l_y = 26 \cdot \sqrt[3]{\frac{(1 - 0,35^2) \cdot 32 \cdot 10^3}{6 \cdot (1 - 0,2^2) \cdot 116}} = 90,4 \text{ см.}$$

Итак, при толщине бетонной плиты 18 см момент в покрытии от воздействия нагрузки определяем по формуле 6.14:

$$M_{x(y)} = 45,5 \cdot (0,0592 - 0,2137 \cdot \lg \frac{16}{62,58}) = 8,45 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

при толщине бетонной плиты 22 см:

$$M_{x(y)} = 45,5 \cdot (0,0592 - 0,2137 \cdot \lg \frac{16}{76,49}) = 9,3 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

при толщине бетонной плиты 26 см:

$$M_{x(y)} = 45,5 \cdot (0,0592 - 0,2137 \cdot \lg \frac{16}{90,4}) = 10 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

7. Определение напряжения  $\sigma_{pt}$  растяжения при изгибе, возникающего в бетонном покрытии от действия нагрузки и температурных воздействий:

$$\sigma_{pt} = \frac{K_m \cdot 60 \cdot K_{ysl} \cdot K_{um}}{K_t \cdot h_0^2} \cdot M_{x(y)}, \quad (6.16)$$

где  $K_m$  - коэффициент, учитывающий влияние места расположения нагрузки,  $K_m = 1,5$ ;

$K_{ysl}$  - коэффициент условий работы покрытия, принимаемый равный 0,66;

$K_{um}$  - коэффициент, учитывающий влияние штыревых соединений в швах из условия контактирования плит с основанием, принимается равным:

при отсутствии штырей – 1,05;

$K_t$  - коэффициент, учитывающий влияние температурного коробления:

Таблица 6.9 - Определение коэффициента  $K_t$

Толщина плиты, см	Значение $K_t$
18	0,90
22	0,80
26	0,67

$M_{x(y)}$  - момент от воздействия нагрузки;

$h_{\delta}$  - толщина плиты.

- При 18 см:

$$\sigma_{pt} = \frac{1,5 \cdot 60 \cdot 0,66 \cdot 1,05}{0,90 \cdot 18^2} \cdot 8,45 = 1,81 \text{ МПа};$$

- При 22 см:

$$\sigma_{pt} = \frac{1,5 \cdot 60 \cdot 0,66 \cdot 1,05}{0,80 \cdot 22^2} \cdot 9,3 = 1,5 \text{ МПа};$$

- При 26 см:

$$\sigma_{pt} = \frac{1,5 \cdot 60 \cdot 0,66 \cdot 1,05}{0,67 \cdot 26^2} \cdot 10 = 1,38 \text{ МПа}.$$

#### 8. Определение коэффициента усталости.

$$k_y = \frac{\sigma_{pt} \cdot k_{np}}{R_{pu} \cdot k_{nn}} \quad (6.17)$$

где  $R_{pu}$  – расчетная прочность на растяжение при изгибе,  $R_{pu} = 4,5$ ;

$k_{nn}$  – коэффициент набора прочности,  $k_{nn} = 1,2$ .

$k_{np}$  – коэффициент прочности,  $k_{np} = 0,94$ .

$$k_y^1 = \frac{1,81 \cdot 0,94}{4,5 \cdot 1,2} = 0,32,$$

$$k_y^2 = \frac{1,5 \cdot 0,94}{4,5 \cdot 1,2} = 0,26,$$

$$k_y^3 = \frac{1,38 \cdot 0,94}{4,5 \cdot 1,2} = 0,24.$$

9. Определяем требуемое значение коэффициента усталости  $K_y$  для расчетной повторности покрытия по формуле:

$$K_y = 1,08 \cdot N_{pr}^{-0.063} \quad (6.18)$$

$$K_y = 1,08 \cdot 9365454^{-0.063} = 0,29$$

10. Строим график зависимости  $K_y$  от толщины плиты покрытия  $h$  и по этому графику определяем толщину покрытия, соответствующему требуемому значению  $K_y$ .

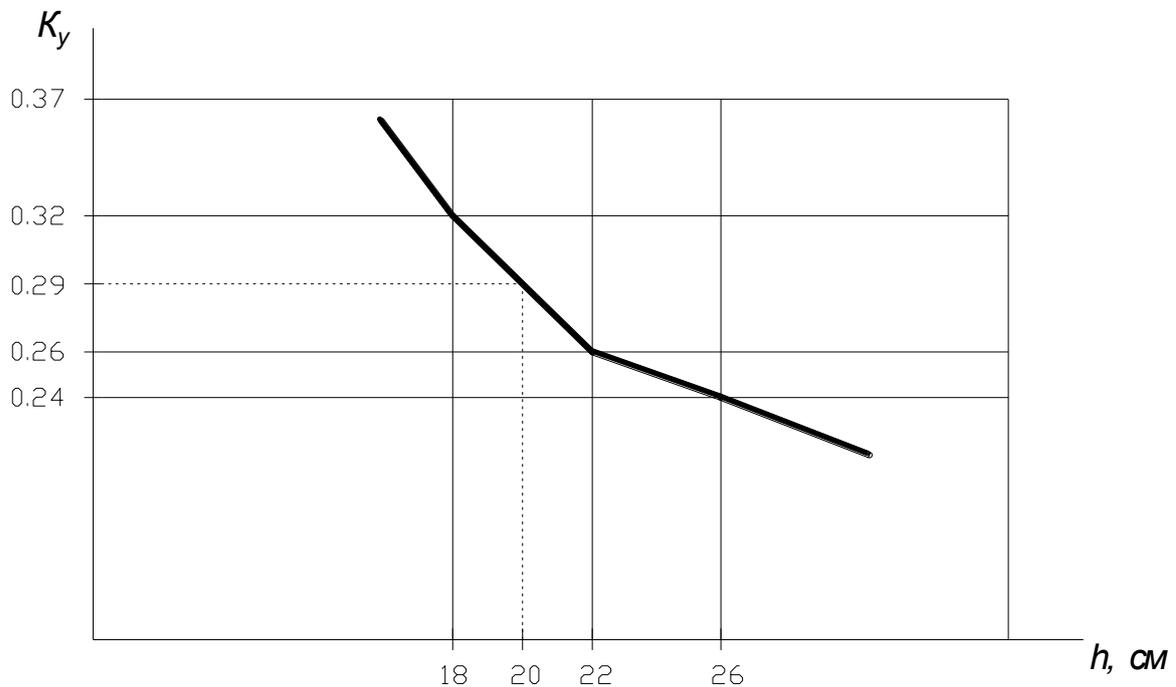


Рисунок 6.1 – График зависимости коэффициента усталости  $K_y$  от толщины плиты покрытия

По полученному графику определяем, что при требуемом значении коэффициента усталости  $K_y$  равном 0,29, толщина плиты покрытия  $h$  составит 20 см.

## **Расчет основных параметров асфальтоукладчика.**

### **Выбор грузоподъемности и необходимого количества автосамосвалов**

#### Теоретические сведения

Асфальтоукладчики предназначены для сооружения оснований и покрытий из битумоминеральных и асфальтобетонных смесей при строительстве и ремонте магистральных и городских автомобильных дорог, тротуаров, площадей и аэродромов.

В настоящее время применяется три типа асфальтоукладчиков: прицепные, полуприцепные и самоходные.

**Прицепные асфальтоукладчики** выпускаются для работы на базе автосамосвалов и являются машинами циклического действия. Для того, чтобы асфальтоукладчик подготовить к работе, необходимо установить требуемую ширину укладываемой полосы и толщину слоя асфальтобетона и затем соединить его с автосамосвалом с помощью сцепного устройства. Автосамосвал поднимает кузов и перегружает смесь в бункер укладчика, и далее в процессе укладки асфальтоукладчик перемещается автосамосвалом. После опорожнения бункера автосамосвал останавливается, и асфальтоукладчик перецепляется к следующей машине. Достоинством этих машин является простота конструкции, а недостатком - невысокая производительность из-за потерь времени на смену самосвалов.

**Полуприцепные асфальтоукладчики** выпускаются в качестве рабочего оборудования к тракторам и автогрейдером. Эти машины производительнее прицепных, так как работают как единое целое и нет затрат времени на смену тягача.

**Самоходные асфальтоукладчики** являются машинами непрерывного действия, обеспечивают безостановочную укладку и достижение требуемого качества асфальтобетонных покрытий. Этим объясняется широкое многообразие существующих моделей и преимущественное использование самоходных асфальтоукладчиков.

По главному параметру - производительности - самоходные асфальтоукладчики делят на легкие - до 75 т/ч, средние - 75...150 т/ч, тяжелые - 150...300 т/ч и сверхтяжелые - свыше 300 т/ч.

По типу ходовой части асфальтоукладчики разделяют на гусеничные, колесные и комбинированные.

**Гусеничное** ходовое оборудование малочувствительно к неровностям, оказывает небольшое давление на основание, что особенно важно при передвижении по свежеложенному асфальтобетону. Гусеничное ходовое оборудование отличают высокая маневренность и большое тяговое усилие. Недостатки – большая металлоемкость и стоимость, быстрый износ, малая транспортная скорость, а также возможность повреждения покрытия при крутых разворотах.

**Колесные** асфальтоукладчики наряду с гусеничными нашли самое широкое применение. К преимуществам колесных машин относят более высокую транспортную скорость (до 20 км/ч) и другие, исходя из недостатков гусеничных. Колесные асфальтоукладчики бывают двухосные (с одной ведущей осью), трехосные (с одной или двумя ведущими осями) и четырехосные (с двумя ведущими осями).

**Комбинированные** асфальтоукладчики имеют в качестве рабочего хода - гусеницы, а в качестве транспортного хода - пневматические колеса (например, модель 879В фирмы «Barber-Greene», США; модель NF35В фирмы «Niigata», модели 205 и 304 фирмы «Sakai Works Co.», Япония и др.). Укладчики этого типа имеют выдвижные пневмоколеса для транспортировки в прицепе к автосамосвалу со скоростью до 20 км/ч, а в рабочем режиме сохраняются все преимущества гусеничного ходового оборудования.

"Строительные нормами и правилами" дороги, в зависимости от их значения, подразделяют на пять категорий. Кроме того, приняты две категории для подъездных дорог промышленных предприятий. Ширина проезжей части дорог составляет 4,5; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0; 11,0; 11,25; 15,0 м и более.

Асфальтоукладчики оборудуются рабочим органом, ширина которого от минимальной до максимальной может принимать значения, кратные ширине проезжей части.

Потребности дорожно-строительных организаций в гусеничных и колесных укладчиках, свидетельствующими о том, что основная потребность приходится на гусеничные укладчики с шириной рабочего органа 6 ... 7 м.

