

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Сибирский федеральный университет»

Авторы: Р.Т. А.П. Прокопьев, И.В. Бельчегешева

МЕТОДЫ

КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Конспект лекций

Красноярск

2008

УДК 629
ББК 38.6.5

Методы комплексной механизации строительства: Курс лекций / А.П. Прокопьев, И.В. Бельчегешева. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т; Ин-т градостр-ва, управ-я и регион. экономики, 2008. – 206 с.

Изложены теоретические основы механизации и организации строительства, методы производства работ, оптимальное формирование комплектов машин. Даны основы механизации работ при строительстве земляного полотна автомобильных дорог, дорожных оснований, асфальтобетонных и цементобетонных покрытий, транспортных процессов, технологических операций на производственных предприятиях. Рассматривается механизация работ при летнем и зимнем содержании автомобильных дорог и ремонте покрытий.

Для слушателей, обучающихся по программе магистерской подготовки 270100.68.13 «Механизация и автоматизация строительства».

Печатается по решению редакционно-издательского совета

© Ин-т градостр-ва, управления и региональной экономики СФУ, 2008.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ОСНОВЫ КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ.....	6
1.1. Общие положения.....	6
1.1.1. Парк машин строительной организации.....	8
1.1.2. Критерии оценки эффективности работы систем машин..	9
1.1.3. Оценка состояния механизации работ.....	11
1.1.4. Оценка эффективности использования парка машин.....	15
1.2. Основы комплексной механизации.....	17
1.2.1. Классификация задач.....	17
1.2.2. Проектирование и формирование оптимальных комплектов, комплексов и парков машин.....	19
1.2.3. Формализация комплектования машин.....	24
1.3. Механизация технологических процессов на предприятиях...	39
1.3.1. Общие сведения о производственных предприятиях.....	39
1.3.2. Механизация добычи камня.....	40
1.3.3. Механизация переработки каменных материалов.....	43
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЛЕКТОВ И КОМПЛЕКСОВ МАШИН.....	49
2.1. Комплектование машин в условиях полной определенности...	49
2.2. Комплектование машин в условиях неполной определенности.....	53
2.3. Комплектование машин в условиях полной неопределенности.....	56
ГЛАВА 3. ОПТИМАЛЬНОЕ КОМПЛЕКТОВАНИЕ МАШИН ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ.....	58
3.1. Организация строительного производства.....	58
3.2. Механизация строительства земляного полотна.....	68
3.2.1. Виды и последовательность земляных работ.....	68
3.2.2. Машины для земляных работ.....	72
3.3. Оптимальное комплектование машин для земляных работ....	105
3.3.1. Оптимальное комплектование машин «экскаватор – автосамосвалы».....	105
3.3.2. Оптимальное комплектование землеройно- транспортных машин.....	109
3.3.3. Определение оптимальной мощности толкача для комплекта скреперов.....	118
3.4. Механизация строительства дорожных оснований и покрытий.....	122

ГЛАВА 4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И КОМПЛЕКТОВАНИЕ МАШИН ДЛЯ РЕМОНТА И СОДЕРЖАНИЯ ПРИОБЪЕКТНЫХ ТЕРРИТОРИЙ.....	155
4.1. Машины для содержания капитальных покрытий.....	155
4.2. Средства механизации для ремонта покрытий автомобильных дорог.....	166
4.3. Прогнозирование эффективности комплексной механизации..	170
Заключение.....	183
Список литературы.....	184
Глоссарий.....	185
Вопросы для самоконтроля.....	197

ВВЕДЕНИЕ

Общее понятие «строительство» объединяет такие отрасли, как промышленное и гражданское строительство, транспортное строительство, гидротехническое строительство и т. д. Каждая имеет свои особенности, однако общим для них является комплексная механизация и автоматизация производства. Основу этого направления составляют передовые технологии производства и привлекаемые для их реализации средства механизации.

Научная дисциплина «Методы комплексной механизации строительства» представляет систему знаний о процессах функционирования средств механизации и совокупность научно обоснованных методов для эффективного решения задач комплексной механизации строительства.

Строительству свойственно большое разнообразие объектов и условий строительства, а, следовательно, и широкая номенклатура строительных и дорожных машин и оборудования. Известно также, что один и тот же строительный-монтажный процесс может быть выполнен различными машинами, комплектами и комплексами машин, отличающимися друг от друга, как принципом работы, так и конструктивно-техническими параметрами. В этих условиях вопросы комплексной механизации строительства приобретают особое значение.

Системный подход, основанный на диалектическом принципе всеобщей взаимосвязи событий и явлений, требует от современного инженера многомерного мышления, знаний, позволяющих ему видеть не только новые средства комплексной механизации, но результаты и последствия от их использования. При этом следует учесть, что деятельность инженера связана с дефицитом времени на выработку оптимальных решений, с целым набором обратных связей и ограничений, с которыми приходится повседневно сталкиваться.

Ускорение научно-технического прогресса, широкое внедрение современных средств комплексной механизации строительства вызвало необходимость включения в учебный план нового курса «Методы комплексной механизации строительства».

Цель этого курса – научить будущего инженера свободно владеть современными методами комплектования и использования средств комплексной механизации на основе последних достижений науки и техники: системного подхода к выработке оптимальных решений, широкого использования экономико-математических методов, моделей и электронно-вычислительных машин. Это позволит повысить эффективность, точность и объективность принимаемых решений, свести к минимуму элементы субъективизма и позволит освободить специалиста от рутинной, не творческой деятельности. Данный курс призван углубить и расширить фундаментальную подготовку инженера.

ГЛАВА 1. ОСНОВЫ КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

1.1. Общие положения

Механизация строительства – это замена ручного труда в строительстве машинами и механизмами. Основная цель механизации строительства – повышение производительности труда и освобождение человека от выполнения тяжелых, трудоемких и утомительных операций, снижение стоимости строительства.

Комплексная механизация строительства является одним из основных направлений технического прогресса, которое обеспечивает развитие производительных сил и служит материальной основой для повышения эффективности строительного производства.

В зависимости от степени оснащения механизмируемого процесса различают частичную и комплексную механизацию строительного производства.

Комплексная механизация строительства это процесс полного оснащения строительства машинами и средствами механизации и автоматизации строительства.

При частичной механизации строительства механизмируются только отдельные технологические операции или виды работ, главным образом, наиболее трудоемкие, при сохранении значительной доли ручного труда, особенно на вспомогательных работах.

Основные процессы – это собственно процессы превращения исходного сырья, материалов, полуфабрикатов в строительные материалы, изделия. Это монтаж (возведение) здания, сооружения, объекта.

Вспомогательные процессы – это процессы, обеспечивающие эффективное выполнение основных процессов. Это транспортировка, погрузка и разгрузка сырья, материалов, изделий. Часто вспомогательные процессы являются составной, неотрывной частью основного процесса.

Обслуживающие процессы – это процессы, обеспечивающие надежное и эффективное выполнение основных и вспомогательных процессов. Это техническое обслуживание, ремонт, энергоснабжение и т.п. основных и вспомогательных процессов.

Выделяют пять основных способов превращения исходных продуктов в готовое изделие, конструкцию, объект и т.д.:

- ручной, когда все операции строительно-монтажного процесса выполняются вручную с использованием простейшего механизированного инструмента;
- механизированный, когда большинство операций строительно-монтажного процесса выполняются с помощью машин и механизмов, а человек в основном выполняет функции управления машинами и механизмами;

- комплексно-механизированный, когда все без исключения операции строительно-монтажного процесса выполняются с помощью машин и механизмов, а человек выполняет только функции управления машинами и механизмами;
- автоматизированный, когда все операции строительно-монтажного процесса выполняются с помощью машин и механизмов, под управлением отдельными машинами и механизмами, автоматическими средствами управления;
- комплексно-автоматизированный, когда все операции строительно-монтажного процесса выполняются и управляются с помощью машин и механизмов с широким использованием микропроцессорной техники и электронно-вычислительных машин.

Строительное производство можно разделить на следующие основные этапы:

добыча сырья (песок, гравий, глина, горная порода и т.д.) на карьерах нерудных материалов;

доставка сырья, материалов, полуфабрикатов на предприятия строительных материалов, изделий и конструкций;

производство строительных материалов, изделий и конструкций на предприятиях строительной индустрии;

доставка строительных материалов, изделий и конструкций на объекты строительства;

строительно-монтажный процесс ремонта, модернизации или возведения объекта.

Комплексная механизация осуществляется на основе рационального выбора машин и оборудования, обеспечивающего эффективную их работу во взаимосогласованных режимах, увязанных по производительности и условиям качественного производства работ.

Для выполнения различного вида строительно-монтажных работ формируются специализированные комплекты машин (СКМ), которые представляют систему машин, увязанных по технологическому назначению, производительности и основным конструктивным параметрам.

В СКМ выделяют ведущую машину, которая выполняет самые трудоемкие и дорогостоящие технологические операции, и вспомогательные (комплектующие), работающие совместно с ведущей.

Существует также понятие малой механизации, к которой относят ручные машины и различные приспособления.

Эффективность комплексной механизации обеспечивается не только путем увеличения количества машин СКМ, но и в результате наиболее рационального их использования в технологическом производстве.

1.1.1. Парк машин строительной организации

Парк строительных и дорожных машин – это сложная техническая система, характеризующаяся высокой размерностью, множественностью и сложностью зависимостей, динамичностью.

Система машин для комплексной механизации и автоматизации строительства автомобильных дорог включает пять основных групп машин, определенных их технологическим назначением: 1) для строительства земляного полотна; 2) для строительства дорожных одежд; 3) для строительства водопропускных сооружений (труб, мостов и др.) и укрепления откосов; 4) для добычи и переработки дорожно-строительных материалов; 5) технологический транспорт.

Система машин, включающая в себя все СКМ, образует парк машин строительной организации (ПМ).

При комплектовании СКМ для производства работ комплексно–механизированным способом необходимо соблюдать следующие условия:

- число машин должно быть минимальным, их конструкция и параметры соответствовать условиям работы и габаритам возводимого сооружения;
- в каждом СКМ выделяются одна или несколько ведущих машин, которые в основном определяют организацию работ, производительность и темп производства работ;
- состав СКМ должен обеспечивать непрерывность технологического процесса; производительность вспомогательных машин, эффективную работу ведущей (или ведущих) машины.

По характеру работы системы машин можно разделить на три группы: непрерывного действия, когда все машины работают непрерывно; циклического действия, когда все машины работают циклично; смешанного действия, когда часть машин работает непрерывно, а часть циклично.

Состав и взаимосвязь ведущих и вспомогательных машин в СКМ образуют его структуру, которая может быть последовательной и комбинированной. Характерным для последовательной структуры является ограничение производительности СКМ производительностью звена машин с минимальной производительностью. При комбинированной структуре изменение производительности одной из параллельно соединенных машин не сказывается на производительности других. В состав СКМ целесообразно планировать резервные машины на случай выхода из строя ведущих или вспомогательных машин.

Ведущие машины между собой могут быть соединены последовательно, параллельно и комбинированно. При последовательном соединении машин простой одной машины вызывает простой всего комплекта машин. При параллельном соединении отдельные машины работают независимо друг

от друга, а условием простоя всего комплекта является одновременная остановка всех машин.

Вспомогательные машины по отношению к ведущей машине могут быть соединены по таким же схемам: последовательно, параллельно, комбинированно. При последовательном соединении машин производительность СКМ определяется производительностью машины с минимальной производительностью, при параллельном соединении – суммой производительностей машин.

При проведении анализа работы парка машин целесообразно рассматривать работу отдельных СКМ.

Результатом проектирования механизации дорожного строительства является обоснование технологического обеспечения процесса средствами механизации, обеспечивающими выполнение работ на объекте в плановые сроки с минимальными затратами.

Наиболее характерный недостаток на этом этапе разработки проекта – слабое обоснование структуры и количества машин в комплектах. Этот вопрос решается проектной организацией при разработке проекта организации строительства и подрядной организацией в проекте производства работ.

1.1.2. Критерии оценки эффективности работы систем машин

Рассмотрение вариантов количественного или качественного состава парка машин строительной организации осуществляется с целью создания проекта производства дорожных работ. Его эффективность характеризуется системой показателей, отражающих соотношение затрат и результатов применительно к интересам его участников.

К наиболее простым, в определении, но достаточно надежным относятся показатели, основанные на оценке функционирования машин во времени. Это такие критерии, как производительность машин, коэффициент сменности, календарная продолжительность использования техники парка в году, ресурс машин и т. д. Они применимы для оценки работы всего парка машин. Для этого берутся их средние значения, как по всему парку, так и по отдельным группам машин.

Критерий «производительность» является достаточно распространенным и универсальным техническим показателем. Несмотря на это, у критерия есть и ряд недостатков, главный из которых заключается в том, что этот показатель позволяет отслеживать некоторым образом лишь результаты производственной деятельности, но не эффекты от нее в целом.

Фактически все частные показатели определяются отношением экономического результата (или эффекта) к затратам какого-либо одного

хозяйственного ресурса (либо соответствующих их приростов): трудовым затратам соответствует показатель производительности труда, производственным фондам – показатель фондоотдачи, капитальным вложениям (по отношению к приросту продукции) – показатель общей эффективности капитальных вложений.