### Расчетная часть

В технологическом расчете в первую очередь определяется количество асфальтобетонной смеси, которое должно загружаться в приемный бункер укладчика, т:

$$m_{см} = \frac{P_a \cdot t_m}{60}, \quad (7.1)$$

где  $P_a$  - производительность асфальтоукладчика, т/ч;

$t_m$  - время от момента освобождения от смеси предыдущего автосамосвала до начала разгрузки следующего при "подпоре" самосвалов (при хорошей организации работ),  $t_m=2,0 \dots 2,5$  мин.

$$m_{см} = \frac{110 \cdot 2}{60} = 3,67 \text{ т};$$

Геометрическая емкость приемного бункера равна, м:

$$V = \frac{m_{см}}{K_n \cdot \gamma_l}, \quad (7.2)$$

где  $K_n$  - коэффициент наполнения бункера;  $K_n = 0,6 \dots 0,7$ ;

$\gamma_l$  - насыпная объемная масса асфальтобетонной смеси;  $\gamma_l = 1,8 \text{ т/м}^3$ .

$$V = \frac{3,67}{0,7 \cdot 1,8} = 2,91 \text{ м}^3.$$

Рабочая скорость передвижения асфальтоукладчика при непрерывном движении машины определяется, м/мин:

$$v = \frac{P_a}{60 \cdot B \cdot h \cdot \gamma}, \quad (7.3)$$

где  $\gamma$  - объемная масса уложенной смеси,  $\gamma = 2,0$  т/м<sup>3</sup>.

$$v = \frac{110}{60 \cdot 3,5 \cdot 0,1 \cdot 2,0} = 2,62 \text{ м/мин.}$$

Питатели подают асфальтобетонную смесь к двум распределительным шнекам, наибольшая производительность каждого из которых должна быть равна производительности скребкового питателя:

$$P_{ш} = 0,75 P_a. \quad (7.4)$$

$$P_{ш} = 0,75 \cdot 110 = 82,5 \text{ т/ч.}$$

Число автосамосвалов для безостановочной работы асфальтоукладчика определится:

$$N_c = \frac{P_a}{P_c}, \quad (7.5)$$

где  $P_c$  - производительность автосамосвала, подвозящего асфальтобетонную смесь со смесительной установки к укладчику, т/ч;

$$N_c = \frac{60 g_c}{T_{\text{ц}}}, \quad (7.6)$$

где  $g_c$  - грузоподъемность самосвала, т;

$T_{\text{ц}}$  - время цикла, мин.

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{зп}} + \frac{120 \cdot L}{v_{\text{ср}}} + t_{\text{б}} + t_{\text{м}}, \quad (7.7)$$

где  $t_{\text{зп}}$  - время загрузки кузова автосамосвала асфальтобетонной смесью, мин;

$v_{\text{ср}}$  - средняя скорость движения автосамосвала, км/ч.

$L$  - дальность возки асфальтобетонной смеси, км;

$t_{\text{б}}$  - длительность разгрузки кузова автосамосвала, мин;

$t_{\text{б}} = 1,5 \dots 2,0$  мин;

Ориентировочно можно рассчитать:

$$t_{\text{зп}} = 0,5 \cdot g_c + 2; \quad (7.8)$$

$$t_{\text{зп}} = 0,5 \cdot 10 + 2 = 7 \text{ мин};$$

$$T_{\text{ц}} = 7 + 120 \cdot 12 / 35 + 2 + 2 = 52 \text{ мин};$$

$$N_c = 110 / 11,5 = 10 \text{ шт.}$$

Выбираем автомобиль-самосвал КАМАЗ-5511.

Ширина бункера  $B_{\text{б}}$  (рис. 7.1) не зависит от типа асфальтоукладчика, а определяется габаритными размерами автосамосвала и назначается в пределах

2,8...3,2 м. Принимаем  $B_6=2,8$  м.

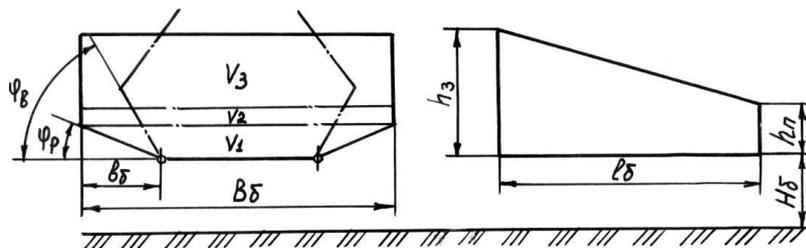


Рисунок 7.7 - Схема к определению основных параметров приемного бункера

Ширина боковин  $b_6$  составляет 0,6...1,0 м в зависимости от принятой ширины скребкового транспортера. Принимаем  $b_6=0,8$  м.

Угол наклона нижней части боковин  $\varphi_p$  составляет 15 ... 18°, при подъеме угол наклона нижней части боковин  $\varphi_b$  составляет 50 ... 55°.

Высота задней стенки бункера  $h$  в существующих моделях машин составляет 0,55...0,80 м (принимаем  $h_3=0,8$ м), а высота передней стенки  $h_n$  находится в пределах 0,47 ... 0,65 м (принимаем  $h_n=0,8$ м); (большие значения для более тяжелых машин).

Геометрическая емкость бункера равна:

$$V = V_1 + V_2 + V_3, \quad (7.9)$$

или в развернутом виде:

$$V = l_6(B_6 - b_6)b_6 \cdot \operatorname{tg} \varphi_p + l_6(h_n b_6 \operatorname{tg} \varphi_p)B_6 + 0,5l_6(h_3 - h_n)B_6; \quad (7.10)$$

отсюда

$$l_6 = \frac{V}{(B_6 - b_6)b_6 \cdot \operatorname{tg} \varphi_p + (h_n - b_6 \operatorname{tg} \varphi_p)B_6 + 0,5(h_3 - h_n)B_6}.$$

$$l_6 = \frac{2,91}{(2,8 - 0,8) \cdot 0,8 \cdot \operatorname{tg} 15^\circ + (0,6 - 0,8 \cdot \operatorname{tg} 15^\circ)2,8 + 0,5(0,8 - 0,6)2,8} = 1,5 \text{ м.}$$

(асфальтоукладчик среднего типа).

В существующих конструкциях асфальтоукладчиков длина бункера изменяется в пределах 1,1...1,3 м (укладчики легкого типа), 1,5 м (среднего типа) и до 2,0 м (тяжелые укладчики).

Для шнеков асфальтоукладчиков обычно принимают диаметр шнека  $D_{ш}$  равным шагу шнека  $t_{ш}$ .

Анализ существующих конструкций показывает, что на асфальтоукладчиках в основном устанавливают шнеки трех диаметров: на машинах легкого типа - 250, среднего типа - 300, и тяжелого - 350 мм. Принимаем 300 мм.

Частота вращения шнека, об/мин:

$$n = \frac{P_{ш}}{\left(47,1 D_{ш}^2 t_{ш} \gamma_1 K_{пр} K_3\right)}, \quad (7.11)$$

где  $K_{пр}$  - коэффициент снижения производительности из-за проскальзывания и прессования материала;  $K_{пр} = 0,9...0,95$ ;

$K_3$  - коэффициент заполнения сечения;  $K_3 = 0,7$ .

$$n = \frac{82,5}{\left(47,1 \cdot 0,3^2 \cdot 0,3 \cdot 1,8 \cdot 0,95 \cdot 0,7\right)} = 55 \text{ об / мин.}$$

Рабочие органы асфальтоукладчика предназначены для профилировки, предварительного уплотнения укладываемого слоя и отделки его поверхности.

Рабочие органы самоходных асфальтоукладчиков включают отражательный и торцовые щиты, трамбуемый брус (рис. 7.2) и выглаживающую плиту.

Масса трамбуемого бруса, кг:

$$m_{бр} = 18,86 \cdot l_{бр} \cdot B \cdot h \cdot \gamma = 18,86 \cdot 0,03 \cdot 0,35 \cdot 0,1 \cdot 2000 = 396 \text{ кг / м}^3.$$

где  $l_{бр}$  - толщина трамбуемого бруса (по оси движения машины), рекомендуется принимать  $l_{бр} = 0,024...0,035$  м.

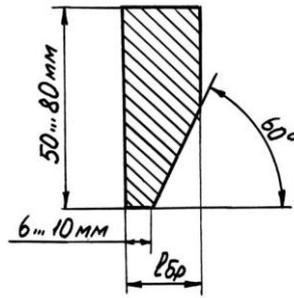


Рисунок 7.2 – Трамбующий нож

Эксцентриситет вала трамбующего бруса, м:

$$r = 0,05h.$$

$$r = 0,05 \cdot 0,1 = 0,005 \text{ м.}$$

Ход трамбующего бруса для большинства асфальтоукладчиков от 1,6 до 7,0 мм. Принимаем 3 мм.

Скорость вращения эксцентрикового вала трамбующего бруса, об/мин:

$$n_{\text{бп}} = 2143 \sqrt{\frac{l_{\text{бп}} B \gamma}{m_{\text{бп}}}}. \quad (7.12)$$

$$n_{\text{бп}} = 2143 \sqrt{\frac{0,03 \cdot 3,5 \cdot 2000}{396}} = 1560 \text{ об / мин.}$$

Проведенные исследования позволили установить взаимосвязь между числом уплотняющих воздействий уплотняющего бруса и коэффициентом уплотнения асфальтобетонного покрытия:

$$K_y = \frac{0,000145 n_{\text{бп}} l_{\text{пл}}}{v + 0,878}, \quad (7.13)$$

где  $n_{\text{бп}}$  - скорость вращения эксцентрикового вала трамбующего бруса, об/мин;

$l_{\text{пл}}$  - ширина выглаживающей плиты (по оси движения машины), м;

$v$  - скорость передвижения укладчика, м/мин.

$$K_y = \frac{0,000145 \cdot 1560 \cdot 0,5}{2,62 + 0,878} = 0,03.$$

Как уже отмечалось, если рабочая скорость движения асфальтоукладчика менее 5,5 м/мин, то можно применять статическую выглаживающую плиту. При превышении этой скорости, во избежание разрывов на поверхности асфальтобетонного покрытия, следует использовать виброплиту.

Массу статической выглаживающей плиты определяют из выражения, кг:

$$m_{пл}^{ст} = \frac{F(\tau - c)}{g \cdot \lambda \cdot \operatorname{tg} \varphi}, \quad (7.14)$$

где  $F$  - площадь поверхности контакта с уплотняемой поверхностью выглаживающей плиты, м<sup>2</sup>;

$\tau$  - предельно допустимое напряжение сдвига асфальтобетонной смеси, Па;  
 $\tau = 420000$  Па;

$c$  - внутреннее сцепление уплотняемого материала,  $c = 50000$  Па;

$\varphi$  - угол внутреннего трения смеси;  $\varphi = 35^\circ$ ;

$\lambda$  - коэффициент, определяемый по формуле:

$$\lambda = \frac{y \cdot \sin(\pi\theta)}{\pi\sqrt{1-\xi^2}}, \quad (7.15)$$

$$\theta = 0,318 \operatorname{arctg} \frac{1-2\mu}{2f_p(1-\mu)}, \quad (7.16)$$

$$y = \left( \frac{1+\xi}{1-\xi} \right)^{0,5-\theta}, \quad (7.17)$$

где  $\xi$  - относительная координата;  $\xi=0,995$ ;

$\mu$  - коэффициент Пуассона асфальтобетонной смеси;  $\mu=0,2$ ;

$f_p$  - коэффициент трения плиты о рабочую смесь;  $f_p = 0,460$ .

$$\theta = 0,318 \cdot \operatorname{arctg} \frac{1 - 2 \cdot 0,2}{2 \cdot 0,460 \cdot (1 - 0,2)} = 12,5^\circ = 0,22 \text{ рад};$$

$$y = \left( \frac{1 + 0,995}{1 - 0,995} \right)^{0,5 - 0,22} = 5,35;$$

$$\lambda = \frac{5,35 \cdot \sin(\pi \cdot 0,22)}{\pi \cdot \sqrt{1 - 0,995^2}} = 10,85.$$

$$F = l_{nl} B, \quad (7.18)$$

где  $l_{nl}$  - ширина плиты (по оси движения машины, м;

$$F = 0,5 \cdot 3,5 = 1,75$$

$$m_{nl}^{cm} = \frac{1,75 \cdot (420000 - 50000)}{9,81 \cdot 10,85 \cdot \operatorname{tg} 35^\circ} = 8687,89 \text{ кг}.$$

В существующих конструкциях асфальтоукладчиков скорость вращения шнеков регулируется в пределах от 30 до 142 об/мин.

Расстояние от шнека до основания дороги  $H_{ш}$  находится в пределах 210...375 мм, для большинства моделей составляет в среднем около 300 мм. Принимаем  $H_{ш} = 300$  мм.

Расстояние от шнека до отражательного щита рабочего органа  $A_{ш}$ , назначаемое в пределах 200...300 мм, составляет в среднем 270 мм. Принимаем  $A_{ш} = 270$  мм.

Расстояние от шнека до переднего щита  $C_{ш}$  находится в пределах 200...270 мм, в среднем составляет 240 мм. Принимаем  $C_{ш} = 270$  мм.

Расстояние от шнека до нижней кромки рабочего органа  $S_{ш}$  для большинства моделей составляет около 400 мм. Принимаем  $S_{ш} = 270$  мм.

## **Тяговый расчет асфальтоукладчика.**

### **Расчет мощности двигателя асфальтоукладчика**

#### Теоретические сведения

Общее сопротивление, возникающее при передвижении асфальтоукладчика, складывается из следующих составляющих: сопротивления перемещению ходовой части укладчика и призмы смеси груженого автосамосвала, сопротивления сил трения рабочих органов по укладываемой смеси и сопротивления от сил инерции автосамосвала и укладчика при движении после их остановок.

Необходимая мощность двигателя асфальтоукладчика подсчитывается как сумма мощностей, затрачиваемых на работу механизмов машины:  $N_1$  - мощность на передвижение укладчика;  $N_2$  - мощность на работу скребковых конвейеров;  $N_3$  - мощность на привод распределительных шнеков;  $N_4$  - мощность на работу трамбующего бруса;  $N_5$  - мощность на привод вибрационной плиты;  $N_6$  - мощность привода вспомогательных механизмов.

#### Расчетная часть

Общее сопротивление, возникающее при передвижении асфальтоукладчика ( $H$ ):

$$\Sigma W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5, \quad (8.1)$$

где  $W_1$  - сопротивления перемещению ходовой части укладчика, Н;

$W_2$  - сопротивление от перемещения призмы смеси, укладываемой уплотняющим брусом, Н;

$W_3$  - сопротивление перемещению при толкании груженого автосамосвала, Н;

$W_4$  - сопротивление сил трения рабочих органов по поверхности укладываемой смеси, Н;

$W_5$  - сопротивление от сил инерции груженого автосамосвала и асфальтоукладчика при возобновлении движения после вынужденных остановок, Н.

Сопротивление перемещению ходовой части как тележки  $W_1$ , Н:

$$W_1 = g(m_a + m_{см})(f_1 + i), \quad (8.2)$$

где  $m_a$  - масса асфальтоукладчика, кг;  $m_a = 56\Pi_a + 4600$ ;

$m_{см}$  - масса смеси в бункере, кг;

$f_1$  - коэффициент сопротивления перекачиванию гусеничного хода по основанию (меньшее значение) или нижнему слою асфальтобетона;  $f_1 = 0,003 \dots 0,04$ ;

$i$  - наибольший продольный уклон асфальтобетонных покрытий;

$i = 0,07$ ;

$g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.

$$m_a = 56 \cdot 110 + 4600 = 10760 \text{ кг}.$$

$$W_1 = 9,81 \cdot (10760 + 3600) \cdot (0,0035 + 0,07) = 10554,6 \text{ Н}.$$

Сопротивление от перемещения призмы смеси, укладываемой уплотняющим брусом  $W_2$ , Н

$$W_2 = gm_{пр}f_2, \quad (8.3)$$

где  $m_{пр}$  - масса призмы смеси, кг;

$f_2$  - коэффициент трения смеси по смеси;  $f_2 = 0,8$ .

$$m_{np} = BH_n^2 \frac{\gamma_1}{3} \quad (8.4)$$

где  $H_{np}$  - высота призмы волочения, м.

Принимается равной высоте установки шнека, т. е.  $H_{np} = D_{ш} + h$ .

$$H_{np} = 0,3 + 0,1 = 0,4 \text{ м};$$

$$m_{np} = 0,35 \cdot 0,4^2 \cdot \frac{1800}{3} = 336 \text{ кг};$$

$$W_2 = 9,81 \cdot 336 \cdot 0,8 = 2688 \text{ Н}.$$

Сопротивление перемещению при толкании груженого автосамосвала  $W_3$ , Н:

$$W_3 = g(m_c + m'_{см})(f_k + i), \quad (8.5)$$

где  $m_c$  - масса заправленного порожнего автосамосвала, т ;

$m'_{см}$  - масса асфальтобетонной смеси в кузове автосамосвала

(соответствует его грузоподъемности), т;

$f_k$  - коэффициент сопротивления перекатыванию колес

автосамосвала с жесткими шинами по щебеночному основанию;

$$f_k = 0,06.$$

$$W_2 = 9,81 \cdot (8850 + 10000) \cdot (0,06 + 0,07) = 24505 \text{ Н}.$$

Сопротивление сил трения рабочих органов по поверхности укладываемой смеси  $W_4$ , Н:

$$W_4 = gm_p f_p, \quad (8.6)$$

где  $m_p$  - масса рабочих органов и механизмов, воздействующая на покрытие через выглаживающую плиту, кг;  
 $f_p$  - коэффициент трения скольжения рабочих органов по смеси.

$$m_p = K_{\epsilon} m_a, \quad (8.7)$$

где  $K_{\epsilon}$  - коэффициент, зависящий от ширины уплотняемой полосы;  
 $K_{\epsilon} = 0,029B + 0,07$ .

$$m_p = 0,17 \cdot 10760 = 1829,2 \text{ кг.}$$

$$W_4 = 9,81 \cdot 1829,2 \cdot 0,460 = 8414,3 \text{ Н.}$$

Сопротивление от сил инерции груженого автосамосвала и асфальтоукладчика при возобновлении движения после вынужденных остановок  $W_5$ , Н:

$$W_5 = \frac{(m_a + m_c + m_{cv} + m'_{cm})v}{t_p}, \quad (8.8)$$

где  $t_p$  - время разгона,  $t_p = 1 \dots 2$  с;

$v$  - рабочая скорость передвижения машин, м/с;  $v = 0,04$  м/с.

$$W_5 = \frac{(10760 + 3600 + 8850 + 10000) \cdot 0,04}{1,5} = 885,6 \text{ Н.}$$

Общее сопротивление, возникающее при передвижении асфальтоукладчика, равно:

$$\Sigma W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5. \quad (8.9)$$

$$\Sigma W = 10554,6 + 2688 + 24505 + 8414,3 + 885,6 = 47047,5 \text{ Н.}$$

Для обеспечения нормальной работы асфальтоукладчика без пробуксовки необходимо, чтобы тяговое усилие по сцеплению было достаточным для преодоления всех сопротивлений, возникающих при работе машины:

$$g m_a \varphi_{cy} \geq \Sigma W, \quad (8.10)$$

где  $\varphi_{cy}$  - коэффициент сцепления движителя асфальтоукладчика для щебеночного (меньшее значение) или асфальтового основания;  $\varphi_{cy} = 0,5 \dots 0,8$ .

$$10 \cdot 10760 \cdot 0,8 \geq 47047,5 \text{ Н;}$$

86080  $\geq$  47047,5 Н – условие выполняется.

Общая мощность двигателя асфальтоукладчика равна сумме мощностей, расходуемых на передвижение машины и работу его механизмов, (кВт):

$$\Sigma N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6, \quad (8.11)$$

где  $N_1$  - мощность расходуемая на передвижение укладчика. кВт;

$N_2$  - мощность расходуемая на работу скребковых конвейеров, кВт;

$N_3$  – мощность расходуемая на привод распределительных шнеков, кВт;

$N_4$  – мощность расходуемая на работу трамбующего бруса, кВт;

$N_5$  - мощность расходуемая на привод вибрационной плиты, кВт;

$N_6$  - мощность расходуемая на привод вспомогательных механизмов, кВт.

Мощность  $N_1$ , расходуемая на передвижение асфальтоукладчика, определяется в зависимости от суммы всех сопротивлений, возникающих при движении машины, кВт:

$$N_1 = \sum \frac{W_v}{1000\eta_m}, \quad (8.12)$$

где  $\eta_m$  - коэффициент полезного действия трансмиссии;  $\eta_m=0,7\dots0,9$  (меньшие значения для гусеничного хода).

$$N_1 = \frac{47047,5}{1000 \cdot 0,7} = 67,2 \text{ кВт}.$$

Мощность  $N_2$  расходуется на перемещение и подъем материала, на преодоление сил трения, возникающих между слоями смеси, находящейся на скребковом питателе и в бункере, кВт:

$$N_2 = \frac{W_c v_c}{1000\eta_c}, \quad (8.13)$$

где  $W_c$  - сопротивление перемещению смеси и цепи со скребками, Н.

$v_c$  - скорость движения скребков;  $v_c=2,2$  м/мин.

$\eta_c$  - КПД привода питателя;  $\eta_c=0,9$ ;

$$W_c = 20000l_c h_3 L_n f_m \gamma_1, \quad (8.14)$$

где  $L_n$  - длина транспортера, м;

$f_m$  - коэффициент сопротивления транспортированию смеси;  $f_m=0,2$ ;

$l_c$  и  $h_3$  - длина одного скребка и высота щели под заслонкой, м;

$$W_C = 20000 \cdot 0,5 \cdot 0,1 \cdot 2,25 \cdot 0,2 \cdot 1,8 = 810 \text{ Н}.$$

$$N_2 = \frac{810 \cdot 2,2}{1000 \cdot 0,9} = 1,98 \text{ кВт}.$$

Мощность привода распределительных шнеков  $N_3$  определяется по формуле, кВт:

$$N_3 = \frac{2\Pi_{ш} L_c \omega_{см} g K_{зн} K_{ш}}{3600 \eta_{ш}}, \quad (8.15)$$

где  $K_{зн}$  - коэффициент запаса;  $K_{зн} = 1,2 \dots 1,5$ ;

$K_{ш}$  - коэффициент, учитывающий расход смеси через распределительные шнеки;  $K_{ш} = 0,6$ ;

$\Pi_{ш}$  - производительность одного шнека, т/ч;  $\Pi_{ш} = 82,5$  т/ч;

$L_c$  - максимальный путь перемещения смеси;  $L_c = B$ ;

$\omega_{см}$  - коэффициент, характеризующий свойства смеси;  $\omega_{см} = 5$ ;

$\eta_{ш}$  - КПД привода шнека;  $\eta_{ш} = 0,9$ .

$$N_3 = \frac{2 \cdot 82,5 \cdot 3,5 \cdot 5 \cdot 9,81 \cdot 1,3 \cdot 0,6}{3600 \cdot 0,9} = 6,9 \text{ кВт}.$$

Сила трения трамбующего бруса о выглаживающую плиту равна, Н:

$$F'_{тр} = (W'_2 + S_{np}) f_{бр}, \quad (8.16)$$

где  $W'_2$  - сопротивление перемещению призмы смеси перед брусом;

$S_{np}$  - давление поджимной пружины.