Широкое распространение в качестве критерия эффективности получили удельные приведенные затраты:

$$Z_{\text{уд}} = C + E_{\text{н}} K_{\text{уд}}, \quad (1.1)$$

где $Z_{\text{уд}}$ – приведенные затраты на производство единицы продукции, руб./ед. прод.; C – себестоимость единицы продукции, руб./ед. прод.; $K_{\text{уд}}$ – удельные капитальные затраты, отнесенные к единице продукции, руб./ед. прод.; $E_{\text{н}}$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Определение годового экономического эффекта основывается на сопоставлении приведенных затрат по базовой и новой технике. Годовой экономический эффект от внедрения вновь сформированного СКМ определяют по следующей зависимости:

$$\mathfrak{E}_{\text{г}} = (Z_{\text{уд}}^{\text{б}} - Z_{\text{уд}}^{\text{нк}}) \Pi_{\text{СКМ.г}}^{\text{э}}, \quad (1.2)$$

где $Z_{\text{уд}}^{\text{б}}$ – удельные приведенные затраты по базовому (существующему) специализированному комплексу машин; $Z_{\text{уд}}^{\text{нк}}$ – удельные приведенные затраты по новому СКМ (вновь разработанному); $\Pi_{\text{СКМ.г}}^{\text{э}}$ – годовая эксплуатационная производительность вновь сформированного СКМ.

Приведение экономических показателей разных лет к сопоставимому по времени виду называется дисконтированием. Трудно сравнить два проекта на один строящийся объект, которыми предусмотрено строительство в разные сроки. Для решения таких задач используют коэффициент дисконтирования:

$$\alpha_t = \frac{1}{(1 + E)^{T-t}}, \quad (1.3)$$

где t – год, к которому приводится значение показателя (год приведения); T – рассматриваемый год (до года окончания строительства); E – норматив приведения затрат к единому времени (норма дисконта).

При дисконтировании интересующий нас показатель умножают на α_t .

Наиболее целесообразно экономическую эффективность применения той или иной организации производства работ определять по результатам производства:

$$\mathcal{E} = R - Z, \quad (1.4)$$

где $\mathcal{E}$ – экономический эффект мероприятия за расчетный период; R – стоимостная оценка результатов осуществленного мероприятия за расчетный период; Z – стоимостная оценка затрат на осуществление мероприятия за расчетный период.

Весьма значительную и самостоятельную роль как критерий играет прибыль Π , остающаяся в распоряжении предприятия. В общем виде она определяется следующим образом:

$$\Pi = P - C - H, \quad (1.5)$$

где P – выручка от реализации продукции (по ценам, установленным в централизованном или договорном порядке); C – себестоимость продукции; H – общая сумма налогов и выплат из балансовой прибыли: платежи за трудовые и природные ресурсы, производственные фонды и кредит, отчисления в государственный бюджет, вышестоящим организациям и т. д. Такой критерий, как прибыль, является наиболее обобщающим экономическим критерием.

1.1.3. Оценка состояния механизации работ

Для оценки состояния механизации работ принята определенная система показателей: коэффициент механизации работ, механовооруженность строительства и труда, энерговооруженность труда, конструкторско-расчетная и техническая производительность, эксплуатационная часовая, сменная и годовая производительность машины.

Коэффициент механизации работ представляет собой отношение объема работ, выполненного механизированным способом, к общему объему данного вида работ:

$$K_m = V_m / V_o. \quad (1.6)$$

Уровень комплексной механизации работ U_m определяют как отношение (в %) объема каждого вида работ, выполненных средствами механизации V_m , к общему объему этого вида работ V_o :

$$Y_m = (V_m / V_o) \cdot 100\%, \quad (1.7)$$

Уровень комплексной механизации определяется также показателями механо- и энерговооруженности.

Механовооруженность строительства M_c характеризуется отношением балансовой стоимости средств механизации C_m к годовому объему строительно-монтажных работ C_{c-m} (руб.):

$$M_c = (C_m / C_{c-m}) \cdot 100\%. \quad (1.8)$$

Механовооруженность труда M_t определяют отношением балансовой стоимости средств механизации к среднесписочному числу рабочих:

$$M_t = C_m / N_p. \quad (1.9)$$

Энерговооруженность труда $\mathcal{E}_t$ определяют отношением суммарной мощности двигателей машин и механизмов N_{mm} (кВт) к среднесписочному числу рабочих:

$$\mathcal{E}_t = N_{mm} / N_p. \quad (1.10)$$

Производительность (выработка) машин – важный показатель для оценки эффективности их использования. Она является комплексным показателем, так как определяется несколькими эксплуатационными показателями (тяговые, коростные и т. д.). Производительность машин зависит от ряда факторов – как постоянных (конструктивных), так и переменных (вида работ, условий производства, организации работ, квалификации операторов и т. д.). В связи с этим различают конструкторско-расчетную, техническую и эксплуатационную производительность машин.

Конструкторско-расчетная производительность $\Pi_{к-р}$ – это максимально возможная производительность, которая находится в прямой зависимости от конструктивных особенностей рабочего оборудования и определяется в конкретных условиях эксплуатации, для которых машина спроектирована, при номинальной ее нагрузке и правильной организации работы. Часовая производительность машины циклического действия

$$\Pi_{к-р} = V / T_{ц} \text{ (м}^3\text{/ч)} \text{ или } \Pi_{к-р} = V \cdot \rho / T_{ц} \text{ (т/ч)}, \quad (1.11)$$

где V – расчетный объем материала, перерабатываемый за один цикл работы, м³; $T_{\text{ц}}$ – продолжительность рабочего цикла машины, ч; ρ – плотность (объемная масса) материала, т/м³.

То же, для машин непрерывного действия

$$\Pi_{\text{к-р}} = 3600B \cdot \nu \text{ (м}^2\text{/ч)} \text{ или } \Pi_{\text{к-р}} = 3600F \cdot \nu \text{ (м}^3\text{/ч)}, \quad (1.12)$$

где B – ширина захвата материала рабочим органом машины, м; ν – расчетная рабочая скорость перемещения машины, м/с; F – расчетное сечение потока материала, м².

Техническая производительность представляет собой максимально возможную производительность с учетом потерь и изменения структуры материала (разрыхление, уплотнение), снижения эффективной мощности и рабочих скоростей при выполнении технологических операций, а также степени использования рабочего оборудования (перекрытие проходов машины, технологические перерывы в работе, коэффициент наполнения емкостей и др.). Для определения технической производительности необходимо $\Pi_{\text{к-р}}$ умножить на ряд коэффициентов, учитывающих соответствующие потери:

$$\Pi_{\text{т}} = \Pi_{\text{к-р}} k_1 k_2 \dots k_n, \quad (1.13)$$

где $k_1 \dots k_n$ – коэффициенты (разрыхления грунта, наполнения ковша грунтом и т. д.).

Сменная эксплуатационная производительность определяется выражением

$$\Pi_{\text{э}} = T_{\text{см}} \Pi_{\text{т}} k_{\text{в}}, \quad (1.14)$$

где $T_{\text{см}}$ – продолжительность рабочей смены, ч; $k_{\text{в}} < 1$ – коэффициент использования машины в течение смены.

Технический показатель использования машины по времени характеризует интенсивность ее использования в течение определенного отрезка времени. В самом общем случае $K_{\text{в}}$ может быть выражен, как отношение рабочего времени к суммарным затратам времени:

$$K_{\text{в}} = \frac{t_{\text{р}}}{t_{\text{р}} + t_{\text{п}} + t_{\text{нм}} + t_{\text{по}}}, \quad (1.15)$$

где $t_{\text{р}}$ – чистое время работы машины; $t_{\text{п}}$ – продолжительность всех перерывов (организованных, технологических, конструктивно-техноло-

гических и метеорологических); $t_{\text{пм}}$ – продолжительность холостых переездов машины; $t_{\text{по}}$ – затраты времени на подготовительные операции.

Для оценки эффективности использования машины в СКМ используют коэффициент использования машины по производительности:

$$K_{\text{п}} = \Pi_{\text{ф}} / \Pi_{\text{п}}, \quad (1.16)$$

где $\Pi_{\text{ф}}$, $\Pi_{\text{п}}$ – соответственно фактическая и плановая (нормативная) производительность машины за рассматриваемый период времени.

Принято различать следующие нормы эксплуатационной производительности: часовую (производственную норму выработки), среднесменную и среднечасовую (сметные нормы выработки), годовую (директивные нормы годовой выработки или технико-экономические нормы использования машин).

Производственная норма выработки включается в состав ЕНиР и может служить основанием для расчета с рабочими; эти нормы используют при составлении проекта производства работ и при оперативном планировании.

Среднесменная и среднечасовая нормы эксплуатационной производительности необходимы для определения сметной стоимости строительства. Исходя из них определяют потребное количество машиносмен для выполнения определенного объема работ (темпа работ).

Нормы годовой эксплуатационной производительности машин (директивные нормы выработки) используют при годовом и перспективном планировании, в частности, при комплектовании парков машин. Эти нормы, как правило, устанавливаются в виде годовой выработки в натуральных единицах.

Годовая эксплуатационная производительность зависит от сменной производительности, числа рабочих дней в году, коэффициента сменности и определяется по формуле

$$\Pi_{\text{г}}^{\text{э}} = 365 \Pi_{\text{см}}^{\text{э}} k_{\text{год}} k_{\text{см}}, \quad (1.17)$$

где $\Pi_{\text{см}}^{\text{э}}$ – сменная эксплуатационная производительность машины; $k_{\text{год}}$ – коэффициент годового использования машины; $k_{\text{см}}$ – коэффициент сменности производимых работ.

Коэффициент годового использования

$$k_{\text{год}} = \frac{t_{\text{год}}}{365} = \frac{365 - t_{\text{в}} - t_{\text{рем}} - t_{\text{м}}}{365}, \quad (1.18)$$

где $t_{\text{год}}$ – количество дней работы машины в году; $t_{\text{в}}$ – количество выходных и праздничных дней в году; $t_{\text{рем}}$ – количество дней простоя машины для выполнения всех видов ремонта; $t_{\text{м}}$ – продолжительность организационных и метеорологических простоев.

Самым важным показателем эксплуатации машин, уровня организации работ является выработка на одного рабочего. Она представляет собой отношение количества продукции, производимой машиной (в час, смену, месяц, год), к числу работников, обслуживающих технику ($\text{м}^3/\text{ч} \cdot \text{чел.}$ или $\text{т}/\text{ч} \cdot \text{чел.}$):

$$p = \Pi_{\text{э}} / n_{\text{р}}, \quad (1.19)$$

где $\Pi_{\text{э}}$ – эксплуатационная производительность машины в единицу времени; $n_{\text{р}}$ – число работников, обслуживающих машину.

Показатель выработки по величине совпадает с производительностью машины, если машину обслуживает один человек. Выработку или производительность труда определяют с учетом всего персонала – основных и вспомогательных рабочих, а также инженерно-технических работников, непосредственно обслуживающих машину.

1.1.4. Оценка эффективности использования парка машин

Задача эффективного использования парка машин состоит:

- из организации рационального использования ПМ на строительных объектах и поддержание его в работоспособном состоянии;
- из интенсификации использования отдельных машин и СКМ за счет сокращения простоев.

В целом количественная оценка использования парка машин, находящегося в эксплуатации дорожно-строительной организации или отдельных СКМ, производится по следующим показателям: годовая выработка списочного парка машин $Q_{\text{г}}$; удельная годовая выработка на среднесписочную машину $Q_{\text{уд}}$; коэффициент сменности $k_{\text{см}}$; коэффициент использования парка машин $K_{\text{п}}$ и коэффициент технической готовности $K_{\text{т}}$.

Годовая выработка парка машин или группы машин зависит от наработки отдельной машины и ее эксплуатационной производительности:

$$Q_{\text{г}} = \sum_1^m T_i \Pi_{\text{э}i} K_{\text{п}} n_i, \quad (1.20)$$

где T_i – среднее значение фактической наработки машины i -го типа в течение года; $\Pi_{\text{э}i}$ – часовая эксплуатационная производительность машины i -го типа;

$K_{\text{и}}$ – коэффициент использования парка машин; m – количество типов машин в парке; n_i – списочное число однотипных машин в парке.

Этот показатель является абсолютным и зависит от количества машин в парке и поэтому исключается возможность сравнения отдельных систем машин с точки зрения эффективности их использования.

Удельная годовая выработка $Q_{\text{уд}}$ является относительной величиной и определяется по формуле

$$Q_{\text{уд}} = Q_{\text{г}} / N_{\text{м}}, \quad (1.21)$$

где $N_{\text{м}}$ – среднее число машин парка, работающих в течение года.

Этот показатель характеризует уровень организации использования парка машин или отдельной его группы. Значение $Q_{\text{уд}}$ зависит от уровня организации использования ПМ, срока эксплуатации машин, их технического состояния, качества ТО и Р, квалификации операторов и т. д.

Коэффициент сменности $K_{\text{см}}$ работы машин измеряет интенсивность их использования в течение суток:

$$K_{\text{см}} = \frac{\text{Ч}_{\text{пм}}}{\text{Д} \cdot T_{\text{см}}}, \quad (1.22)$$

где $\text{Ч}_{\text{пм}}$ – количество машиночасов работы парка машин; Д – количество машинодней нахождения машин в работе; $T_{\text{см}}$ – продолжительность рабочей смены.

Коэффициент использования парка машин $K_{\text{и}}$ определяется как отношение фактически отработанных машинодней $M_{\text{дф}}$ к календарному количеству машинодней $M_{\text{дк}}$:

$$K_{\text{и}} = M_{\text{дф}} / M_{\text{дк}}. \quad (1.23)$$

Коэффициент $K_{\text{и}}$ определяется для одного типа машин. Нельзя суммировать машинодни разнотипных машин. Значение $K_{\text{и}}$ зависит от уровня организации строительства и качества проведения ТО и Р машин.

Коэффициент технической готовности $K_{\text{т}}$ определяет степень готовности парка машин к работе. Он равен отношению количества технически исправных машин к общему списочному числу машин:

$$K_{\text{т}} = N_{\text{исп}} / N_{\text{сп}}, \quad (1.24)$$

где $N_{\text{исп}}$ – количество исправных машин; $N_{\text{сп}}$ – списочное количество машин.