Таким образом:

$$F'_{mp} = W_2 f_{\bar{b}p}, \quad (8.17)$$

где  $f_{\bar{b}p}$  - коэффициент трения трамбуемого бруса о плиту;

$$f_{\bar{b}p} = 0,2 \dots 0,3.$$

$$F'_{mp} = 0,2 \cdot 2688 = 537,6 \text{ Н}.$$

Сила трения трамбуемого бруса об асфальтобетонную смесь при его возвратно-поступательном движении, Н:

$$F''_{\bar{p}} = W_2 f_p, \quad (8.18)$$

$$F'_{mp} = 2688 \cdot 0,46 = 1236,5 \text{ Н}.$$

Суммарное сопротивление сил трения, Н:

$$F_{mp} = F'_{mp} + F''_{mp}. \quad (8.19)$$

Работа суммарной силы трения за один оборот вала привода трамбуемого бруса, Дж:

$$A_{mp} = 4F_{mp} r_{\bar{b}p}, \quad (8.20)$$

где  $r_{\bar{b}p}$  - эксцентриситет вала привода трамбуемого бруса;  $r_{\bar{b}p} = 0,05h$ .

$$A_{mp} = 4 \cdot 1774 \cdot 0,005 = 35,5 \text{ Дж}.$$

Удельное сопротивление со стороны смеси при движении бруса вниз при малой ширине бруса можно принять постоянным и равным  $P_1$ , т.е. равным давлению под передней кромкой выглаживающей плиты. Тогда суммарная сила давления бруса на смесь при его движении вниз, Н:

$$P = P_1 F_{\bar{o}p},, \quad (8.21)$$

где  $P_1 = 10000$  Па;

$$F_{\bar{o}p} = B l_{\bar{o}p}, \quad (8.22)$$

где  $l_{\bar{o}p}$  - ширина кромки ножа бруса, м;  $l_{\bar{o}p} = 0,03$  м;

$$F_{\bar{o}p} = 3,5 \cdot 0,03 = 0,1 \text{ м}^2.$$

$$P = 10000 \cdot 0,1 = 1000 \text{ Н}.$$

Работа на уплотнение смеси, Дж:

$$A_{yn} = 2rP, \quad (8.23)$$

$$A_{yn} = 2 \cdot 0,005 \cdot 1000 = 10 \text{ Дж}.$$

Суммарная работа, Дж:

$$A = A_{mp} + A_{yn}, \quad (8.24)$$

$$A = 35,5 + 10 = 45,5 \text{ Дж}.$$

Мощность  $N_4$ , расходуемая на работу трамбующего бруса, кВт:

$$N_4 = \frac{\beta A n_{\bar{\sigma}}}{1000 \eta_{\bar{\sigma}p}}, \quad (8.25)$$

где  $\beta$  - коэффициент, учитывающий неравномерность нагрузки за счет

инерции и веса самого груза;  $\beta = 1,3 \dots 1,4$ ;

$n_{\bar{\sigma}}$  - угловая скорость вала привода бруса, об/с;  $n_{\bar{\sigma}} = 26$  об/с;

$\eta_{\bar{\sigma}p}$  - КПД привода трамбующего бруса;

$$N_4 = \frac{1,3 \cdot 45,5 \cdot 26}{1000 \cdot 0,9} = 1,71 \text{ кВт}.$$

На данном асфальтоукладчике применяется статическая выглаживающая плита.  $N_5$  - не учитывается.  $N_5=0$ .

Мощность привода вспомогательных механизмов  $N_6$  (топливного насоса и воздухоподогревателя системы обогрева выглаживающей плиты) составляет 1,5...2,0 кВт.

$$N_6 = 2 \text{ кВт}.$$

Общая мощность двигателя асфальтоукладчика равна сумме мощностей, расходуемых на передвижение машины и работу его механизмов:

$$\Sigma N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6, \quad (8.26)$$

$$\Sigma N = 67,2 + 1,98 + 6,9 + 1,71 + 0 + 2 = 79,79 \text{ кВт}.$$

По рассчитанной мощности выбирается соответствующий двигатель.

Выбираем дизельный двигатель марки А-01М.

**Расчет объемов работ и потребности в материалах при строительстве  
дорожных одежд**

Теоретические сведения

Дорожные одежды по характеру сопротивления нагрузок от транспортных средств и по реакции на климатические воздействия подразделяются на жесткие с покрытием из цементобетона, железобетонных плит, а также с асфальтобетонным покрытием на цементобетонном основании и нежесткие с покрытием из асфальтобетона, кроме укладываемого на цементобетонное основание, с покрытиями и слоями оснований из каменных, щебеночных, гравийных материалов, грунтов и местных материалов.

Конструкция дорожной одежды в зависимости от категории дороги, материалов для ее устройства и почвенно-грунтовых условий земляного полотна может быть однослойной и многослойной, а по форме поперечного сечения серповидной, полукорытной и корытной.

Все конструктивные слои дорожной одежды и укрепительные работы (за исключением высевания смеси семян трав на откосах земляного полотна) выполняют в строгой технологической последовательности в соответствии со СП 78.13330.2012.

Составляемая технологическая карта, кроме описания последовательности выполнения операций по устройству каждого конструктивного слоя дорожной одежды, а также расчета необходимого количества машин и рабочей силы в смену, дает возможность получить составы звеньев.

Основным источником получения норм времени работы машин и дорожных рабочих являются сборники СНиП. При отсутствии норм времени эксплуатации машин необходимо рассчитать их сменную производительность.

В процессе расчетов по составлению технологической карты следует стремиться к наименьшему количеству захваток и минимальным технологическим разрывам в потоке. Во всех случаях следует стремиться к максимальной загрузке

всех машин в отряде, в первую очередь ведущих и дорогостоящих машин. Коэффициент их использования в течение смены должен быть близок к единице, но можно допускать повышенную загрузку отдельных машин до 1,1.

При составлении технологической карты не учитываются работы, связанные с обустройством дороги, поскольку данные работы выполняются отдельным звеном с достаточно большой скоростью потока.

### Расчетная часть

#### Вариант 1

При выполнении расчетов объемов работ строительства дорожной одежды необходимо учитывать:

1. Объем работ по строительству дополнительных слоев оснований из песка, песчано-гравийной смеси, щебня, шлака принято рассчитывать в «м<sup>3</sup>», остальных слоев дорожной одежды в «м<sup>2</sup>»;

2. Если поперечное сечение конструктивного слоя дорожной одежды имеет трапециевидальную форму, то ширина слоя измеряется по средней линии;

3. В показатели объемов работ по строительству оснований и покрытий включать площади укрепленных полос обочин, так как их конструкция аналогична конструкции дорожной одежды.

Для определения объемов работ разрабатываем схему конструкции дорожной одежды и определяем размеры геометрических элементов данной конструкции.

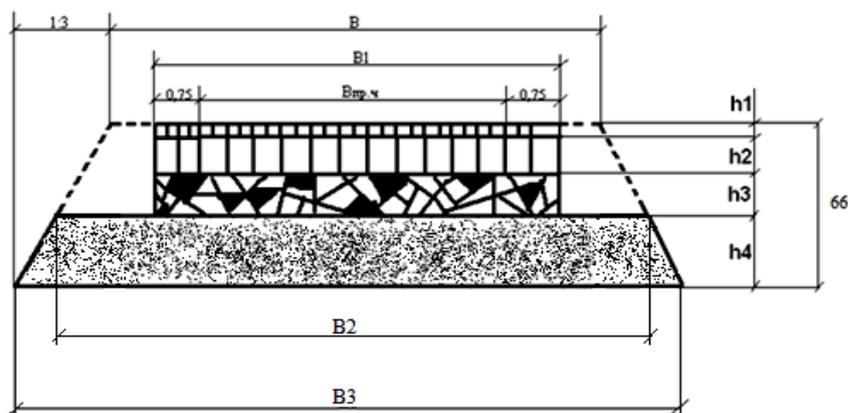


Рисунок 9.1 – Схема конструкции дорожной одежды

$B_{\text{пр.ч}}$  – ширина проезжей части;

$B_1$  – ширина проезжей части с учетом укрепительных полос;

$B$  – ширина земляного полотна;

$B_2$  – ширина дополнительного слоя основания по верху;

$B_3$  – ширина дополнительного слоя основания по низу.

Выполняем расчет размеров геометрических элементов конструкции дорожной одежды:

$$B_1 = b + 2C = 7,5 + 2 \cdot 0,75 = 9 \text{ м.} \quad (9.1)$$

$$B_2 = B + 2m \cdot (h_{\text{д.о}} - h_{\text{д.с.о}}) = 15 + 2 \cdot 3(0,66 - 0,35) = 16,86 \text{ м.} \quad (9.2)$$

$$B_3 = B_2 + 2 \cdot m \cdot h_{\text{д.о}} = 16,86 + 2 \cdot 3 \cdot 0,35 = 18,96 \text{ м.} \quad (9.3)$$

Расчет объемов работ для строительства верхнего слоя покрытия:

$$V_{\text{в.п}} = L_{\text{д}} \cdot B_1 = 3932 \cdot 9 = 35388 \text{ м}^2. \quad (9.4)$$

Расчет объемов работ для строительства нижнего слоя покрытия:

$$V_{\text{н.п}} = L_{\text{д}} \cdot B_1 = 3932 \cdot 9 = 35388 \text{ м}^2. \quad (9.5)$$

Расчет объемов работ для строительства основания:

$$V_{\text{о}} = L_{\text{д}} \cdot B_1 = 3932 \cdot 9 = 35388 \text{ м}^2. \quad (9.6)$$

Расчет объемов работ для строительства дополнительного слоя основания:

$$\begin{aligned} V_{\text{д.с.о}} &= L_{\text{д}} \cdot 0,5 \cdot (B_2 + B_3) \cdot h = \\ &= 3932 \cdot 0,5 \cdot (16,86 + 18,96) \cdot 0,35 = 24647,742 \text{ м}^3. \end{aligned} \quad (9.7)$$

Определяем площадь укрепления обочин:

$$S_{y.o} = (B - B_1) \cdot L_d = (15 - 9) \cdot 3932 = 23592 \text{ м}^2. \quad (9.8)$$

Значения определенных объемов работ заносят в сводную ведомость.

Потребность в дорожно-строительных материалах в расчете на километр магистрали и веток должна быть определена для каждого конструктивного слоя и разновидности материала. Она определяется по формуле:

$$V = 1000 \cdot B_0 \cdot h_c \cdot K_{пр} \cdot K_{уш} \cdot K_{упл}, \quad (9.9)$$

где  $V$  – требуемое количество материала,  $\text{м}^3/\text{км}$ ;

$B_0$  – ширина проезжей части дороги, м;

$h_c$  – толщина конструктивного слоя, м;

$K_{пр}$  – коэффициент, учитывающий поперечный профиль дорожной одежды;

$K_{уш}$  – коэффициент, учитывающий уширение дорожной одежды на кривых в плане;

$K_{упл}$  – коэффициент уплотнения материала при укатке.

Если дорожная одежда устраивается из гравийной смеси, то потребность в гравии определяется по формуле:

$$V_d = V \cdot 0,01 \cdot P \cdot K_{пот}, \quad (9.10)$$

где  $V_d$  – необходимое количество гравия,  $\text{м}^3/\text{км}$ ;

$P$  – процентное содержание гравия;

$K_{пот}$  – коэффициент, учитывающий потери материала в технологическом процессе устройства дорожной одежды.