Значение K_T показывает техническое состояние ПМ на определенный день (на начало месяца, квартала). Для определения среднего значения за некоторый период времени (месяц, квартал, год) в формулу (1.24) вместо $N_{исп}$ вводят $M_{д.исп}$ (сумму машинодней исправных машин), а взамен $N_{сп} - M_{д.сп}$ (сумму машинодней списочного состава машин).

Коэффициент технической готовности характеризует технические возможности организации, уровень культуры производства.

Время работы системы машин (отдельной машины) за год D определяют из анализа баланса календарного времени года:

$$D = 365 - (D_{пв} + D_m + D_o + D_{тр} + D_{пб} + D_{вто}), \quad (1.25)$$

где 365 (366) – календарное время года, дн.; $D_{пв}$ – число праздничных и выходных дней в году, дн.; D_m – число дней простоя машины по метеоусловиям, дн.; D_o – то же, по организационным причинам, дн.; $D_{тр}$ – время проведения плановых ТО и Р, дн.; $D_{пб}$ – время на перебазирование машин с объекта на объект в течение года, дн.; $D_{вто}$ – время на проведение внеплановых ТО и Р из-за случайных отказов, дн.

Время на принятие внеплановых ТО и Р из-за случайных отказов в течение года определяется из выражения

$$D_{вто} = d_{yo} \lambda_{cp} T_r, \quad (1.26)$$

где d_{yo} – среднее время устранения одного отказа, дн.; λ_{cp} – средняя годовая интенсивность потока отказов машины, 1/ч; T_r – время работы машины в течение года, ч.

Уровень организации производства работ можно оценивать и по другим технико-экономическим показателям, приведенным к единице продукции: стоимость производства работ, трудоемкость, энергоемкость, металлоемкость.

1.2. Основы комплексной механизации

1.2.1. Классификация задач

Процесс комплексной механизации строительства – это сложный динамический процесс, характеризующийся большим многообразием состояния системы «объект – технология – комплект машин». В зависимости от состояния отдельных элементов этой системы можно выделить восемь основных состояний:

1. Объект, комплекс машин и технология не определены. Это возникает в процессе поискового прогнозирования и на начальных этапах постановки задачи строительства того или иного объекта.

2. Объект определен, а технология и комплекс машин еще не определены, что соответствует решению задач технологического проектирования. Ожидание перехода к состояниям 5 или 6.

3. Объект не определен, технология не определена, а комплект определен. Это состояние ожидания, перехода к состоянию 7.

4. Объект не определен, технология определена, комплекс машин не определен. Это состояние ожидания перехода к состоянию 6 или 7.

5. Объект определен, технология не определена, комплекс машин определен, что соответствует поиску оптимальной технологии выполнения известным комплектом машин.

6. Объект определен, технология определена, а комплекс машин не определен, что соответствует поиску оптимального комплекса машин для различных условий работы: в условиях полной определенности, в условиях полной и неполной неопределенности. Этому состоянию соответствуют также задачи оптимизации основных параметров комплекта машин.

7. Объект не определен, технология определена, комплекс машин определен. Это состояние ожидания перехода к состоянию 8.

8. Объект определен, технология выполнения работ и комплекс машин определены, что отвечает решению задач по оптимальному выполнению работ, расстановке, распределению комплектов машин, определению параметров функционирования, включая и параметры надежности.

Как правило, решение проблем комплексной механизации строительства требует рассмотрения ее с позиций иерархических систем. Из основных причин, обуславливающих такой подход, можно назвать размер, сложность, многообразие ситуаций, возникающих при строительстве самых разнообразных объектов. Рассмотрим укрупненную, иерархическую структуру основных этапов комплексной механизации строительства:

- выполнение разносторонних научных исследований на стадии создания объекта, сооружения, технологии и средств механизации их возведения;
- оптимального проектирования комплектов, комплексов и парков машин;
- оптимального формирования комплектов, комплексов и парков машин;
- оптимального использования комплектов, комплексов и парков машин при различных условиях эксплуатации;
- оптимального списания комплектов, комплексов и парков машин при различных условиях эксплуатации.

Многоуровневая система позволяет выделить отдельные задачи оптимизации внутри каждого уровня, подвергнуть их исследованию, а затем полученные решения использовать для решения задач смежных уровней

иерархии. Большое разнообразие задач комплектования машин в строительстве можно подвергнуть разной степени классификации с целью облегчения дальнейшего их решения.

1.2.2. Проектирование и формирование оптимальных комплектов, комплексов и парков машин

В развитии средств комплексной механизации строительства можно выделить три стадии:

- создание и использование одиночных машин для механизации отдельных операций;
- создание и использование комплектов (сформированных из таких машин) для механизации простых технологических процессов;
- создание и эксплуатация комплексов (комплектов) строительных и дорожных машин с взаимоувязанными параметрами для комплексной механизации сложных технологических процессов.

Создание систем строительных и дорожных машин ставит перед проектировщиками качественно новые задачи. В процессе проектирования выделяются две стадии:

- макропроектирование, связанное с выбором параметров машин и структуры системы как единого производственного объекта;
- микропроектирование, связанное с конструированием машин - элементов системы с заданными параметрами.

Основным инструментом макропроектирование является математическое моделирование на ЭВМ.

При недостаточном внимании к стадии макропроектирования появляется ряд недостатков в проектных решениях, основными из которых являются:

- отсутствие оптимальной взаимоувязки параметров машин различных типов;
- отсутствие всесторонней оценки и прогноза состояния внешней среды, и условий работы средств механизации;
- недостаточная вариантность и экономическая обоснованность рассматриваемых комплектов и комплексов машин;
- отсутствие учета вероятностного характера функционирования машин комплекса (комплекта);
- отсутствие оценки влияния надежности машин комплекса на эффективность работы в целом, в зависимости от их структуры;

Проектирование и формирование оптимальных комплектов, комплексов и парков машин – это сложный специфический вид инженерной дея-

тельности, в котором тесно переплетаются качественные и количественные методы, наука, опыт и точный расчет. Основная трудность заключается в необходимости учета большого числа факторов. Только учет всего многообразия факторов как материального, так и временного характера, их тщательный анализ дает основание инженеру синтезировать большое число возможных вариантов решения задач и определять среди них оптимальные, обеспечивающие максимальный эффект.

Эффективность комплектования машин зависит от множества фактов: технических, технологических, экономических, внутренних и внешних, которые часто взаимоувязаны между собой. Кроме того, существует множество различных методов и способов комплектования машин, которые постоянно пополняются.

В общем виде комплектование машин состоит из двух основных этапов. На первом этапе проводится информационная подготовка процесса, сбор и тщательный анализ технических, технологических, экономических и других показателей, связанных с объектом строительства, условиями работы, возможными технологическими процессами выполнения работ и возможными средствами механизации, которые потенциально могли бы выполнить те или иные строительно-монтажные процессы. На втором этапе по выбранному критерию или критериям оптимизации проводится синтез, моделирование, оптимизация, в результате чего и принимается то или иное решение. Процесс комплектования машин это сложный и, как правило, не однозначный и не детерминированный процесс.

Последняя операция – операция принятия решения это, по существу, компромисс, так как не все и не всегда можно формализовать и учесть в математических, имитационных моделях, возможны отступления, даже от оптимального решения. Эта операция носит как количественный, так и качественный характер.

Сформулируем теперь основные условия, необходимые для эффективного комплектования машин в строительстве:

- достоверная информация о действительном состоянии средств механизации, их использовании, а также полная характеристика объекта работы, технологических процессов, условий работы, среды окружения, имеющихся ограничений;
- достоверная информация, по всем элементам затрат в процессе функционирования всех возможных комплектов машин в заданных условиях работы;
- большая свобода варьирования основных параметров машин в комплекте, комплексе и системе машин и их структур;
- наличие одного или нескольких критериев оптимизации и совокупности объективных условий ограничений;
- теоретические основы, методология, комплекс методов опти-

мального комплектования машин, алгоритмическое и программное обеспечение для эффективного комплектования машин в строительстве.

Разнообразие объектов, условий работы, технологических процессов, окружающей среды и средств Механизации требует еще большего разнообразия методов оптимального комплектования машин.

В этих условиях вопросы комплексной механизации строительства, комплектования машин приобретают особое значение.

Научно-обоснованное проектирование, формирование и использование оптимальных комплектов, комплексов и систем машин требует соответствующих теоретических основ, которые включают: методологические

основы и комплекс различных методов анализа, синтеза и оптимизации для решения данного класса задач.

Методологические основы включают совокупность основных подходов и принципов проектирования, формирования и использования машин, комплектов, комплексов и систем машин. Основными подходами в первую очередь являются системный и детерминированно-вероятностный, а в качестве основных принципов: принцип необходимого разнообразия; принцип оптимальности, комплексности, иерархичности, декомпозиции и итерационной оптимизации.

Системный подход предусматривает рассмотрение процесса комплектования машин, начиная с этапа проектирования машин, комплектов, комплексов и систем машин, их эффективного использования и заканчивая их списанием. При этом процесс комплектования должен проводиться с учетом взаимосвязей и взаимовлияния объекта строительства, технологии выполнения работ, окружающей среды, условий работы и собственно средств механизации строительства.

Детерминированно-вероятностный подход предусматривает выделение и учет различных условий функционирования машин комплектов, комплексов и систем машин: комплектование машин при детерминированных условиях; комплектование машин при вероятностных условиях и комплектование машин яри неопределенных условиях.

Принцип необходимого разнообразия предполагает наличие большого разнообразия методов и методик оптимального комплектования машин, учитывая большое разнообразие объектов строительства, технологических процессов, условий работы и средств механизации.

Принцип оптимальности означает, что задачи комплектования должны преимущественно решаться количественными методами с определением оптимальных машин, комплектов, комплексов и систем машин.

Принцип комплексности означает, что процесс комплектования машин должен предусматривать комплектование как основных, так и вспомогательных и обслуживающих машин. Это связано с тем, что они тесно взаимосвязаны друг с другом и существенно влияют на эффективность функционирования средств механизации.

Принцип иерархичности означает разделение задач комплектования на уровни по вертикали для облегчения их решения. Можно выделить несколько таких уровней: машина; комплект машин; комплекс машин; система машин.

Принцип декомпозиция означает разделение задач комплектования на каждом уровне по горизонтали для облегчения их решения. Так большие комплексы машин можно разделить на несколько взаимосвязанных и взаимодействующих комплектов машин. Систему машин можно представить в виде совокупности отдельных машин, комплектов и комплексов машин.

Принцип итерационной оптимизации означает многократное решение взаимосвязанного комплекса экстремальных задач комплектования с целью облегчения решения. Так оптимальное комплектование машин более высокого уровня по вертикали требует многократного решения задач оптимального комплектования машин на более низком уровне. Решение же задач комплектования на более низком уровне намного легче, чем на более высоком.

В допустимых границах, комплект, комплекс машин может рассматриваться как единое целое (система) с учетом внутренних связей (между отдельными машинами) и внешних связей (условий, в которых будет работать комплекс). Эффективное решение рассматриваемой проблемы предусматривает:

- информационный подход к проектированию, формированию и эффективному использованию средств комплексной механизации строительства, включающий сбор, обработку и анализ необходимой информации о средствах механизации, среде, в которой предстоит им работать, и условий их использования с предварительной и последующей обработкой этой информации на ЭВМ;
- вероятностно-статистический подход, при котором условия работы, техническая, технико-экономическая и другая информация представляется, например, в виде соответствующих уравнений регрессий, получаемых на основе использования методов математической статистики, с учетом вероятностного характера работы средств механизации;
- использование в качестве основного метода исследования метода математического или имитационного моделирования, при котором нет необходимости проектировать реальный комплект, комплекс или систему машин, а затем проводить экспериментирование над ними. Это связано с большими материальными затратами и требует довольно длительного времени, к тому же, это не всегда возможно сделать;
- использование комплекса различных методов анализа, синтеза и оптимизации ввиду большого разнообразия систем машин и ситуаций, возникающих в процессе проектирования, формирования и оптимального использования средств механизации;

- широкое использование электронно-вычислительной техники для обеспечения максимальной эффективности поиска оптимальных параметров и структуры проектируемых систем машин, как с позиции снижений трудоемкости, так и с позиции сокращения затрат времени, одновременно повышая объективность принимаемых решений;
- использование системного подхода, направленного на охват и учет всех сторон жизненного цикла средств комплексной механизации и автоматизации строительства, начиная с этапа научного исследования, проектирования и кончая их списанием, на основе минимизации затрат, а также учета связей с другими системами и подсистемами;
- создание эффективных экономико-математических моделей и соответствующих аналитических, численных и имитационных методов которые повышают научную обоснованность вырабатываемых решений;
- комплексное сочетание опыта, современных методов выработки оптимальных решений и творческого подхода – основ решения самых сложных задач.

Эффективное решение многочисленных проблем комплексной механизации строительства связано с переходом к более высоким уровням автоматизации, от автоматизации физической деятельности человека к интеллектуальной на основе системного подхода.

Рассмотрим некоторые характерные принципы; системного подхода:

- наиболее полное и точное определение назначения системы, ее целей и задач. Это требует, в свою очередь, анализа состава и значимости отдельных целей, подцелей и задач, определения возможности их осуществимости и требуемых для этого средств и ресурсов; определения показателей эффективности, критериев оптимизации и целевой функции;
- исследование структуры системы и, прежде всего, состава входящих в нее компонентов, характера межкомпонентных связей и связей системы с окружающей средой, пространственно-временной организации компонентов системы и их связей, границ системы, ее изменчивости и особенностей на различных стадиях существования (жизненного цикла) и функционирующей в различных условиях;
- последовательное изучение характера функционирования системы, в том числе: всей системы в целом, отдельных подсистем в пределах целого, изменчивости функций и их особенностей на разных стадиях функционирования системы;
- изучение системы в динамике, т.е. на различных этапах ее жизненного цикла, при проектировании, производстве и эксплуатации.

Системный подход отличается от классического (или индуктивного) подхода. Если классический подход рассматривает систему путем перехода от частного к общему и синтезирует систему путем соединения ее компонентов, разрабатываемых отдельно, то системный подход предлагает по-

следовательный переход от общего к частному, когда в основе лежит эффективность функционирования системы в целом с учетом всех взаимосвязей как внутри системы, так и вне ее.

1.2.3. Формализация комплектования машин

Построение четкого формального (математического) описания процессов комплексной механизации строительства – это сложная, не до конца определенная система действий, которая по мере развития науки, техники все время совершенствуется. Компьютерная революция оставила свой отпечаток на эту систему действий. Формализация процессов, построение математических моделей не являются самоцелью – это средство достижения цели.

Для успешной формализации необходимо весь механизированный процесс разбить на отдельные операции и выделить существенные связи между ними. Такая декомпозиция упрощает исследование и выработку оптимальных решений.

Необходимыми условиями формализации являются четко сформулированные критерии оценки и ограничения, накладываемые на функционирование комплектов машин.

Укрупнено можно выделить следующие основные этапы:

1. Постановка задачи и выбор критерия оптимизации (показателей функционирования, параметров и переменных системы).
2. Выявление основных особенностей, взаимосвязей и количественных закономерностей, характеризующих эффективность функционирования системы.
3. Построение модели (математической, имитационной, сетевой,...).
4. Исследование модели с целью определения основных показателей функционирования системы и определения ее оптимальных параметров.
5. Принятие решения с учетом неформализованных факторов.

Под формализованной моделью будем понимать совокупность формальных соотношений, устанавливающих связи между машинами системы, их функционированием, критерием оптимизации и параметрами системы.

Под состоянием системы будем понимать совокупность ее характеристик (особенностей), проявляющихся в некоторый момент времени и отражающих объективно сложившуюся ситуацию.

Под эффективностью комплексной механизации строительства будем понимать соотношение между полезным эффектом от комплексной механизации и затратами на получение этого эффекта.

Рассмотрим несколько подробнее каждый из этапов.

Постановка задачи и выбор критерия оптимизации. На этом этапе:

- составляется содержательное описание системы в словесной форме;
- производится выбор одного или нескольких критериев оптимизации;
- определяются параметры и факторы, воздействующие на систему;
- определяются ограничения: материальные, энергетические, временные,...

Содержательное описание включает качественные и количественные характеристики системы, процесса, логику событий и явлений, определяющих механизмируемый процесс. Оно может потребовать проведения, если это необходимо, эксперимента. Кроме того, в него включаются численные значения известных характеристик и параметров процесса в виде таблиц и графиков, значений начальных условий, а также технико-экономическая постановка задачи. Содержательное описание – переходный этап на пути формализации задачи к операционной модели процесса (формализованной модели), являющейся промежуточным звеном между содержательным описанием и математической моделью.

При описании работы системы машин на объекте учитывается реальная обстановка, складывающаяся из следующих компонентов: системы машин, предназначенной для выполнения определенных строительных процессов; среды (объекта) функционирования; взаимосвязи между человеком и машиной, человеком и средой, машиной и средой. Кроме того, учитывается фактор времени и средства для решения задач и практическая приемлемость полученных результатов.

При формировании системы машин на объекте центральным является правильный выбор критерия оптимизации, который должен:

- отражать степень соответствия частного решения интересам общих целей;
- быть измеряемой величиной, т.е. иметь количественное выражение яри любой возможной комбинации исходных данных;
- быть единственным (однозначным);
- все остальное, что должно учитываться, задается в виде ограничений; быть представительным, т.е. позволять оценивать эффективность решения основной задачи, а не второстепенных;
- простым и легко вычисляемым и иметь технико-экономический смысл для облегчения последующей интерпретации полученных результатов;
- универсальным, или полным, т.е. обладать способностью всесторонне характеризовать основные стороны решаемой задачи;
- обладать критичностью к оптимизируемым параметрам, т.е. быть чувствительным к изменениям исследуемых параметров (чем эта критичность выше, тем лучше).

Критерий оптимизации должен быть критерием экономическим, характеризующим рост производительности труда, измеряемого ростом физического объема национального дохода.

Среди наиболее часто встречающихся ошибок при выборе критерия оптимизации являются следующие:

- неверное или неполное его представление;
- пренебрежение неопределенностью внешних условий и некоторой части исходной информации;
- не учитывается взаимное влияние отдельных факторов; игнорирование временных факторов и имеющихся ограничений;
- механический перенос критериев оптимизации для решения задач одного класса на другие, не соответствующие им;
- недостаточный учет или сознательное пренебрежение факторами, существенно влияющими на критерии оптимизации, а, следовательно, и на конечные результаты решения.

Существуют две основные формы представления критерия оптимизации. Первая форма предусматривает достижение максимума, полезного эффекта (прибыли) при данных затратах ресурсов. В такой постановке принцип оптимальности может быть назван принципом максимизации эффекта (прибыли). Вторая форма предусматривает минимизацию затрат ресурсов с обязательным условием достижения заданного полезного эффекта. В такой постановке принцип оптимальности может быть назван принципом минимизации затрат.

Принцип максимизации эффекта и принцип минимизации затрат эквивалентны друг другу в том смысле, что для поиска оптимального решения можно использовать любую из двух рассмотренных форм. Результат в обоих случаях должен быть получен один и тот же.

Рассмотрим эти две формы критерия оптимизации. Достижение максимума полезного эффекта (принцип максимизации эффекта) может быть выражено в виде получения максимальной прибыли от ввода в эксплуатацию того или иного объекта с учетом эффекта от досрочного его ввода.

Народнохозяйственный эффект от досрочного ввода объекта в эксплуатацию

$$\mathcal{E}_n = C_\phi (T_n - T) E_n^1,$$

где C_ϕ – сметная стоимость введенных в действие фондов (стоимость объекта), руб.; T_n – нормативный срок строительства данного объекта; T – фактический (запроектированный) срок строительства, годы; E_n^1 – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений для отрасли, к которой относится объект строительства.

Эффект по дополнительной прибыли, получаемой за период досрочного ввода объекта:

$$\Xi_n = \Pi_p (T_n - T),$$

где Π_p – среднегодовая прибыль за период досрочного ввода объекта, руб.

Критерий оптимизации – прибыль, дополненная эффектом от досрочного ввода объекта в строй:

$$\Pi_o = V_o (\Pi - y) + C_\phi (T_n - T) E_n,$$

$$\Pi_o = V_o (\Pi - y) + \Pi_p (T_n - T),$$

где V_o – объем работ данного вида на объекте, ед. прод.; Π – цена на единицу продукции или работы, руб.; y – удельные приведенные затраты на единицу продукции или работы, руб./ед. прод.

При неизменных, заранее утвержденных ценах максимизация прибыли равносильна минимизации следующего критерия оптимизации (принцип минимизации затрат)

$$y = \Pi + [C_\phi (T_n - T) E_n^1 - \Pi_o] / V_o,$$

$$y = \Pi + [\Pi_p (T_n - T) - \Pi_o] / V_o.$$

При этом последний критерий отвечает всем требованиям, предъявляемым к критерию оптимизации, и одновременно позволяет достаточно эффективно решать проблему оптимального проектирования и формирований систем машин для различных объектов и условий строительства

После выбора критерия оптимизации выявляются все существенные факторы, переменные состояния и, и управляемые переменные x , Все те; что может тем или иным образом, влиять на критерий оптимизации

$$y(u_1, \dots, u_i, \dots, u_n; x_1, \dots, x_i, \dots, x_m).$$

Если какой-либо существенный фактор окажется, по тем или иным причинам неучтенным, то это очень сильно повлияет на конечный результат оптимизации. От удачного выбора факторов зависит также успех оптимизации.

Однако учесть все факторы невозможно, поэтому применяется факторизация – выявление ограниченного числа основных, определяющих факторов (признаков).

При этом возможны две ситуации: первая, когда факторы известны, но неизвестна их связь с измеряемыми параметрами и требуется найти эту связь; вторая, когда неизвестны, ни факторы, ни способы измерения и требуется найти факторы, определить единицы измерения, найти их величины.

Факторы можно разбить на три вида:

- детерминированные, значения, которых известны (например, дальность транспортировки грунта);
- случайные, с известными законами распределения (например, время транспортировки грунта автосамосвалом);
- неопределенные, относительно которых известна только область изменения (например, состояние погоды).

Проектирование и формирование систем машин с исходной информацией в вероятностной форме, оценку среднего ожидаемого эффекта в соответствии с теорией статистических решений следует давать по достаточно объективному критерию – математическому ожиданию.

Для комплексов машин с исходной информацией в неопределенной форме оценка ожидаемого эффекта проводится в соответствии с теорией игр и статистических решений по целому комплексу специальных критериев оптимизации: критерий минимальных потерь, критерий минимального риска, критерий обобщенного минимакса, критерий недостаточного обоснования. Каждый из рекомендуемых критериев дает наилучший результат в определенном отношении.

Критерий минимальных затрат (критерий Вальда). Согласно этому критерию выбирается вариант сочетания параметров системы машин, для которого наибольшие затраты меньше, чем наибольшие затраты для любого другого варианта

$$\min y_i^{\max} = \min_i \max y_{ij},$$

где y_{ij} – затраты при использовании совокупности параметров i и совокупности исходных данных j .

Критерий минимальных затрат является наиболее осторожным, консервативным, так как он страхует от отрицательных последствий при самых неблагоприятных случайных исходных данных.

Критерий минимального риска (критерий Сэвиджа). Согласно этому критерию выбирается тот вариант сочетания параметров системы машин, для которого наибольший риск меньше, чем наибольший риск для любого другого варианта

$$\min R_i^{\max} = \min_i \max R_{ij},$$

где R_{ij} – величина риска при использовании совокупности параметров i и совокупности исходных данных j .

Риск определяется из выражения

$$R_{ij} = y_{ij} - \min y_{ij}.$$

Критерий минимального риска не допускает чрезмерно высоких потерь (отклонений), к которым могут привести ошибочные решения, и хотя у него имеются некоторые преимущества перед критерием минимальных затрат, однако он также является достаточно осторожным

Критерий обобщенного минимакса (критерий Гурвица). Согласно этому критерию находится взвешенная комбинация наилучшего и наихудшего сочетания случайных величин с помощью коэффициента оптимизма (пессимизма) α при котором критерий Гурвица достигает минимума

$$\Gamma_i = \min[\alpha y_i^{\max} + (1 + \alpha) y_i^{\min}],$$

где α – коэффициент оптимизма; $y_i^{\max}$ – максимально возможные затраты; $y_i^{\min}$ – минимально возможные затраты.

Недостаток критерия – трудность выбора обоснованного коэффициента оптимизма.

Критерий недостаточного обоснования (критерий Байеса-Лапласа). Согласно этому критерию выбирается тот вариант сочетания параметров, для которого достигается минимум среднеарифметического значения затрат. По существу, критерий недостаточного обоснования соответствует критерию минимума математического ожидания, если предположить, что вероятности отдельных совокупностей случайных исходных данных одинаковы. Однако это не всегда выполняется.

Окончательное решение после использования всех вышерассмотренных критериев оптимизации в условиях неопределенности принимается: исходя из имеющегося опыта, интуиции и различных дополнительных соображений, не учтенных при комплектовании.

В настоящее время все более твердые позиции начинает завоевывать многокритериальный подход к оптимизации различных систем и процессов, в том числе и при решении задач комплексной механизации строительства. ∴

Разработаны различные способы оценок решений по множеству критериев, но наибольшее распространение находят три из них – формирование множества доминирующих (эффективных) решений (множества Парето); последовательный выбор уступок и формирование некоторого обобщенного

критерия, представляющего собой скалярную функцию принятых к рассмотрению критериев.

Первый способ учета многокритериальности (оптимизации по Парето) связан с непосредственным вычислением принятых критериев оптимизации $y_1, y_2, \dots, y_n$ для каждого допустимого варианта к отбрасыванием бесперспективных.

Второй способ – последовательный выбор уступок связан с решением ряда однокритериальных задач оптимизации по каждому y_j ($j = 1, 2, \dots, n$) критериев с одновременным изменением ограничений по оставшимся критериям.

Третий способ связан с решением однокритериальной задачи оптимизации на основе обобщенного критерия.

При многокритериальной оптимизации по Парето для всех возможных вариантов решений вычисляются значения принятых критериев оптимизации.

Сравнение между собой любых двух вариантов решений позволяет определить, превосходят ли критерий оптимизации у одного варианта решения (строки), например соответствующие показатели критериев оптимизации другого варианта. Если ответ будет утвердительным, то вариант решения, например, соответствующий комплексу машин, с лучшими критериями оптимизации может рассматриваться как доминирующий. Если же один вариант решения (комплекс машин) лучше по одним критериям и хуже по другим или варианты равноценны, то необходимо продолжить сравнения применительно к новым сочетаниям вариантов системы (вариантам строк).

Таким образом, появляется возможность установить, существует ли для данного допустимого варианта (комплекса машин) хотя бы один доминирующий вариант. Для этого достаточно исследовать все варианты решения (строки) по два. Число таких сравнений равно $N - m(m - 1)/2$. Даже при десяти вариантах комплексов машин число сравнений составит $N = 10(10 - 1)/2 = 45$.

Допустимые варианты системы, для которых нет доминирующих вариантов, называются эффективными, которые в дальнейшем подлежат исследованию. Как правило, в процессе определения эффективного множества решений число исходных решений, среди которых находится оптимальное, сокращается на порядок.

Среди множества эффективных решений с учетом тех или иных неучтенных факторов проводится выбор окончательного решения (оптимального комплекса машин).