Принимаем для магистрали серповидный профиль дорожной одежды. Тогда потребность в дорожно-строительных материалах в расчете на километр магистрали:

$$\begin{aligned} V_{\text{опт.гр.см}} &= 1000 \cdot B_0 \cdot h_c \cdot K_{пр} \cdot K_{уш} \cdot K_{упл} = \\ &= 1000 \cdot 4,5 \cdot 0,30 \cdot 1,2 \cdot 1,05 \cdot 1,15 = 1956 \text{ м}^3/\text{км}. \end{aligned} \quad (9.11)$$

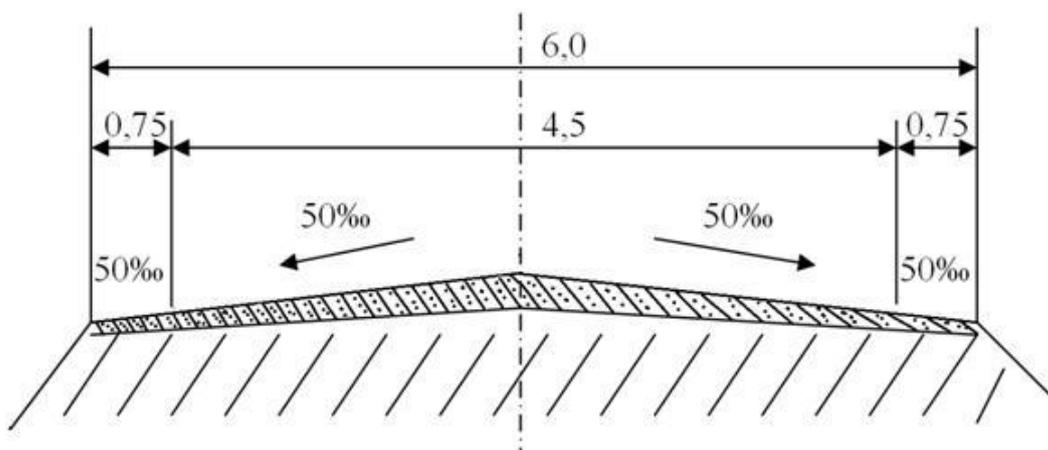
Принимаем для ветки серповидный профиль дорожной одежды. Тогда потребность в дорожно-строительных материалах в расчете на километр ветки

$$V_{гр-гр} = 1000 \cdot B_0 \cdot h_c \cdot K_{пр} \cdot K_{уш} \cdot K_{упл} =$$

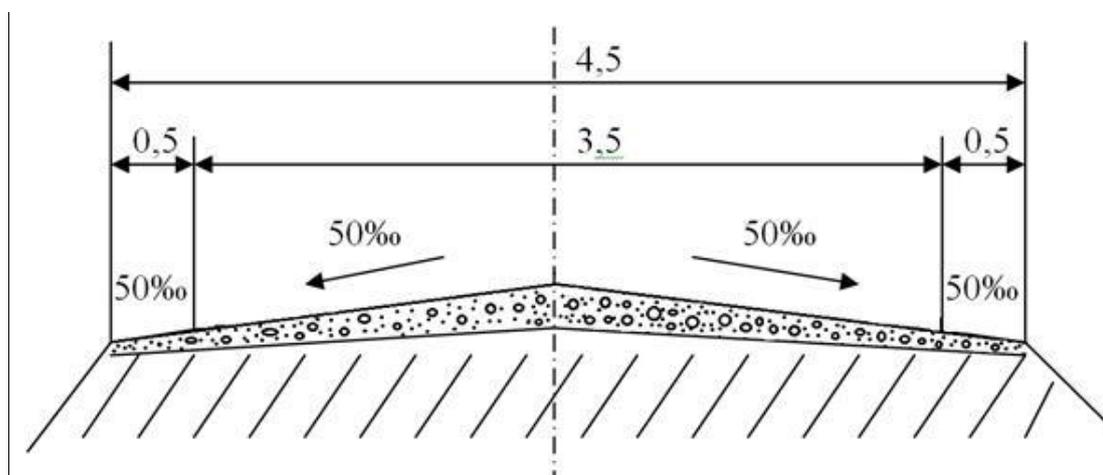
$$= 1000 \cdot 3,5 \cdot 0,3 \cdot 1,2 \cdot 1,05 \cdot 1,15 = 1522 \text{ м}^3/\text{км}. \quad (9.12)$$

Потребность в гравии определяется по формуле:

$$V_{д} = V \cdot 0,01 \cdot P \cdot K_{пот} = 1522 \cdot 0,01 \cdot 60 \cdot 1,02 = 932 \text{ м}^3/\text{км} \quad (9.13)$$



а) на магистрали – однополосная дорожная одежда из оптимальной гравийной смеси



б) на ветке – однослойная дорожная одежда из грунтогравия

Рисунок 9.2 – Поперечные профили дорожных одежд

Результаты расчетов сводим в табл. 9.1.

Таблица 9.1 - Ведомость потребности в дорожно-строительных материалах на 1 км дороги

Наименование материала	Категория дороги	
	Магистраль	Ветка
	Расход материалов для устройства дорожной одежды	
1. Оптимальная гравийная смесь, м <sup>3</sup>	1956	-
2. Грунтогравий, м <sup>3</sup> в т. ч. гравий (60%), м <sup>3</sup>	-	1522 932

### Вариант 2

При строительстве нежестких дорожных одежд ведущей машиной является асфальтоукладчик. Длина захватки определяется в зависимости от температуры асфальтобетонной смеси, температуры окружающей среды, скорости ветра и рабочей скорости дорожных машин по формуле:

$$L_{\text{сум}} = L_{\text{к.д.}} + L_{\text{к.с.}} + L_y, \quad (9.14)$$

где  $L_{\text{сум}}$  – расчетная длина захватки, м;

$L_y$  – частная длина захватки при работе асфальтоукладчика, м;

$L_{\text{к.с.}}$  – частная длина захватки при работе катка в статическом режиме, м;

$L_{\text{к.д.}}$  – частная длина захватки при работе катка в динамическом режиме, м.

$$L_y = V_y \cdot T_y, \quad (9.15)$$

где  $V_y$  – рабочая скорость работы укладчика, м/мин.;

$T_y$  – время работы укладчика, мин.

$$L_{\kappa} = \frac{V_{\kappa} \cdot T_{\kappa}}{N_m \cdot N_c}, \quad (9.16)$$

где  $V_{\kappa}$  – скорость катка, м/мин.;

$T_{\kappa}$  – время работы катка, мин.;

$N_m$  – целое число полос по ширине покрытия;

$N_c$  – необходимое число проходов по одному следу.

$$V_{\kappa} = V_y \cdot N_m \cdot N_c, \quad (9.17)$$

Объем необходимого материала для устройства дорожной одежды определяется по ее геометрическим размерам:

$$V = L \cdot B_i \cdot h_i \cdot K_y \cdot K_n \cdot K_m, \quad (9.18)$$

где  $L$  – длина строящейся дороги, м;

$B_i$  – ширина укладки слоя материала, м;

$h_i$  – толщина слоя отсыпки материалов, м;

$K_y$  – коэффициент запаса на уплотнение;

$K_n$  – коэффициент потерь при производстве работ;

$K_m$  – коэффициент потерь материалов при транспортировке.

Производительность машин и механизмов (с учетом сменности и числа рабочих дней) определяется расчетом или по нормативным документам с учетом определенного измерителя работ.

При использовании нормативных документов производительность машин и механизмов ( $\Pi$ ) определится по формуле:

$$\Pi = \frac{T \cdot Q}{H_{\text{вр}}}, \quad (9.19)$$

где  $T$  – продолжительность смены, ч;

$Q$  – измеритель,  $m^2$ ,  $1000 m^2$ ,  $m^3$  и др.;

$N_{вр}$  – норма времени на измеритель, ч.

При этом напомним, что длина сменной захватки численно равна сменной скорости потока.

#### Слои конструкции дорожной одежды:

1. Одиночная поверхностная обработка.

2. Верхний слой покрытия – горячая плотная мелкозернистая асфальтобетонная смесь типа Б марки I, толщиной 0,06 м.

3. Нижний слой покрытия – горячая пористая крупнозернистая асфальтобетонная смесь типа Б марки II, толщиной 0,08 м.

4. Верхний слой основания – черный щебень, толщиной 0,1 м.

5. Нижний слой основания – щебень, уложенный по способу заклинки, толщиной 0,16 м.

6. ПЩС – 0,29 м.

Максимальное время укладки и уплотнение горячей асфальтобетонной смеси при температуре наружного воздуха  $+17,8$  °С в июле месяце должно быть не более 37 мин., толщина слоя 6 см.

Рассчитываем время работы каждой машины, асфальтоукладчик –  $0,25 \cdot 37 = 9,25$  мин., средний каток –  $0,25 \cdot 37 = 9,25$  мин., тяжелый каток –  $0,50 \cdot 37 = 18,5$  мин.

Для уплотнения используем самоходный комбинированный каток ДУ– 84, при работе в статическом режиме в качестве среднего катка и в динамическом – в качестве тяжелого катка.

Так как общая ширина укладки асфальтобетонной смеси для III технической категории на ширину проезжей части с учетом укрепительных полос со-

ставляет 8,0 м ( $7,0 + 2 \cdot 0,5$ ), а ширина укладываемой полосы укладчиком составляет 3,0...4,5 м, то принимаем 2 полосы раскладки смеси шириной по 4,00 м каждая. Ширина полосы уплотнения для катка ДУ-84 составляет 2 м.

Число уплотняемых полос по ширине асфальтоукладчика определяется по формуле:

$$N_m = (B_y - a) / (B_k - a) = (4,00 - 0,25) / (2 - 0,25) = 2 \text{ полосы,}$$

где  $B_y$  – ширина укладки асфальтобетонной смеси укладчиком, м;

$B_k$  – ширина полосы уплотнения катком, м;

$a$  – ширина перекрытия соседних полос катка, м;

Так как ДУ-84 комбинированный каток, пневмоколеса производят предварительное уплотнение. Уплотнение покрытия в статическом режиме производят при 8 проходах по одному следу, а в динамическом при 10 проходах по одному следу. При скорости укладчика  $V_y = 8$  м/мин.

Скорость движения катка определяется по формуле:

$$V_k = V_y \cdot N_m \cdot N_c = 8 \cdot 2 \cdot 8 = 128 \text{ м/мин.} = 11,5 \text{ км/ч,}$$

где  $V_y$  – рабочая скорость движения укладчика, м/мин.;

$N_m$  – целое число полос по ширине покрытия;

$N_c$  – необходимое число проходов по одному следу.

Максимальная скорость катка по паспорту составляет 5,5 км/ч, поэтому перерасчета скорости укладчика не производим.

Рассчитываем суммарную длину захватки, исходя из частных составляющих для выполнения технологических операций укладки и уплотнения:

– для асфальтоукладчика:

$$L_y = V_y \cdot T_y = 8 \cdot 9,25 = 65 \text{ м;}$$

– для катка при работе в статическом режиме:

$$L_{\text{кв}} = (V_{\text{к}} \cdot T_{\text{к}}) / (N_{\text{м}} \cdot N_{\text{с}}) = (192 \cdot 9,25) / (2 \cdot 8) = 74 \text{ м};$$

– для катка при работе в динамическом режиме:

$$L_{\text{кд}} = (192 \cdot 18,5) / (2 \cdot 8) = 222 \text{ м.}$$

$$L_{\text{сумм}} = 361 \text{ м.}$$

Длина захватки должна быть кратной 25 м для наиболее эффективного использования дорожно-строительных машин и качественного уплотнения асфальтобетонного покрытия. Следовательно, принимаем длину захватки ( $L_{\text{захв}}$ ), равной 375 м.

*Определение потребности дорожно-строительных материалов для устройства дорожной одежды*

Количество материалов на захватку:

$$V_1 = 375 \cdot 16,36 \cdot 0,29 \cdot 1,25 \cdot 1,02 \cdot 1,01 = 2291 \text{ м}^3.$$

$$V_2 = 375 \cdot 8,54 \cdot 0,16 \cdot 1,25 \cdot 1,02 \cdot 1,01 = 660 \text{ м}^3.$$

$$V_3 = 375 \cdot 8,15 \cdot 0,10 \cdot 1,25 \cdot 1,02 \cdot 1,01 = 394 \text{ м}^3.$$

$$V_4 = 375 \cdot 8 \cdot 0,08 \cdot 1,22 \cdot 1,03 \cdot 1,01 = 305 \text{ м}^3.$$

$$V_5 = 375 \cdot 8 \cdot 0,06 \cdot 1,22 \cdot 1,03 \cdot 1,01 = 228 \text{ м}^3.$$

$$V_{\text{укр.об.}} = 375 \cdot 9,6 \cdot 0,14 \cdot 1,25 \cdot 1,02 \cdot 1,01 = 649 \text{ м}^3.$$

$$V_{\text{дос.об.}} = 375 \cdot 5,78 \cdot 0,26 \cdot 1,25 \cdot 1,02 \cdot 1,01 = 726 \text{ м}^3.$$

Количество материалов на всю дорогу (4,792 км):

$$V_1 = 4792 \cdot 16,36 \cdot 0,29 \cdot 1,25 \cdot 1,02 \cdot 1,01 = 29277 \text{ м}^3.$$

$$V_2 = 4792 \cdot 8,54 \cdot 0,16 \cdot 1,25 \cdot 1,02 \cdot 1,01 = 8432 \text{ м}^3.$$

$$V_3 = 4792 \cdot 8,15 \cdot 0,1 \cdot 1,25 \cdot 1,02 \cdot 1,01 = 5029 \text{ м}^3.$$

$$V_4 = 4792 \cdot 8 \cdot 0,08 \cdot 1,22 \cdot 1,03 \cdot 1,01 = 3892 \text{ м}^3.$$

$$V_{54} = 4792 \cdot 8 \cdot 0,06 \cdot 1,22 \cdot 1,03 \cdot 1,01 = 2919 \text{ м}^3.$$

$$V_{\text{УКР.ОБ.}} = 4792 \cdot 9,6 \cdot 0,14 \cdot 1,25 \cdot 1,02 \cdot 1,01 = 8294 \text{ м}^3.$$

$$V_{\text{ДОС.ОБ.}} = 4792 \cdot 5,78 \cdot 0,26 \cdot 1,25 \cdot 1,02 \cdot 1,01 = 9274 \text{ м}^3.$$

Все полученные результаты сводим в табл. 9.2.

Таблица 9.2 - Необходимое количество дорожно-строительных материалов

Наименование слоев дорожной одежды	Наименование материалов	Потребность материала, м <sup>3</sup>	
		на всю дорогу	на захватку 375 м
Нижний слой основания	Песчано-щебеночная смесь h = 29 см.	29277	2291
Слой основания	Щебень, уложенный по способу заклинки h = 16 см.	8432	660
Верхний слой основания	Черный щебень h = 10 см.	5029	394
Нижний слой покрытия	Горячая пористая асфальтобетонная смесь типа Б, марки II, h = 8 см.	3892	305
Верхний слой покрытия	Горячая плотная мелкозернистая асфальтобетонная смесь типа Б, марки I, h = 6 см.	2919	228
Досыпка обочин	Отсевы дробления 5 – 10 мм.	9274	726
Укрепление обочин	Щебень фракционный 20 – 40 мм, h = 0,14 м.	8294	649

**Решение технологических задач по производству асфальтобетонных работ**

**РАСЧЕТЫ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАШИН**

Расчет 1

**БУЛЬДОЗЕР**

Эксплуатационная производительность при резании и перемещении грунта:

$$\Pi = 3600 \cdot k_{\text{в}} \cdot V / t_{\text{ц}}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $k_{\text{в}}$  - коэффициент использования бульдозера по времени,  $k_{\text{в}} = 0,8 - 0,9$ ;

$V$  - объем грунта перед отвалом в плотном теле,  $\text{м}^3$ ,

$$V = \frac{B \cdot b^2 \cdot k_{\text{п}}}{2 \cdot k_{\text{р}}},$$

здесь  $B$  - длина отвала, м;

$b$  - высота отвала, м;

$k_{\text{п}}$  - коэффициент, учитывающий потери грунта и зависящий от дальности перемещения,  $k_{\text{п}} = 1 \dots 1,1$ ;

$k_{\text{р}}$  - коэффициент разрыхления грунта,  $k_{\text{р}} = 1,1 \dots 1,35$ ;

$t_{\text{ц}}$  - время цикла, с,

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{к}} + t_{\text{тр}} + t_{\text{хх}} + 20,$$

здесь  $t_{\text{к}}$  - время копания и набора призмы грунта, с,  $t_{\text{к}} = l_{\text{к}} / V_{\text{к}}$ ;

$l_{\text{к}}$  - длина пути резания,  $l_{\text{к}} = 6 \dots 10$  м;

$v_{\text{к}}$  - скорость движения при резании грунта,  $V_{\text{к}} = 0,4 \dots 0,5$  м/с;

$t_{\text{тр}}$  - время транспортирования, с,

$$t_{\text{тр}} = l_{\text{тр}} / V_{\text{тр}},$$

$l_{\text{тр}}$  - длина пути транспортирования, м;

$V_{\text{тр}}$  - скорость транспортирования,  $V_{\text{тр}} = 0,7 \dots 0,83$  м/с;

$t_{\text{хх}}$  - время холостого хода, с,

$$t_{\text{хх}} = l_{\text{тр}} / V_{\text{хх}},$$

$V_{xx}$  - скорость при обратном ходе, для колесных машин не менее 2,8 м/с, для машин с полужесткой и балансирной подвеской гусениц - не более 1,9 м/с, а с эластичной и балансирно-звеньевой подвеской - не более 4 м/с.

## Расчет 2

### **РЫХЛИТЕЛЬ**

Эксплуатационная производительность при резании и перемещении грунта:

$$\Pi = 3600 \cdot k_b \cdot V / t_{ц}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $k_b$  - коэффициент использования рыхлителя по времени,  $k_b = 0,85 \dots 0,9$ ;

$V$  - объем разрыхленного грунта;

$$V = B \cdot h_{эф} \cdot L ,$$

здесь  $B$  - ширина полосы разрыхления, м,

$$B = k_{п} \cdot [b + 2 h_{эф} \cdot \text{ctg} \nu + z ( n - 1 )],$$

$k_{п}$  - коэффициент перекрытия,  $k_{п} = 0,75$ ;

$b$  - ширина наконечника;

$\nu$  - угол скола,  $\nu = 15 \dots 16$  ;

$z$  - шаг зубьев;

$n$  - число зубьев;

$h_{эф}$  - эффективная глубина рыхления, м,  $h_{эф} = (0,6 \dots 0,8) h$ ;

$h$  - глубина рыхления;

$L$  - длина пути рыхления, м;

$t_{ц}$  - продолжительность цикла, с;

$$t_{ц} = t_p + 20 ;$$

здесь  $t_p$  - время рыхления, с,  $t_p = l_p / V_p$ ;

$l_p$  - длина пути рыхления, м;

$V_p$  - средняя скорость рыхления,  $V_p$ .

## Расчет 3

### **АВТОГРЕЙДЕР**

Эксплуатационная производительность при профилировании участка:

$$\Pi = 3600 \cdot L \cdot B \cdot k_B / t, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $L$  - длина участка, м;

$B$  - длина отвала, м;

$k_B$  - коэффициент использования автогрейдера по времени,  $k_B = 0,8 \dots 0,9$ ;

$t$  - время, необходимое для профилирования участка дороги длиной  $L$ , с.

$$t = 2L \left( \frac{n_1}{V_1} + \frac{n_2}{V_2} + \dots + \frac{n_i}{V_i} \right) + 2nt_{\text{пов}},$$

здесь  $n_1, n_2, \dots, n_i$  - число проходов, выполняемых соответственно при зарезании, перемещении и отделке;

$V_1, V_2, \dots, V_i$  - скорости соответственно при зарезании, перемещении и отделке, м/с; зарезание грунта производят на скорости 0,83 ... 1,1 м/с, перемещение 0,83 ... 1,67 м/с, отделка 0,83 ... 1,1 м/с;

$t_{\text{пов}}$  - время вспомогательных операций, необходимых для поворота автогрейдера или его отвала на  $90^\circ$  на концах рабочего участка,  $t_{\text{пов}} = 60 \dots 150$  с.

#### Расчет 4

#### **СКРЕПЕР**

Эксплуатационная производительность,  $\text{м}^3/\text{ч}$ :

$$\Pi = 3600 \cdot V \cdot k_H \cdot k_B / (k_P \cdot t_{\text{ц}}),$$

где  $V$  - геометрическая вместимость ковша,  $\text{м}^3$ ;

$k_H$  - коэффициент наполнения ковша,  $k_H = 0,9 - 1,1$ ;

$k_B$  - коэффициент использования скрепера по времени,  $k_B = 0,8 \dots 0,9$ ;

$k_P$  - коэффициент разрыхления грунта,  $k_P = 1,1 \dots 1,35$ ;

$t_{\text{ц}}$  - время цикла, с,

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{наб}} + t_{\text{тр}} + t_{\text{раз}} + t_{\text{хх}} + 30,$$

здесь  $t_{\text{наб}}$  - время копания и набора грунта,  $t_{\text{наб}} = l_{\text{наб}} / V_{\text{наб}}$ ,  $l_{\text{наб}}$  - путь набора,  $l_{\text{наб}} = 20 \dots 30$  м;

$V_{\text{наб}}$  - скорость набора,  $V_{\text{наб}} = 0,5 \dots 0,7$  м/с;

$t_{\text{тр}}$  - время транспортирования, с,  $t_{\text{тр}} = l_{\text{тр}} / V_{\text{тр}}$ ;

$V_{тр}$  - скорость транспортирования составляет 0,8 скорости порожнего скрепера;

$t_{раз}$  - время разгрузки, с,  $t_{раз} = l_{раз} / V_{раз}$ ;

$l_{раз}$  - путь разгрузки, м;

$V_{раз}$  - скорость разгрузки,  $V_{раз} = 0,83 \dots 1,1$  м/с;

$t_{хх}$  - время холостого хода, с,  $t_{хх} = l_{тр} / V_{хх}$ ;

$V_{хх}$  - скорость порожнего скрепера.