Отличительная особенность многокритериальной оптимизации по Парето заключается в эффективной предварительной оценке вариантов с разными значениями критериев. Однако это требует большой вычислительной работы, требующей использования ЭВМ.

Метод последовательного выбора уступок требует ранжирования, всех критериев оптимизации в порядке убывающей важности. Весь процесс сводится к однокритериальной оптимизации по каждому критерию, с переводом всех других критериев в разряд ограничений. Сначала оптимизация проводится по наиболее важному критерию y_1 . Если оптимум найден, то возможны два исхода: принять полученное решение за окончательное либо попытаться улучшить другие критерии оптимизации и, в первую очередь, y_2 за счет уступок по критерию y_1 .

В этом случае возникает новая задача оптимизации, заключающаяся в поиске экстремума y_2 , но при

$$y_1 = y_{1onm} - \Delta y_1 ,$$

где Δy_1 – уступка по критерию y_1 .

При этом возможны два исхода: принять полученное решение за окончательное, либо попытаться улучшить следующий критерий оптимизации, за счет уступок в предыдущих и т.д. Результат многокритериальной оптимизации методом последовательного выбора уступок существенно зависит от числа и величин принятых уступок на каждом шаге оптимизации.

Метод обобщенного критерия оптимизации требует определенного объединения, свертывания нескольких критериев в один обобщенный, с использованием которого решается однокритериальная задача оптимизации.

Формирование обобщенного критерия оптимизации может быть выполнено различными способами, в частности, в виде взвешенной суммы и в виде дроби.

$$y = \sum_{j=1}^n a_j y_j, y = y_1 / y_2 ,$$

где a_j – весовые коэффициенты j -го критерия оптимизации.

В виде дроби можно представить критерий – удельные приведенные затраты, в числителе которого стоят приведенные затраты, а в знаменателе – производительность.

Чаще используются комбинированные критерии оптимизации вида

$$y = \sum_{j=1}^n a_j y_j + \sum_{i=1}^L \frac{y_k}{y_p}, (p, k \in n).$$

Выявление основных особенностей, взаимосвязей и количественных закономерностей. Для выявления основных особенностей, взаимосвязей и количественных закономерностей необходимо дать формализованное'

описание механизмируемого процесса, системы. Исходным моментом для описания может стать схема функционирования системы машин, размеченный граф состояний или сетевая модель системы и другие средства. Такое представление механизмируемого процесса, системы позволяет выявить основные особенности функционирования и определить основные взаимосвязи машин в системе. Они также облегчают в дальнейшем построение математической или имитационной модели функционирования процесса, системы.

Формализованное описание механизмируемого процесса, системы – это некоторое приближенное описание реально действующего процесса, системы, позволяющее на данном уровне развития науки и техники получить достаточно объективные решения.

После составления формализованного описания выделяют основные группы переменных, характеризующих те или иные стороны строительного монтажного процесса. Таких групп переменных можно выделить три:

- первая группа переменных представляет собой параметры, характеризующие объект строительства, строительный монтажный процесс (объем работ, размеры объекта, прибыль, получаемая от досрочного ввода объекта в строй,...);
- вторая группа переменных представляет собой параметры, характеризующие средства механизации, которые могли быть использованы на строительстве данного объекта, в данном строительном монтажном процессе (типы, типоразмеры, производительность, основные параметры, затраты,...);
- третья группа переменных представляет собой параметры, характеризующие условия выполнения того или иного строительного монтажного процесса.

Для успешного решения задач необходима достаточно подробная информация по всем группам параметров, переменных. Недостаточность или неопределенность той или иной группы требует использования определенного метода исследования. Так, наличие в строительном монтажном процессе транспортных операций, подверженных влиянию многочисленных случайных факторов, требует рассмотрения их с позиции систем массового обслуживания. При этом, если принять некоторые допущения, то исследование может быть выполнено аналитическим методом, при более сложных ситуациях используются имитационные методы.

При формализации механизмируемого процесса системы необходимо идти на компромисс: с одной стороны, формализованная модель (математическая, имитационная, сетевая) должна как можно полнее отражать специфику механизмируемого процесса, системы; а с другой, быть по возможности простой, чтобы иметь возможность получить решение, приемлемое для практического использования с учетом имеющихся ресурсов (материальных, энергетических, информационных).

Необходимо априорно или на основе данных статистики отобрать значимые признаки, факторы, параметры, характеризующие строительно-монтажный процесс, систему и существенно влияющие на выбранный критерий оптимизации. После этого переходят к установлению необходимых связей и количественных закономерностей с привлечением, если это необходимо, результатов натурного эксперимента на реально действующем процессе, системе или части их.

К переменным параметрам процесса, системы предъявляют определенные требования: объективно отражать особенности работы процесса, системы; они должны быть выражены в количественных показателях; ни один из параметров не должен зависеть от другого. Необходимо выявлять функциональные и близкие к ним связи и проводить их своевременную замену, сокращая число исследуемых переменных, параметров.

Процесс оптимального проектирования и формирования систем машин может быть выполнен с достаточной достоверностью, если исходная информация имеет высокую точность и содержит всестороннюю характеристику организации работ: технологическую, техническую и экономическую, а в некоторых случаях социальную и политическую.

Технологическая информация содержит данные о режимах эксплуатации машин, номенклатуре, числе, размещении и т.д.

Техническая информация содержит данные об основных параметрах машин (производительность, скорость, рабочих органов, установленная мощность, масса, габариты и т.д.).

Экономическая информация содержит данные о стоимости машин, затраты на амортизационные отчисления, все виды ремонтов, топливо и т.д.

На основе выбранного или синтезированного критерия оптимизации устанавливаются зависимости между показателями механизированного процесса и параметрами процесса, при этом предварительно определяется набор – параметров. Следует всегда стремиться к наиболее полному охвату всех сторон исследуемого механизированного процесса, а с другой стороны – и к простоте описания. .

Этот этап должен включать: установление системы параметров, определяющих исследуемый процесс – выбор показателей; определение соотношений, связей между параметрами и показателями.

Соотношения, выраженные в содержательном описании словесно, облекаются на этом этапе в математическую форму. Характерные для систем закономерности записываются в виде формул и уравнений.

В соответствии с характером исходной информации условия оптимизаций можно подразделить на три вида:

- детерминированные – вся исходная информация задана однозначно;
- вероятностные – исходная информация задана с заданной вероятностью;

- неопределенные – некоторые случайные факторы не определены, т.е. отсутствует вообще какая-либо информация по ним.

Зависимости, используемые при решении задач комплексной механизации строительства, как правило, представляют собой уравнение получаемые в результате обработки статистической информации.

Одним из эффективных методов установления связей отдельных, составляющих целевой функции от расчетных параметров является метод математической статистики – корреляционно-регрессионный анализ.

Корреляционный анализ вместе с регрессионным решает три различные, но связанные между собой задачи:

- коэффициент корреляции оценивает силу связи;
- уравнение регрессии – ее форму;
- с привлечением оценки достоверности определяется реальность существования связи.

Построение модели. При комплексной механизации различных процессов в различных условиях строительства необходимо на определенном этапе исследования отвлечься от реальной действительности и построить формализованную схему процесса (системы) – модель (математическую, имитационную), позволяющую ограничить число факторов, от которых зависит характер рассматриваемого процесса работы машин, выделить основные и исследовать их.

Наличие модели – необходимый признак зрелости дисциплины. Особенно это характерно в последнее время, время перехода от эмпирических фактов к теоретическим, фундаментальным знаниям, осуществляемым с помощью обобщения, абстракции.

В модели излагается сущность происходящего процесса, она является отражением реальной исследуемой системы и одновременно абстрагируется от несущественных и второстепенных свойств и связей.

Модели дают возможность исследовать и имитировать особенности функционирования машин в любых возможных условиях. При этом их параметры и параметры окружающей среды можно варьировать для получения любой обстановки, в том числе и нереализуемых в натурных экспериментах, таким образом, уменьшая потребность в сложных исследованиях, как при проектировании механизированных процессов, так и в процессе эксплуатации машин.

Математическая модель является результатом формализации процесса работы машин на базе принятого критерия оптимизации, т.е. построения четкого формального математического описания процесса с необходимой степенью приближения к действительности.

Под математической моделью будем понимать совокупность соотношений (например, формул, уравнений, неравенств, логических условий, операторов и т.д.), определяющих характеристики состояний механизированного процесса.

Чтобы построить формализованную модель функционирования системы, процесса, необходимо увязать качественные и количественные проявления элементов системы, влияние окружающей среды на систему, процесс, а также их влияние на выбранный критерий оптимизации. Это может привести к необходимости построения очень сложной модели, отличающейся большой многофакторностью и многомерностью, а, следовательно, и большой сложностью для выработки оптимальных решений. В этих условиях строят совокупность взаимосвязанных моделей, каждая из которых может быть эффективно исследована, с учетом имеющихся взаимосвязей.

Исследование модели. Существует много различных методов исследования: эвристические и математические, точные и приближенные, качественные и количественные, логически строгие и нестрогие, базирующиеся на определенных гипотезах и допущениях.

Эвристические методы основаны на использовании совокупности знаний, (опыта, интуиции, интеллекта) с помощью не формализуемых алгоритмов, которые отражают внутренние (часто подсознательные) мотивы предпринимаемых действий, не поддающихся описанию.

Математические методы основаны на использовании формализуемых алгоритмов, определенного математического аппарата для решения некоторого класса задач.

Среди математических методов исследования выделяют: аналитические, численные и имитационные, основанные на широком использовании ЭВМ с учетом и имитацией случайных факторов.

Аналитические методы, хотя дают и упрощенную, но наглядную картину исследуемой системы, процесса и характеризующих его величин. Их рекомендуется использовать в первую очередь, если возможно, даже с некоторыми допущениями, особенно на начальных этапах исследования.

Аналитическая модель может включать часть информации в виде уравнений регрессий различного вида, в виде формул, постоянных. Так, в процессе оптимизации определяются зависимости всех групп затрат от исходных переменных.

Для первой группы затрат характерна зависимость

$$y' = a'_0 + a'_1 \cdot x_1^{m_1} + \dots + a'_i \cdot x_i^{m_i} + \dots + a'_n \cdot x_n^{m_n} = a'_0 + \sum_{i=1}^n a'_i \cdot x_i^{m_i}.$$

Для второй группы

$$y' = a''_0 + \frac{a''_1}{x_1^{p_1}} + \dots + \frac{a''_i}{x_i^{p_i}} + \dots + \frac{a''_n}{x_n^{p_n}} = a''_0 + \sum_{i=1}^n \frac{a''_i}{x_i^{p_i}}.$$

Для третьей группы

$$y^m = a_0^m = \text{const.}$$

Тогда целевая функция – критерий оптимизации, запишется в таком виде:

$$y = y' + y'' + y^m = (a'_0 + a''_0 + a_0^m) + \sum_{i=1}^n a'_i \cdot x_i^{m_i} + \sum_{i=1}^n \frac{a''_i}{x_i^{p_i}}.$$

Для поиска оптимума необходимо продифференцировать целевую функцию по искомому переменному, полученное выражение приравнять к нулю и решить его относительно искомого переменного $x_{\text{опт}}$

$$\frac{\partial y}{\partial x_i} = a'_i \cdot m_i \cdot x_i^{m_i-1} - \frac{a''_i \cdot p_i}{x_i^{p_i+1}} = 0.$$

Значение целевой функции при оптимальном значении переменной будет равно:

$$x_{i\text{опт}} = (m_i + p_i) \sqrt{\frac{a''_i \cdot p_i}{a'_i \cdot m_i}}.$$

Рассмотрим теперь наиболее распространенный случай, когда

$$m_i = p_i = 1, \text{ тогда } x_{i\text{опт}} = \sqrt{\frac{a''_i}{a'_i}}, (i = 1, 2, \dots, n),$$

$$y_{\min} = (a'_0 + a''_0 + a_0^m) + \sum_{i=1}^n \left(a'_i \sqrt{\frac{a''_i}{a'_i}} + a''_i \sqrt{\frac{a'_i}{a''_i}} \right).$$

Если допущена погрешность в определении величины a'_0, a''_0, a_0^m , то это никак не скажется на определении оптимального искомого параметра.

Рассмотрим ту часть целевой функции, которая зависит от искомым переменных, эта часть запишется в таком виде:

$$y_{1\min} = 2 \sum_{i=1}^n \sqrt{a'_i \cdot a''_i}.$$

Обозначим $a'_i \cdot a''_i = a_i$, тогда

$$y_{1\min} = 2 \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i}.$$

При неправильной оценке вместо истинной величины a_i используется некоторая величина $a_i + \Delta a_i$, тогда целевая функция определяется так:

$$y_{10} = 2 \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i + \Delta a_i}.$$

Таким образом, абсолютная цена ошибки равна

$$y_{10} - y_{1\min} = 2 \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i + \Delta a_i} - 2 \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i}.$$

Относительная оценка ошибки определится из отношения

$$(y_{10} - y_{1\min})/y_{1\min} = \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i + \Delta a_i} / \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i} - 1.$$

Если мы допустили погрешность в 50%, т. е. ошиблись в определении параметров в 1,5 раза, то значение целевой функции определится с погрешностью 22%, в свою очередь, это может повлиять на параметры задачи (модели) оптимизации, лежащей выше на уровень на котором x_{onm} определится с погрешностью 11%, а погрешность целевой функции составит всего 5,5%.

Исследование процесса при помощи численных методов менее наглядно по сравнению с аналитическим, но класс моделей, пригодных для исследования данными методами, значительно шире. Результатом исследования процесса оптимизации комплектования машин численными методами являются таблицы (графики) значений искомых величин. Применение ЭВМ в этом случае ограничивается лишь автоматизацией вычислений – автоматическим воспроизведением выбранного числового метода.