## Расчет 5

### **ЭКСКАВАТОР**

Эксплуатационная производительность, м<sup>3</sup>/ч:

$$\Pi = 3600 \cdot q \cdot k_n \cdot k_b / k_p \cdot t_{ц},$$

где  $q$  - вместимость ковша, м<sup>3</sup>;

$k_n$  - коэффициент наполнения ковша,  $k_n = 0,75 \dots 1,4$ ;

$k_b$  - коэффициент использования машины по времени,  $k_b = 0,9 \dots 0,95$ ;

$k_p$  - коэффициент разрыхления,  $k_p = 1,1 \dots 1,5$ ;

$t_{ц}$  - время цикла, с,

$$t_{ц} = t_{коп.} + 2 t_{пов.} + t_{выгр.} + 20 ,$$

здесь  $t_{коп.} = 6 \dots 10$  с;

$$t_{пов.} = \alpha / 360 n ,$$

$n$  - обороты платформы, об/с;

$$t_{выгр.} = 2 \dots 5 \text{ с.}$$

## Расчет 6

### **КАТКИ**

Производительность машин (в м<sup>3</sup>/смену) непрерывного действия - трамбующей машины, катков, виброкатков и виброплит:

$$\Pi_{см} = \frac{(B - b) \cdot V \cdot 1000 \cdot h \cdot T}{m} \cdot k_B,$$

где  $B$  - ширина полосы уплотнения (катка или сцера), м;

$b$  - ширина перекрытия смежных полос уплотнения, м;

$V$  - средняя рабочая скорость движения, км / ч;

$H$  - толщина слоя эффективного уплотнения, м;

$T$  - продолжительность смены, ч;

$k_B$  - коэффициент использования времени смены,  $k_B = 0,85 \dots 0,95$ ;

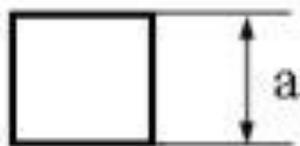
$m$  - необходимое число проходов по одному следу.

Производительность трамбующей плиты (в м<sup>3</sup>/смену):

$$\Pi_{\text{см}} = \frac{60 \cdot n \cdot (a - b)^2 \cdot h \cdot T}{m} \cdot k_B,$$

где  $n$  - число ударов плиты в минуту;

$a$  - размер опорной поверхности плиты.



### Расчет 7

#### **АВТОМОБИЛЬ-САМОСВАЛ**

Производительность автомобилей-самосвалов:

$$P = T \cdot K \cdot q / (21 / v + t),$$

где  $T = 8$  ч - продолжительность рабочей смены;

$K = 0,85$  - коэффициент внутрисменной загрузки;

$q$  - грузоподъемность машины, т;

$v = 20$  км/ч - средняя скорость движения;

$t = 0,2$  ч - время простоя под погрузкой и разгрузкой.

## Расчет 8

### **ПОЛИВОМОЕЧНАЯ МАШИНА**

Производительность поливомоечной машины:

$$P = T \cdot K \cdot Q / (2l / v + t_1 + t_2) ,$$

где  $T = 8$  ч - продолжительность смены;

$K = 0,85$  - коэффициент внутрисменного использования;

$Q = 6000$  л - вместимость цистерны;

$l$  - дальность возки, км;

$v = 20$  км/ ч - средняя скорость;

$t_1 = 0,16$  ч - время, затрачиваемое на заполнение цистерны водой из водоема насосом со скоростью 1800 л/мин (или 0,10 ч) с учетом времени, затрачиваемого на присоединение и отсоединение шланга (0,06 ч);

$t_2$  - время, затрачиваемое на слив (или розлив) воды.

## Расчет 9

### **АСФАЛЬТОУКЛАДЧИК**

Производительность асфальтоукладчика:

$$P_3 = 60 \cdot B \cdot v \cdot \rho \cdot h \cdot k_b ,$$

где  $B$  - ширина укладываемого слоя, м;

$v$  - рабочая скорость машины, м/мин;

$\rho$  - плотность укладываемой асфальтобетонной смеси, т/м<sup>3</sup>;

$h$  - толщина укладываемого слоя, м;

$k_b$  - коэффициент использования машины по времени,  $k_b = 0,6 \dots 0,9$ .

## Расчет 10

### **АВТОГУДРОНАТОР**

Производительность автогудронатора:

$$P_3 = 3600 \cdot V_{ц} \cdot k_B / T_{ц},$$

где  $V_{ц}$  - полезный объем цистерны, л;

$k_B$  - коэффициент использования машины по времени;

$T_{ц}$  - продолжительность рабочего цикла, с;

$$T_{ц} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6,$$

где  $t_1$  - время наполнения цистерны вяжущим материалом,  $t_1 = 600 \dots 900$  с;

$t_2$  - время транспортирования вяжущего материала к месту распределения, с,

$$t_2 = L / v_1,$$

где  $L$  - расстояние от битумохранилища до объекта, м;

$v_1$  - транспортная скорость груженого автогудронатора, м/с,

$$v_1 = 11,11 \text{ м/с (40 км/ч)};$$

$t_3$  - продолжительность розлива битума, с;

$$t_3 = V_{ц} / (v_p \cdot q \cdot B),$$

$v_p$  - рабочая скорость автогудронатора, м/с,  $v_p = 0,83 \dots 6,83$  м/с;

$q$  - норма розлива вяжущего, л/м<sup>2</sup>;

$B$  - ширина розлива, м,  $B = 4,0$  м;

$t_4$  - время, необходимое для переезда машины от объекта к битумохранилищу, с,

$$t_4 = L / v_2,$$

$v_2$  - скорость движения порожнего автогудронатора, м/с,  $v_2 = 16,67 \dots 23,61$  м/с;

$t_5$  - время на маневрирование автогудронатора на объекте и базе, с,

$$t_5 = 240 \dots 360 \text{ с};$$

$t_6$  - время на подготовку автогудронатора к работе, с,

$$t_6 = 300 \dots 360 \text{ с}.$$

### Расчет 11

## **РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Непрерывного действия:

$$P_3 = B \cdot v \cdot h \cdot k_B,$$

где  $B$  - ширина обрабатываемой полосы, м;

$v$  - рабочая скорость машины, м/ч;

$h$  - толщина слоя распределяемого материала, м;

$k_B$  - коэффициент использования машины по времени.

Циклического действия:

$$P_3 = 60 \cdot V \cdot k_B / T_{\text{ц}},$$

где  $V$  - объем бункера, м<sup>3</sup>;

$T_{\text{ц}}$  - продолжительность рабочего цикла, мин;

$$T_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3,$$

где  $t_1$  - продолжительность распределения материала, мин;

$$t_1 = V / (B \cdot h \cdot v);$$

$t_2$  - продолжительность погрузки, мин;

$t_3$  - вспомогательное время на подготовку машины к работе, мин.

## Приложения

### Техническая характеристика базовых моделей автогрейдеров

Параметры	Индекс машины								
	ДЗ-201	ДЗ-201.1	ГС-10.01	ДЗ-122Б	ДЗ-180А	А-120.1	ГС-18.03	ДЗ-198	ДЗ-98В
Класс	100	100	100	140	140	180	180	180	250
Двигатель:									
модель	Д-243	Д-65М1Л	Д-243	А-01МС	Д-260.2	ЯМЗ-236М2	ЯМЗ-236М2	Д-260.4	ЯМЗ-238НДЗ
мощность, кВт	57,4	44,1	58,7	100	96	132	132	147	173
Тип трансмиссии	Механическая			Гидромеханическая	Механическая	Гидромеханическая		Механическая	
Скорость движения вперед/назад, км/ч	2,0...33,0/ 5,4...9,2	6,3...20/ 0...3,4	2...35/ 4,2...9,4	7,4...36,7/ 7,7...25,2	3,8...40/ 6,3...28	до 30/ до 20	до 40/ до 22	3,9...35/ 3,9...20	до 41/ до 47
Колесная формула	Базовый трактор МТЗ 80/82	Базовый трактор ЛТЗ-60АВ	1х2х2	1х2х3	1х2х3	1х2х3	1х2х3	1х2х3	1х2х3
База, мм	5230	5210	4200	5830	6450	н/д	н/д	6210	6000
Колея колес передних/задних, мм	1640/1620	1495/1380	1800/1770	2000	2200	1950	н/д	2100	2622/2502
Дорожный просвет, мм	280	280	300	350	350	350	350	350	350
Радиус поворота, мм	8000	7600	4750	8000	8000	8000	8000	8000	1600

Продолжение приложения

Тип рамы	Жесткая		ШСР*	ШСР	ШСР	ШСР	ШСР	ШСР	Жесткая
Угол складывания шарнирно-сочлененной рамы, град	-	-	н/д	± 30	± 23	± 27	± 25	± 26	-
Смещение колес переднего моста, мм	-	-	н/д	до 2000	н/д	до 1900	н/д	н/д	н/д
Угол наклона передних колес, град	-	-	+ 20	± 20	+ 20	± 20	± 20	± 20	± 20
Рабочее оборудование:									
грейдерный отвал:									
размеры (длина x высота), мм	2500 x 500	2500 x 500	2730 x 470	3740 x 630	3740 x 620	3840 x 700	3740 x 620	3745 x 625	4200 x 700
максимальное за-глубление, мм	100	100	100	250	250	450	450	480	500
угол резания регулируемый, град	30...70	30...70	30...70	30...70	30...70	30...70	45	30...70	30...70
угол поворота в плане, град	± 34	± 32	± 45	360	360	360	360	360	360
боковой вынос, мм	500	500	600/400	800	800	935	700	700	1050
угол обрабатываемого откоса, град	—	—	-	0...90	0...90	0...90	н/д	0...90	0...90

Продолжение приложения

бульдозерный отвал:									
размеры (длина х высота), мм	2000 х 500	2000 х 500	2440 х 625	2480 х 840	2500 х 840	2520 х 1020	2500 х 800	н/д	3220 х 970
максимальное заглубление, мм	50	50	50	50	50	50	100	н/д	110
кирковщик (рыхлитель):									
число зубьев	-	-	-	4	3	5	5	н/д	5
ширина киркования, мм	-	-	-	1490	1300	1360	2100	н/д	1800
наибольшая глубина рыхления, мм	-	-	-	250	250	150	250	н/д	230
Габаритные размеры, мм	5230х2500х2850	5210х2500х2950	7140х2400х3220	10150х2500х3550	10150х2500х3550	10800х2620х3790	9950х2500х3450	8950х2490х3360	11000х3220х4000
Масса эксплуатационная, кг	6500	6250	7500	14 600	13 550	15 070	18 000	16 000	19 500
Изготовитель	ООО «РАМЗ Радицкий машиностроительный завод» (г. Брянск) (Промышленная группа СММ)	ОАО «Брянский арсенал»	ЗАО ОПК«Дормаш» (г. Орел)	ОАО «Брянский арсенал»	ЗАО «ЧСДМ» (г. Челябинск)	ООО «РАМЗ Радицкий машиностроительный завод» (г. Брянск)	ОАО «Брянский арсенал»	ЗАО «ЧСДМ» (г. Челябинск)	

## Распределители щебня

Производитель, страна	Индекс машины	Привод распределителя, тип	Емкость бункера, м <sup>3</sup>	Ширина распределения, м	Производительности м <sup>3</sup> /ч	Масса, т
ЗАО «Бецема», Россия	БЦМ-70 прицеп	От колеса	1,5	0,25-3,0	90	1,5
ОАО «Дробмаш», Россия	ДРО-645 прицеп	То же	1,3	0,25-3,05	139	2,5
ОАО НПО «Росдор-маш», Россия	Т-224 к трактору МТЗ-80/82	Гидравлич.	3,0	3,0	60	2,8
Arrow, Англия	SD. 4100 самоходн. 133 кВт	То же	4 + 2,5	0,35-4,1	-	11,3
Savalco, Швеция	HS 305	От колеса	1,3	3,05	-	1,225
	HS 355	То же	1,6	3,55	-	1,300
	HS 380	То же	1,7	3,80	-	1,339
	HS 420 прицеп к самосвалу	То же	1,9	4,20	-	1,390

## Распределители щебня навесные

Производитель, страна	Индекс оборудования	Привод распределителя, тип	Ширина распределения, м	Базовая машина, тип	Емкость бункера, м <sup>3</sup>	Масса, т
ОАО «Дробмаш», Россия	ДРО-644 к самосвалу	От колеса самосвала	0,25-2,0	Самосвал	1,0	0,27
Weisig Maschinenbau, Германия	Sinus 900 к самосвалу	То же	0,25-3,1	Самосвал	1,0	0,3
Rincheval, Франция	Sinus G.T.I.	То же	3,6-4,5 через 0,25	Самосвал	1,0	0,3