Для функции одной переменной, имеющей в интервале исследования один экстремум, применяются методы дихотомии, Фибоначчи, золотого сечения и т.п., для функций нескольких переменных – метод поочередного изменения параметров, градиентов, наискорейшего спуска, сопряженных градиентов, математического программирования и т.д.

При реализации методов случайного производится имитация происходящих событий с сохранением их логической структуры и

расположения их по времени с намеренным использованием случайных величин и процессов

Из методов случайного поиска (статических методов) используются: ненаправленный случайный поиск (метод Монте-Карло), направленный случайный поиск без самообучения (поиск с парными пробами) и направленный случайный поиск с самообучением.

Целесообразность моделирования механизмируемого процесса на ЭВМ определяется следующими причинами:

- неприемлемостью из-за сложности применения аналитических методов исследования модели;
- чрезвычайно большим объемом вычислений;
- непригодностью всех других методов решения;
- возможностью использования процесса построения модели для исследования моделируемой системы.

Все большее применение находят методы имитационного моделирования, позволяющие эффективно исследовать сложные вероятностные системы различной природы. Можно выделить ряд преимуществ методов имитационного моделирования перед другими методами:

- возможность моделирования достаточно сложных комплексов машин, близость формализованной схемы к физической сущности процессов функционирования реальных комплексов машин;
- учет вероятностного характера процессов функционирования и взаимодействия машин комплекса, возможность исследования комплексов машин с различными потоками событий;
- учет специфических особенностей процессов функционирования комплекса машин и различного рода ограничений;
- получение разносторонней статистической информации о процессе функционирования комплекса машин и его отдельных машин;
- возможность моделирования различных режимов функционирования комплекса машин, исследования крайних случаев и различных гипотетических комплексов машин.

Широкое использование методов имитационного моделирования связано и с совершенством самого аппарата (инструмента) моделирования:

- применением унифицированных формализованных схем для описания структуры системы и процессов функционирования элементов;
- проблемной ориентацией моделей, состоящей в наиболее полном учете особенностей систем определенного вида, например систем массового обслуживания;
- универсальностью имитационных моделей для исследования достаточно широкого круга задач.

1.3. Механизация технологических процессов на предприятиях

1.3.1. Общие сведения о производственных предприятиях

Производственные предприятия разделяют на добывающие и перерабатывающие. К добывающим относят карьеры дорожно-строительных материалов (камня, гравия, песка) и лесосеки. Карьеры по своему назначению, объемам и срокам работ разделяют на притрассовые и промышленные.

Притрассовые карьеры разрабатывают дорожно-строительные организации, и их продукция идет на собственные нужды. Сроки разработки и объем добываемой продукции составляет 50–100 тыс. м³ в год. В связи с коротким сроком эксплуатации притрассовых карьеров для их разработки применяют самоходные и передвижные машины и установки.

Промышленные карьеры отличаются большими объемами добываемой продукции – 100–200 тыс. м³ в год. Срок действия таких карьеров составляет 10–15 лет. Они располагают мощным стационарным оборудованием, как для разработки, так и для переработки добываемых материалов. Обычно стоимость их продукции ниже стоимости продукции притрассовых карьеров.

К перерабатывающим производственным предприятиям относят АБЗ, ЦБЗ, установки (базы) по приготовлению битумных смесей, базы органических вяжущих материалов, заводы по изготовлению бетонных и железобетонных деталей и конструкций, щебеночные заводы, лесоперерабатывающие базы.

В зависимости от места расположения этих предприятий различают прирельсовые, притрассовые и прикарьерные заводы или базы.

Организация производственных предприятий, размещенных на водных путях, имеет много общего с организацией прирельсовых предприятий. Разгрузочные рельсовые пути заменяются причалами, оборудованными необходимыми средствами механизации для разгрузки прибывающих барж с сырьевыми материалами. Наиболее существенное отличие от прирельсовых предприятий состоит в сезонной поставке сырьевых материалов в связи с прекращением навигации в зимний период.

Притрассовые заводы (базы) располагают близко к строящейся дороге. Материалы на эти предприятия доставляют автотранспортом непосредственно из карьеров или баз.

Прикарьерными называют заводы (базы), расположенные вблизи карьеров местных дорожно-строительных материалов. Сырьевые материалы доставляют с мест их добычи или предварительной переработки.

По типу основного оборудования, конструкции сооружений, возможности быстрой дислокации с места на новое место заводы и базы разделяют на стационарные, полустационарные и передвижные.

Стационарные заводы имеют мощное оборудование, которое располагается на фундаментах в зданиях капитального типа. Они являются длительно действующими предприятиями. Полустационарные предприятия имеют большую часть оборудования инвентарного типа, допускающего неоднократный монтаж и демонтаж. Передвижные предприятия специально приспособлены для частых перемещений с целью сокращения расстояния транспортирования сырьевых материалов и готовой продукции.

1.3.2. Механизация добычи камня

Разрабатываемые месторождения принято называть карьерами. Различают карьеры каменных месторождений, в которых разрабатывают сплошные, массивные горные породы и карьеры рыхлых пород.

В зависимости от условий залегания разработка горной породы может быть открытой, т. е. в открытых выработках, реже подземной или подводной, когда порода залегает под водой, сравнительно неглубоко от поверхности воды. При открытом способе разработки породы характер горных работ в значительной степени зависит от расположения породы, которая может залегать горизонтально или иметь крутое или пологое падение. В таких случаях порода может залегать выше, на уровне или ниже дневной поверхности.

Разработка месторождения включает в себя следующие основные процессы:

- планировку местности и отвод атмосферных и талых вод;
- вскрышные работы (обнажение полезной породы);
- разработку и удаление на специально отведенные площадки дресвяного (сильно выветренного) слоя;
- отделение полезного слоя от горного массива и предварительное его рыхление для подготовки к выемочно-погрузочным работам;
- транспортирование горной массы к месту ее переработки;
- дробление и сортировку каменного материала.

Отделение полезного слоя от массива и предварительное рыхление горной массы производится посредством буровзрывных работ, которые разделяются на первичные и вторичные.

Для проведения вскрышных работ используют те же машины, что и при производстве земляных работ, в зависимости от толщины растительного слоя или пустой породы, категории грунта. Растительный слой удаляют на отведенные площадки и хранят для использования при рекультивации

карьера. Пустую породу транспортируют в пониженные места и используют для засыпки оврагов.

Первичные буровзрывные работы в карьерах производят уступами высотой 15–20 м (рис. 1.1). Для образования уступов в полезном слое устраивают резервную траншею таким образом, чтобы каждая ее сторона в будущем служила откосом следующего уступа. Послойное отделение горной массы от массива производят бурением одного или нескольких рядов скважин (цилиндрических углублений диаметром более 75 мм и глубиной до 40 м в зависимости от высоты уступа), последующим заряджанием их взрывчатыми веществами (ВВ) и взрыванием.

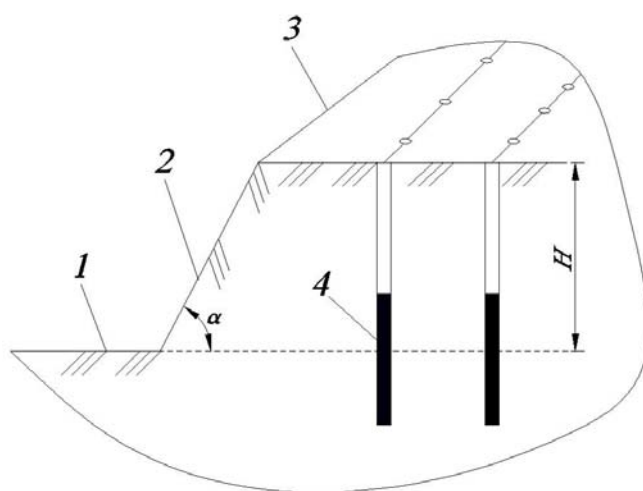


Рис. 1.1. Элементы уступа: 1 – нижняя площадка; 2 – откос уступа; 3 – бровка уступа; 4 – скважина; H – высота уступа; α – угол откоса уступа

Вторичные буровзрывные работы производят для дробления негабарита и при зачистке подошвы уступов (рис. 1.2).

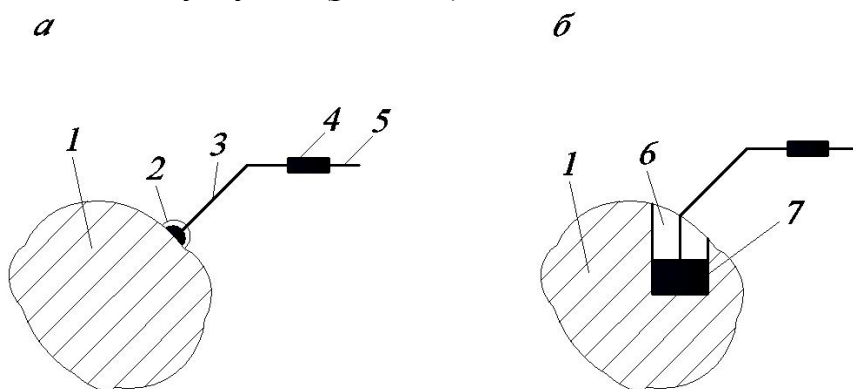


Рис. 1.2. Схема разделки негабарита взрывом: *а* – накладным зарядом; *б* – заряд в шпуре; 1 – негабарит; 2 – инертный материал; 3 – огнепроводящий шнур; 4 – капсуль-детонатор; 5 – детонирующий шнур; 6 – забойка; 7 – заряд в шпуре

Вторичные буровзрывные работы выполняют бурением шпуров (цилиндрических углублений диаметром до 75 мм и глубиной обычно не более 5–7 м).

Буровые работы осуществляют пневматическими перфораторами (бурильными молотками) и буровыми станками. Бурильные молотки применяют для бурения шпуров, а станки – для бурения скважин.

Разрушают горные породы при бурении шпуров и скважин механическими и физико-химическими методами. К механическим методам относят ударно-поворотное, вращательное и ударно-вращательное бурение. Ударно-поворотное бурение производят инструментом, выполненным в виде клина, который внедряется в породу под действием кратковременной ударной нагрузки, направленной по оси скважины.

Физико-химические способы бывают термическими, взрывными, гидравлическими и др. Процесс разрушения горной породы при термическом бурении основан на действии высокотемпературного газового потока на забой скважины. Рабочим органом является горелка, в камере которой температура газов достигает 2500–3500°C, а их истечения – 1800–2000 м/с. Нагреву подвергается слой породы небольшой толщины, в котором возникают термические напряжения, приводящие к его разрушению. В качестве топлива могут использоваться бензин, керосин, соляровые фракции в смеси с окислителями – кислородом, воздухом, азотной кислотой.

Электрогидравлический способ разрушения заключается в периодически повторяемых высоковольтных разрядах между контактами разрядника в жидкости.

При добыче камня взрывным способом в горной породе бурят ряд скважин (шпуров), в которые закладываются ВВ, и после тщательной заделки сверху породу взрывают. От мгновенного разложения ВВ образуется большой объем газов, под давлением которых порода раскалывается. Эффект взрыва зависит от вида взрывчатого вещества, его количества, расположения в породе.

По характеру действия ВВ делят на две группы: метательные и бризантные (дробящие). Первые обладают сравнительно небольшой скоростью распространения взрыва (300–400 м/с), вследствие чего объем газа увеличивается постепенно. При применении этих ВВ сильного дробления горной породы не происходит, поэтому их применяют для получения монолитов больших размеров.

Бризантные ВВ характеризуются большой скоростью распространения взрыва (4000–7000 м/с), мгновенным увеличением объема газов (например, аммонал), в результате чего происходит дробление горной породы. Их применяют при добыче рваного камня, щебня. Для получения большого

количества камня и щебня иногда прибегают к массовым взрывам породы крупными зарядами.

Буровзрывные работы – весьма трудоемкий и дорогостоящий процесс при добыче полезных ископаемых. Это предопределяет необходимость повышения производительности труда на базе достижений науки и техники в этой области и максимальной механизации.

Рекультивация земель. Одним из важнейших направлений в области охраны природы является рекультивация земель, нарушенных в результате промышленной деятельности человека, и возвращение их для дальнейшего использования. Особенно много сельскохозяйственных и лесных угодий нарушается в результате разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом.

Цель рекультивации – приведение земель в состояние, пригодное для использования их в интересах сельского, лесного и водного хозяйств, гражданского и дорожного строительства.

Горнотехническая рекультивация предусматривает сдачу земель пользователям для последующей биологической рекультивации и должна предусматриваться при проектировании и в процессе эксплуатации не позднее чем в течение года после окончания разработки месторождения.

В состав горнотехнической рекультивации земель включают:

- снятие плодородного слоя почвы с площадей, отведенных под горные работы, и хранение ее во временных отвалах;
- планировку отвалов вскрышных пород с целью образования удобных для рекультивации местности и строительства подъездных путей, дренирование и другие мелиоративные мероприятия;
- отсыпку на рекультивированную поверхность плодородного слоя почвы и его планировку и другие инженерно–технические решения.

Горнотехническую рекультивацию земель, нарушенных открытыми горными разработками, проводят организации, разрабатывающие месторождения своими силами и за свой счет. Расходы на рекультивацию закладываются в смету на разработку месторождения.

1.3.3. Механизация переработки каменных материалов

Технология переработки каменных материалов. Переработка каменных материалов состоит из дробления, сортировки, промывки и обогащения щебня, гравия, песка. Указанные операции производят последовательно в тесной технологической увязке между собой.

Дробление характеризуется отношением размера кусков исходного материала к размеру кусков готового продукта. Это отношение называется

степенью дробления и является важнейшим качественным показателем, как самого процесса, так и каждой дробильной машины в частности.

Каждой конструкции дробильной машины при максимальной производительности соответствует оптимальная степень дробления – так, для щековых и конусных дробилок крупного дробления $i = 3-5$, для одно- и двухроторных молотковых дробилок при дроблении неабразивных пород $i = 10-15$ и для двухроторных $i = 30-40$.

Получить высокую степень дробления на одной дробилке практически невозможно. Поэтому дробление осуществляют в несколько стадий, т. е. последовательно устанавливают ряд дробильных машин, различных по конструкции и техническим характеристикам. При этом постепенно переходят от крупного к среднему и затем к мелкому дроблению с таким расчетом, чтобы эффективность дробления на последующих стадиях была выше, а затраты энергии меньше.

Количество стадий дробления – основной показатель, характеризующий технологическую схему дробильно-сортировочного завода. Обычно проектируют две-три стадии дробления и реже четыре. При определении необходимого числа стадий дробления учитывают максимальные размеры отдельных кусков и их количество в массе.

Исходное сырье представляет собой неоднородную по крупности смесь, содержащую различные примеси и включения. В процессе переработки сырье необходимо разделить на фракции, удалить примеси и включения.

Сортировка (грохочение) – разделение продуктов переработки по крупности. Наиболее распространенный способ сортировки сыпучих материалов – механический, который выполняется машинами, содержащими колосники, сита и решета. Количество получаемых фракций материала определяется количеством сит (решет) в грохоте, а крупность фракций – размерами отверстий в ситах (решетах). Если сортируемый материал последовательно проходит через n сит, то в результате получается $n + 1$ фракций.

Процесс грохочения принято оценивать производительностью, т. е. количеством поступающего на грохот исходного материала в единицу времени, и эффективностью грохочения – отношением массы материала, прошедшей через отверстия сит a , к массе материала данной фракции, содержащейся в исходном продукте.

Промывку щебня и гравия осуществляют с целью удаления из их состава глинистых и пылеватых частиц.

Классификацию и обогащение песков применяют для доведения зернового состава до требований Государственных стандартов. Эти операции выполняют в механических и гидравлических классификаторах, а также в обогатительных аппаратах.

В технологические процессы переработки включают обогащение по прочности для получения высокопрочного щебня при переработке гравийно-песчаных материалов, в котором гравий и валуны представлены породами

различной прочности. Этот процесс осуществляют в отсадочных машинах, механических классификаторах, установках для обогащения в тяжелых средах. Наибольшее распространение получили первые два способа.

Обогащение щебня по форме зерен предназначено для получения щебня кубообразной формы. Эту операцию осуществляют избирательной сортировкой на щелевидных ситах, грануляцией щебня в роторных дробилках ударного действия и в барабанах-грануляторах.

Обезвоживание гравия и щебня в основном производится на виброгрохотах, а песка – в спиральных классификаторах.

Камнедробильные заводы. Камнедробильные заводы разделяют: по объему выпускаемой продукции (мощности) – малой (до 50–100 тыс. м³ в год), средней (100–250 тыс. м³ в год) и большой (более 250 м³ в год) производительности; по схеме технологического процесса – на заводы, работающие по открытому циклу (материал проходит через дробильную машину только один раз) (рис. 1.3, *а*) или замкнутому циклу (крупные фракции остающегося на сите материала после сортировки возвращаются на повторное дробление) (рис. 1.3, *б*); по расположению к рельефу местности – на заводы с горизонтальной и вертикальной компоновкой оборудования.

При выборе технологической схемы производства работ на КДЗ учитывают тип горной породы:

I – однородные магматические горные породы с пределом прочности при сжатии 600 МПа и более, чистые и менее загрязненные легкопромывистыми включениями; метаморфические (осадочные) породы с прочностью при сжатии 60–250 МПа и с большим содержанием мелких кусков 0–150 (200) мм в исходной горной массе, загрязненные легко- и среднепромывистыми включениями;

II – прочные однородные осадочные породы с пределом прочности при сжатии 60–200 МПа и более, незначительно загрязненные легко- и среднепромывистыми включениями;

III – неоднородные малоабразивные породы, прочность при сжатии, которых изменяется в широких пределах (10–150 МПа), содержащие слабые разности и загрязненные средне- и труднопромывистыми включениями. Для этих пород нельзя рекомендовать единую технологическую схему переработки ввиду того, что содержание слабых разностей и глинистых включений колеблется в значительных пределах.

Для облегчения разработки технологического процесса составляют количественные и качественные схемы.

Количественная схема показывает, в каких количествах и в какой последовательности поступивший на завод материал перерабатывается и проходит через отдельные операции технологического процесса. Для построения этой схемы необходимо знать зерновой состав материала, выходящего из дробилки, в зависимости от ширины на выпускной щели.

На КДЗ с небольшой годовой производительностью обычно применяют одностадийную схему дробления, которая осуществляется как с открытым, так и с замкнутым циклом; перерабатываются куски исходного материала размером до 400–450 мм. Дробление породы производится на одной или нескольких параллельно работающих дробилках 2, из которых дробленый материал направляется транспортирующими машинами (ленточные конвейеры, ковшовые элеваторы) на грохоты 3. Готовый продукт подается в бункера 4 или отвалы (рис. 1.4, *а*). Такую схему часто применяют при разработке притрассовых карьеров.

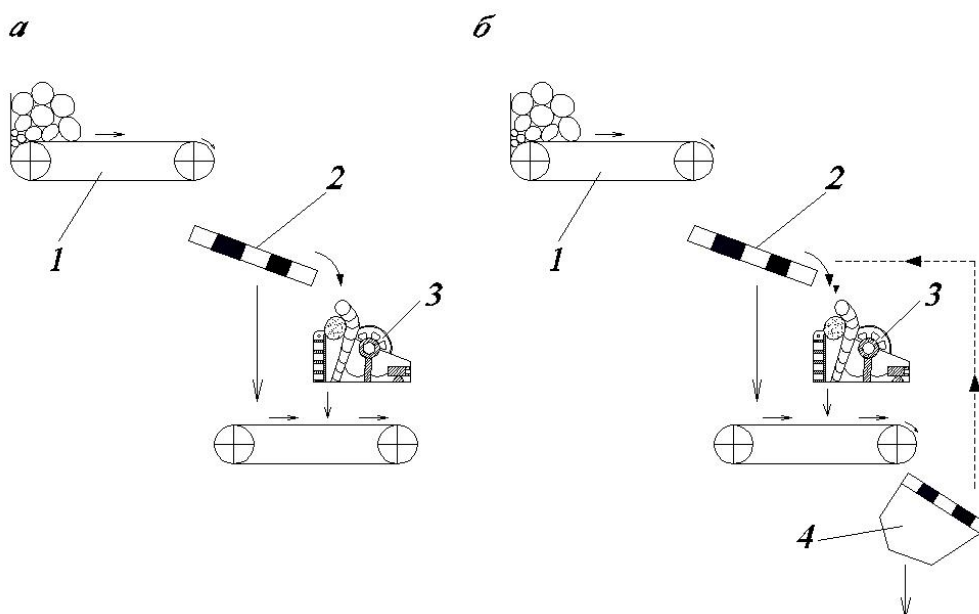


Рис. 1.3. Схемы циклов дробления: *а* – открытый цикл; *б* – закрытый цикл; 1 – питатель пластинчатый; 2, 4 – грохоты; 3 – дробилки

Двухстадийная схема дробления (рис. 1.4, *б*) получила наибольшее распространение на КДЗ средней производительности и при переработке кусков исходного материала размером до 700–1000 мм. В этой схеме вместо нескольких небольших дробилок, работающих параллельно, устанавливают одну–две дробилки большой производительности. Верхний сорт (фракция) от этой дробилки поступает на вторичное дробление в одну или несколько дробилок меньшей производительности. Окончательная сортировка осуществляется на втором грохоте, куда поступает продукт вторичного дробления, а также материал, отсортированный на первом грохоте. В этой схеме работа совершается также по замкнутому циклу.

Трехстадийную схему дробления (рис. 1.4, *в*) используют на заводах с годовой производительностью более 250 тыс. м³ и при переработке исходного материала с размером кусков до 1000–1200 мм. Эта схема является наиболее гибкой и рациональной, так как обеспечивает выпуск в требуемых

пределах как крупных, так и мелких фракций, и применяется в качестве основной при дроблении прочных каменных материалов.

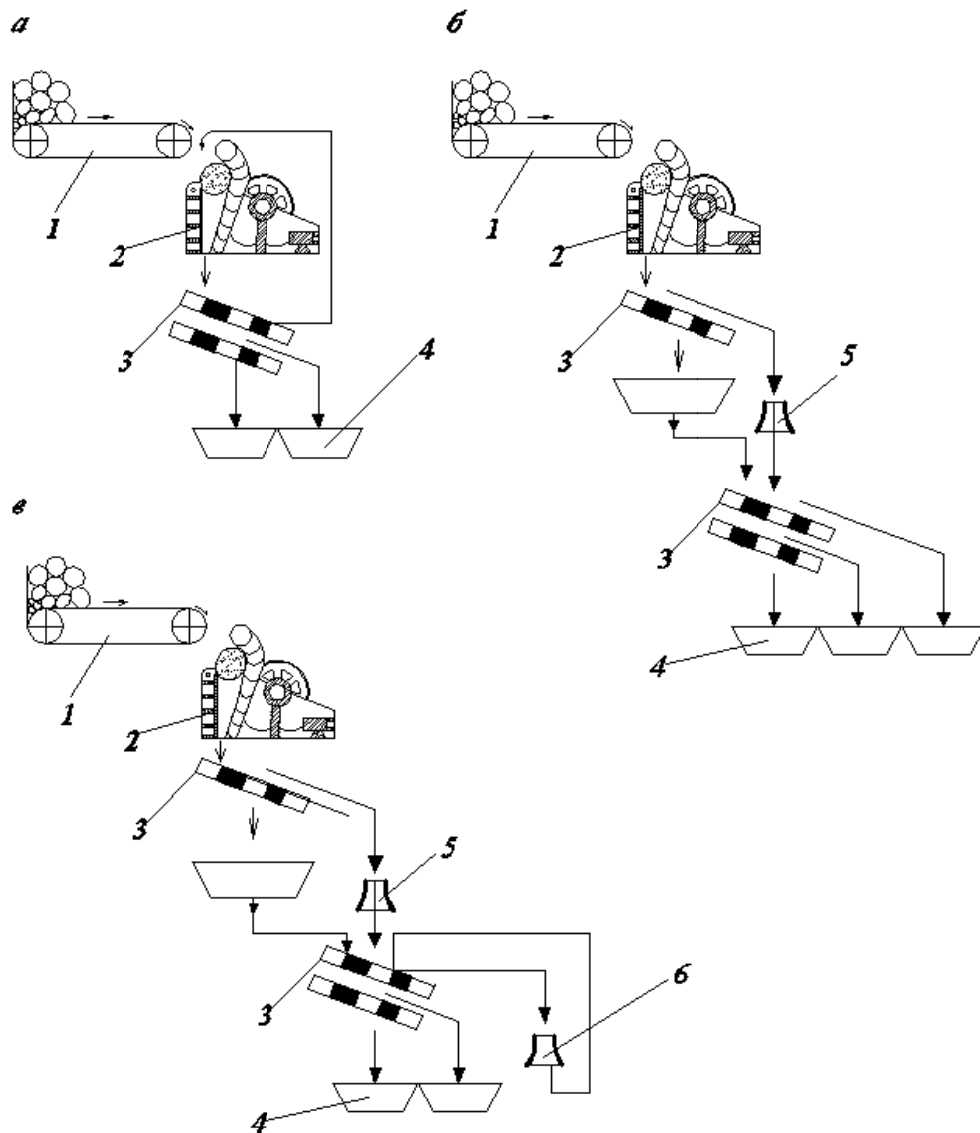


Рис. 1.4. Схемы стадий дробления: *а* – одностадийная; *б* – двухстадийная; *в* – трехстадийная 1 – питатель; 2 – щековая дробилка первичного дробления; 3 – грохоты (одно- и трехситные); 4 – бункера; 5 – конусная дробилка второй стадии дробления; 6 – конусная дробилка третьей стадии дробления

При всех схемах дробления на первичном дроблении устанавливают щековые дробилки большой производительности, реже конусные, а на вторичном – валковые, конусные и щековые меньшей производительности.

Роторные дробилки рассчитаны на дробление неабразивных горных пород, имеют высокую степень дробления, большой процент выхода щебня кубообразной формы, меньшую энергоемкость и чувствительность к

попаданию недробимых предметов. Между первичными и вторичными дробильными машинами целесообразно устанавливать промежуточный бункер, сглаживающий неравномерность по дачи материала. Емкость бункера должна быть не меньше двойного объема транспортных средств, загружающих первичную дробилку, плюс объем материала, находящегося на ленте конвейера, питающего вторичную дробилку.

Повышение экологичности дробильного производства. Дробление материалов в дробилках связано со значительным шумообразованием и вибрации деталей от импульсных воздействий усилий дробления. Для уменьшения шумового воздействия на обслуживающий персонал рассматривают два основных способа: снижение шума, издаваемого технологическим оборудованием; борьба с проницаемостью издаваемого шума. По первому способу выбирают оптимальную толщину стенок, усиливают изоляцию, применяют эластичные соединения отдельных деталей друг с другом и корпусом, устанавливают дробилки на упругих элементах, разделяют точки и трубопроводы эластичными фланцами и др.

По второму способу применяют различного рода укрытия, устанавливают оборудование в отдельных помещениях, удаляют пульты управления и рабочие зоны от непосредственной близости с дробилками.

Процесс дробления кусков материала в дробильных машинах происходит с образованием мелкодисперсных частиц. Кроме того, поступающее в дробилки сырье также содержит мелкие пылеватые фракции. Воздушные потоки, возникающие от движения рабочих органов дробилок, увлекают с собой мелкодисперсные фракции, выносят их в окружающую зону промышленного помещения, создают неблагоприятные условия для обслуживающего персонала.