## Асфальтоукладчики

Производитель, страна	Индекс машины, тип хода	Ширина укладки, м	Произво- дитель- ность, т/ч	Вмести- мостьбун- кера, т	Мощность дви- гателя, кВт	Масса, т
ОАО «Радицкий машин- ный завод», Россия	ДС 191.504 кол.	3,0-4,5 (7,5)	500	14,0	74	18,0
	ДС 191.506 кол.	3,0-5,2 (6,2)	500	14,0	74	20,0
	АСФ-К-2-02 кол.	2,2-3,75	390	8,0	57,4	13,0
	АСФ-К-3-03 кол.	2,5-4,5 (6,5)	500	12,0	90,4	18,5
	АСФ-Г-4-01 гус.	2,5-6,5 (9,0)	600	14,0	90,4	22,0
ОАО «Брянский Арсе- нал», Россия	ДС-181 кол.	3,0-4,5 (7,5)	450	10,0	77,0	20,0
	Асф К-2 кол.	2,5-4,7	350	8,0	77,0	13,4
ОАО «Дороги России», Россия	СД-404 Б кол.	3,0-7,0	450	12,0	77,0	17,3
ОАО «Дормашина», Укра- ина	ДС-189 гус.	3,0-4,5	210	10,0	44	13,5
	ДС-195 гус.	3,0-4,5	210	10,0	44	13,5
	ДС-199 гус.	3,0-4,5	210	10,0	44	13,5
	ДС-200 кол.	2,5-4,5	210	12,0	44	13,5
	ДН-406 гус	3,0-9,0	500	12,0	103	18,0
Vogele, Германия	Super Boy гус.	1,1-2,6	50	3,5	31	4,8
	Super 1400 гус.	2,0-4,75	300	8,0	51,5	10,9
	Super 1600 гус.	2,5-8,0	390	13,0	84	17,2
	Super 1800 гус.	2,5-10,0	600	13,0	121	20,7
	Super 1900 гус.	2,5-10,0	700	13,0	129	22,3
	Super 2100 гус.	2,5-12,5	900	14,0	160	24,7
	Super 2500 гус.	3,0-16,0	1100	17,5	209	31,5
	Super 1203 гус.	1,7-4,0	150	10,0	57	9,5
	Super 1402 кол.	2,0-4,75	300	8,0	51,5	11,2
	Super 1603 кол.	2,5-8,0	390	13,0	84	16,4
	Super 1804 кол.	2,5-8,0	600	13,0	121	18,5
	Super 1903 кол.	2,5-8,5	700	13,0	111	19,5

Продолжение

Caterpillar, США	AP-650 В гус.	1,8-6,1	1300	10,0	70	13,16
	AP-800 С кол.	1,8-6,1	1801	11,0	80	13,58
	AP-900 В кол.	2,44-9,15	2134	12,2	115	17,13
	AP-100 В кол.	2,44-9,15	2177	12,2	130	19,46
	AP-1050 В гус.	2,44-9,15	2177	12,2	130	19,01
	AP-1055 В гус.	2,44-9,15	2177	12,2	130	19,36
	BG-210 В кол.	1,8-4,9	1222	9,6	80	11,78
	BG-230 В кол.	1,8-6,1	1801	11,0	80	15,19
	BG-240 С кол.	2,44-7,3	2134	12,2	115	18,10
	BG-260 С кол.	2,44-7,9	2177	12,2	130	19,46
	BG-225 С гус.	1,8-6,1	1300	10,0	90	13,16
	BG-245 С гус.	2,44-9,15	2177	12,2	130	19,01
	BG-2455 С гус.	2,44-9,15	2177	12,2	130	19,36
ABG-Ingersoll Rand, Германия	Titan 111 гус.	1,5-4,0	300	8,0	42	8,4
	Titan 135 гус.	1,75-4,0	200	7,5	43	7,0
	Titan 223 гус.	2,5-7,0	600	13,5	79	15,9
	Titan 225 гус.	2,5-7,5	600	13,5	100	17,4
	Titan 323 гус.	2,5-9,0	600	13,5	106	20,0
	Titan 324 гус.	2,5-8,5	600	13,5	106	25,0
	Titan 325 гус.	2,5-10,0	600	13,5	126	18,1
	Titan 423 гус.	2,5-12,0	800	14,0	126	25,6
	Titan 511 гус.	2,0-12,5	1200	15,0	167	33,0
	Titan 273 кол.	2,5-7,0	500	12,0	87	15,9
	Titan 455 кол.	2,5-9,0	600	12,0	79	17,8

### Подборщики и перегружатели

Производитель, страна	Индекс машины, тип	Производительность, т/ч	Вместимость бункера, м <sup>3</sup>	Мощность двигателя, кВт	Прием смеси, тип	Масса, т
Vogele, Германия	MT-1000 загрузчик	700	20	108	Из самосвала	16
Metso Minerals, Финляндия	MF-250 загрузчик	1440	14	123	То же	14,7
Roadtec, США	SB-1500 перегруж.	544	13,6	137	То же	27,2
	SB-2500 перегруж.	544	22,7	206	То же	34,5
Blaw-Knox, США	MC-330 конвейер-перегр.	544	27,2	137	То же	25,5
Caterpillar, США	BG-650 подбор.	1829	-	80	Из валика	7,98
Cedarapids, США	CR MS-1 подбор.	900	-	75	То же	6,81
	CR MS-2 подбор.	900	-	57	То же	6,13
	CR MS-3 подбор.	900	-	67	То же	8,53

### Битумощебнераспределители

Производитель, страна	Индекс машины, тип	Базовое шасси	Ширина обработки, м	Емкость бака, м	Емкость бункера, м	Загрузка щебня
ОАО «Кургандор маш», Россия	ДС-180 полуприцеп	КамАЗ-54112	2.66 по вяж. 2.50 по щебню	4,0	7,0	Из самосвала сзади
ОАО «Самарский завод «Строммашина», Россия	БШР-375 прицеп	Битумовоз ДС-138	3,75	-	7,5	То же
ОАО «Дороги России», Россия	РД-701 прицеп	Трактор Т-150 К	3,5	6,0	6,0	То же
ПКМП «Белдортехника», Беларусь	БД-131 прицеп	Автогудронатор АРБ-7	3,5	3,0	7,0	То же

Продолжение

ДП «Новая техника», ОАО «Дормашина», Украина	ДН-008 полуприцеп	КрАЗ-6443	2,5-3,0	6,0	7,0	То же
	ДН-014 самоходный	Автогудронатор	2,5-3,0	11,0	10,0	То же
ФГУП СНПЦ «Росдортех», Россия совместно с Secmair, Франция	Chipsealer-19 на шасси	МАЗ-5551	1,5	2,5	4,0	Погрузчиком
	Chipsealer-26 полуприцеп	СЗАП-9905	3.13,5	6,0	8,0	То же
	Chipsealer-40 полуприцеп	Седельный тягач	3,6	6,0	12,0	Самозагрузка грейдером
Secmair, Франция (доп. к указанному выше)	Chipsealer-32 на шасси	Автошасси	3,1	6,0	8,0	То же
Schafer, Германия	PZA 4000 PZA 8000 PZA 1400	Битумовоз	3,0	-	4,5	Из самосвала сзади
		То же	2,4	8,0	7,0	То же
		Сед. тягач	3,0	14,0	7,0	То же
Rincheval, Франция	Twinesealer полупр.	То же	3,1	6,0	8,0	Погрузчиком
	Videosedler полупр.	То же	3,1	6,0	8,0	То же
Metso Minerals (Savalko), Швеция	HP-27 на шасси	Автомобиль-самосвал	2,7	1,1-2,5	6-8	То же

Цементовозы

Производитель, страна	Индекс машины, тип	Базовая машина	Вместимость, м <sup>3</sup> (т)	Производительность загрузки, кг/мин	Производительность разгрузки, кг/мин	Масса, т
ЗАО «Бецема», Россия	ТЦ-26 полуприцеп	ЗИЛ-441510,	7,5(10,9)	600	1000	3,3 без тягача
		ЗИЛ-442100				
	ТЦ-15 полуприцеп	МАЗ-5433	12,3(14,0)	600	1000	4,1 без тягача
	ТЦ-25 полуприцеп	КамАЗ-5410	13,1(15,0)	-	1000	5,1 без тягача
ТЦ-12 полуприцеп	КамАЗ-54112	16,0 (20,0)	-	1000		

## Литература

1. Антонов Н.М. Проектирование и разбивка вертикальных кривых на автомобильных дорогах. М.: Транспорт, 1968. 468 с.
2. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. Ч. 1. М.: Транспорт, 1987. 367 с.
3. Горячев М.Г., Лугов С.В. Средства дорожной механизации: технические характеристики и расчет производительности: учеб. пособие. М.: МКГПИ., 2003.
4. ГОСТ Р 21.1701-97. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автомобильных дорог. М.: Госстрой России, 1997. 29 с.
5. ГОСТ 9128-97. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон.
6. ГОСТ 8267. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ.
7. ГОСТ 23735-79. Смеси песчано-гравийные для строительных работ.
8. ГОСТ 16557-78. Порошок минеральный для асфальтобетонных смесей.
9. ГОСТ 25607-94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов.
10. ГЭСН-2001. Автомобильные дороги: сборник № 27.
11. Земляное полотно автомобильных дорог общего пользования. Типовые материалы для проектирования 503-0-48.87. М.: Союзпроект, 1987. 55 с.
12. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа ВСН 46-83. М.: Транспорт, 1985. 68 с.
13. Каталог конструкций дорожных одежд для ЦНР. Воронеж, 1993. 150 с.
14. Операционный контроль качества дорожно-строительных работ: монография / Ш.Х. Аминов, В.Г. Ильясов, Р.Х. Набиев, и др. Уфа, 2002. 280 с.
15. ОДН 218.046-01 Проектирование нежестких дорожных одежд.
16. Проектирование основных элементов автомобильной дороги: учеб. пособие. Екатеринбург: Урал. Гос. лесотехн. ун-т, 2003. 311 с.

17. Бабков В.Ф., Андреев О.В., Замахаев М.С. Проектирование автомобильных дорог. Т. 1, 2. М.: Транспорт, 1970. 316 с.
18. Резванцев В.И., Харченко В.А., Гладышева И.А. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд: учеб. пособие. Воронеж: ВПИ, 1988. 169 с.
19. Расчетные нормативы для составления проектов организации строительства. М.: Изд-во литературы по строительству, 1971. 225 с.
20. СНиП 2.05.02-85. Строительные нормы и правила. Автомобильные дороги. М.: Госстрой СССР. Стройиздат, 1985. 36 с.
21. Справочник инженера-дорожника. И проектирование автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1989. 436 с.
22. УПСС. Укрупненные показатели стоимости строительства. Автомобильные дороги. М.: Стройиздат, 1983. 56 с.

Учебное издание

Дьяченко Антон Вячеславович

Орехова Галина Владимировна

## Технология автогрейдерных и асфальтобетонных работ

методические указания для выполнения практических занятий  
и самостоятельной работы  
для обучающихся по направлению подготовки  
23.03.02 – Наземные транспортно-технологические комплексы

Редактор Павлютина И.П.

---

Подписано к печати 10.11.2021 г. Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная. Усл. п. л. 6,56. Тираж 25 экз. Изд. 7066.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365 Брянская область, Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