Для защиты производственного помещения от выброса пыли применяют герметические укрытия оборудования, течек, мест пересыпки. Пыль отсасывают через вентиляционные окна. Места прохода материала и ленты конвейера перекрывают гибкой шторкой. Вентиляция-аспирация должна обеспечивать разрежение в укрытиях дробилок: щековых – 2,0, конусных – 1,5, валковых – 1,0 и молотковых – 3,0 Па. Обеспечение требуемого уровня разрежения достигается пылеотсасывающей вентиляцией, объемы которой зависят от вида оборудования, формы и типа укрытий, характера готового продукта и др., и определяется по специальным методикам.

Для эффективного пылеподавления в тех случаях, когда позволяет технологический процесс, широко используют гидропарообеспылевание, благодаря которому с помощью распыления воды и пароводяного тумана материал увлажняется и подавляется пылевое облако. Увлажнение изверженных пород на 8–10% и осадочных на 4–6% практически сводит к минимуму выделения пыли.

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЛЕКТОВ И КОМПЛЕКСОВ МАШИН

2.1. Комплектование машин в условиях полной определенности

Постановка задачи и выбор критерия оптимизации. Пусть задан некоторый технологический процесс, включающий n операций. Каждая операция может быть выполнена различными типами и типоразмерами машин. Известны приведенные затраты на выполнение каждой операции каждой машиной. Исходная информация, необходимая для формирования оптимального комплекса машин, представлена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Исходная информация, необходимая для формирования оптимального комплекса машин

Номер операции	$j = 1$			$j = 2$			$j = 3$		
	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=1$	$k=2$	$k=3$
1	46	48	35	—	—	—	—	—	—
2	157	150	145	155	150	146	165	162	160
3	54	58	—	56	60	—	58	62	—
4	21	24	—	20	18	—	—	—	—
5	0	—	—	0	—	—	—	—	—

Требуется сформировать такой комплекс машин, т.е. на каждой операции выбрать такие машины, которые обеспечивают минимальные приведенные затраты на выполнение всего технологического процесса.

Выявление основных особенностей, взаимосвязей и количественных закономерностей. Изобразим графически все возможные комплексы машин в виде сетевого графа. Каждая операция в сетевом графе (рис. 2.1) представляется в виде стрелки с указанием над ней приведенных затрат на выполнения i -й операции k -й машиной после выполнения j -й машиной $(i-1)$ -й операции.

Стрелка означает также возможные связи одной машины с другими. Кружочек означает завершение одной операции одним типом машин и начало выполнения другой операции другим типом машин.

Число, стоящее в кружочке, означает номер (тип, типоразмер) машины, используемой на предшествующей операции. Число над кружочком означает сквозную нумерацию машин, определяющих допустимое множество машин, для выполнения данного технологического процесса. Начальный и конечный

кружочки сетевого графа означают, соответственно, начало выполнения технологического процесса и его завершение, а номера над ними (0 и 11 — номера фиктивных машин). Таким образом, в нашей задаче для формирования оптимального комплекса машин принято 10 машин. Из них по три типа, (типоразмера) на 1-й и 2-й операциях и по два на 3-й и 4-й операциях.

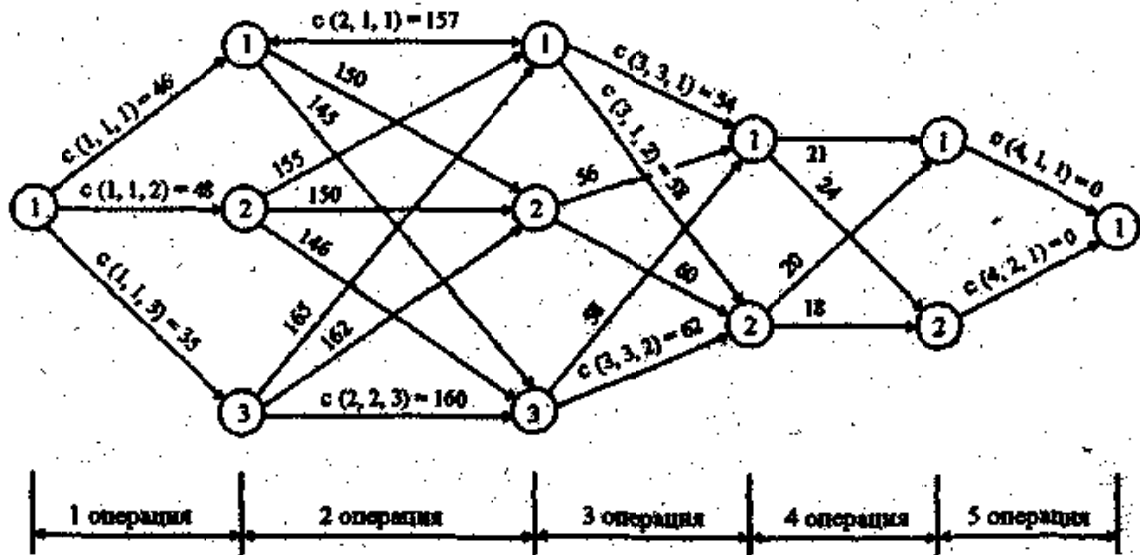


Рис. 2.1. Граф возможных комплексов машин

Приведенные затраты $C(i, j, k)$ на выполнение i -ой операции k -ой машиной после выполнения j -ой машиной ($i-1$ -ой операции даны в табл. 2.1.

Если при выполнении какой-то операции, например транспортировки продукции, габариты и грузоподъемность транспортного средства не соответствуют параметрам погрузочного оборудования, то в этих условиях данное погрузочное оборудование не может быть использовано с данным погрузочным средством. В этом случае на графе возможных комплексов машин должна отсутствовать связь (стрелка) между этими машинами. Множество такого рода ограничений часто упрощает решение задачи при использовании специальных методов решения.

Представление всех возможных комплексов машин в виде графа обеспечивает наглядность и простоту формирования допустимого множества.

Данная задача относится к классу комбинаторных, в которых число возможных комплексов $N = 3 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 2 = 36$.

При увеличении операций и машин на каждой операции резко возрастает число возможных комплексов.

Построение математической модели. Для решения данной задачи воспользуемся принципом оптимальности Беллмана (метод динамического программирования), согласно которому оптимальный выбор обладает тем свойством, что, каковы бы ни были первоначальное состояние и решение в начальный момент, последующие решения должны быть оптимальными.

Метод динамического программирования дает возможность заменить перебор всех вариантов определенной системой действий, при которых отыскание экстремума многих переменных заменяется многократным отысканием экстремума функции одной переменной. Оптимизируемый процесс разделяется на ряд последовательных этапов (шагов). Затем проводится последовательная оптимизация на каждом шаге. В качестве математической модели может быть использовано функциональное уравнение Беллмана, которое дает ключ для решения задачи:

$$y(i,j) = \min [C(i,j,k)+y(i+1,k)], \text{ при } k = 1, 2, \dots, n_{(1-i)},$$

где (i, j) – минимальные приведенные затраты для комплекса машин, выполняющего технологический процесс, начиная с i -й операции, и с j -й машины; $y(i+1,k)$ – то же, начиная с $(i+1)$ -й операции и с k -й машины.

Исследование математической модели. Алгоритм оптимизации выбора оптимального комплекса машин методом динамического программирования состоит из двух основных этапов.

На первом этапе производят расчет критерия оптимизации, для частичных комплексов машин начиная с машин, выполняющих последнюю операцию. Постепенно переходя к началу технологического процесса и используя функциональное (рекуррентное) уравнение Беллмана, определяют минимальные приведенные затраты.

На первом шаге полагают, при $k = 1$:

$$y(5,1) = 0,$$

$$y(4,1) = \min[C(4,1,1)+y(5,1)] = \min(0+0) = 0,$$

$$y(4,2) = \min[C(4,2,1)+y(5,1)] = \min(0+0) = 0.$$

На втором шаге добавляют еще одну операцию и определяют для всех частичных комплексов машин тот, который обеспечивает минимальные затраты, при $k = 1, 2$:

$$y(3,1) = \min \begin{Bmatrix} C(3,1,1) + y(4,1) \\ C(3,1,2) + y(4,2) \end{Bmatrix} = \min \begin{Bmatrix} 21 + 0 \\ 24 + 0 \end{Bmatrix} = 21,$$

$$y(3,2) = \min \begin{Bmatrix} C(3,2,1) + y(4,1) \\ C(3,2,2) + y(4,2) \end{Bmatrix} = \min \begin{Bmatrix} 20 + 0 \\ 18 + 0 \end{Bmatrix} = 18,$$

На третьем шаге добавляют еще одну операцию, при $k = 1, 2$:

$$y(2,1) = \min \begin{Bmatrix} C(2,1,1) + y(3,1) \\ C(2,1,2) + y(3,2) \end{Bmatrix} = \min \begin{Bmatrix} 54 + 21 \\ 58 + 18 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 75 \\ 76 \end{Bmatrix} = 75,$$

$$y(2,2) = \min \begin{Bmatrix} C(2,2,1) + y(3,1) \\ C(2,2,2) + y(3,2) \end{Bmatrix} = \min \begin{Bmatrix} 56 + 21 \\ 60 + 18 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 77 \\ 78 \end{Bmatrix} = 77,$$

$$y(2,3) = \min \begin{Bmatrix} C(2,3,1) + y(3,1) \\ C(2,3,2) + y(3,2) \end{Bmatrix} = \min \begin{Bmatrix} 58 + 21 \\ 62 + 18 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 79 \\ 80 \end{Bmatrix} = 79.$$

На четвертом шаге добавляют еще одну операцию, при $k = 1, 2, 3$:

$$y(1,1) = \min \begin{Bmatrix} C(1,1,1) + y(2,1) \\ C(1,1,2) + y(2,2) \\ C(1,1,3) + y(2,3) \end{Bmatrix} = \min \begin{Bmatrix} 157 + 75 \\ 150 + 77 \\ 145 + 79 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 232 \\ 227 \\ 224 \end{Bmatrix} = 224,$$

$$y(1,2) = \min \begin{Bmatrix} C(1,2,1) + y(2,1) \\ C(1,2,2) + y(2,2) \\ C(1,2,3) + y(2,3) \end{Bmatrix} = \min \begin{Bmatrix} 155 + 75 \\ 150 + 77 \\ 146 + 79 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 230 \\ 227 \\ 225 \end{Bmatrix} = 225,$$

$$y(1,3) = \min \begin{Bmatrix} C(1,3,1) + y(2,1) \\ C(1,3,2) + y(2,2) \\ C(1,3,3) + y(2,3) \end{Bmatrix} = \min \begin{Bmatrix} 165 + 75 \\ 162 + 77 \\ 160 + 79 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 240 \\ 239 \\ 239 \end{Bmatrix} = 239.$$

На пятом шаге добавляем еще одну операцию, при $k = 1, 2, 3$:

$$y(0,1) = \min \begin{Bmatrix} C(0,1,1) + y(1,1) \\ C(0,1,2) + y(1,2) \\ C(0,1,3) + y(1,3) \end{Bmatrix} = \min \begin{Bmatrix} 46 + 224 \\ 48 + 225 \\ 35 + 239 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 270 \\ 273 \\ 274 \end{Bmatrix} = 270.$$

Первый этап расчета считается законченным, когда найдены минимальные приведенные затраты для всего технологического процесса. В нашей задаче они составляют $y = 270$.

Минимальные значения критерия оптимизации для частичных комплексов машин $y(i,j)$ представлены рядом с кружочками.

После этого переходят ко второму этапу, на котором определяются именно те машины, которые обеспечили минимум выбранному критерию оптимизации.

На втором этапе, который выполняется в обратной последовательности, на каждом шаге определяется машина, затраты от которой вошли в суммарный минимум критерия оптимизации. Так, В нашей задаче на четвертом

шаге в состав комплекса машин вошла машина $M(1, 1)$, на третьем $M(2, 3)$, на втором $M(3, 1)$, на первом $M(4, 1)$.

Таким образом, в оптимальный комплект машин вошли следующие машины:

$$M(1, 1) \rightarrow M(2, 3) \rightarrow M(3, 1) \rightarrow M(4, 1).$$

Если ввести сквозную нумерацию машин, то в оптимальный комплект машин войдут следующие машины:

$$0 \rightarrow 1 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 9 \rightarrow 11.$$

Для снижения трудоемкости определения оптимального комплекта машин в условиях полной определенности целесообразно использовать электронно-вычислительную технику, которая не только снижает трудоемкости требуемых вычислений, но и резко сокращает время поиска.

2.2. Комплектование машин в условиях неполной определенности

Оптимальное комплектование машин в условиях неполной определенности о среде проводится в соответствии с теорией игр и статистических решений. В этих условиях требуется принять оптимальное решение или близкое к нему, т.е. определить такие параметры комплекта машин, которые обеспечивают максимальную эффективность его использования.

Постановка задачи и выбор критерия оптимизации. Допустим, что для строительства некоторого объекта можно использовать несколько различных комплектов машин $K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_n$. Допустим также, что известны все возможные условия предстоящей работы их $C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_m$ и известны затраты каждого возможного варианта комплекта машин при различных условиях работы y_{ij} . Вся необходимая информация представляется в виде матрицы затрат (табл. 2.2). Требуется найти такой вариант комплекта машин, который минимизирует средние затраты:

$$y = \sum_{j=1}^n y_{ij} \cdot p(C_j), (i = 1, 2, \dots, n),$$

где y_{ij} – затраты i -го комплекта машин при работе в j -х условиях; $p(C_j)$ – априорное распределение возможных условий работы комплекта машин.

Выявление основных особенностей, взаимосвязей и количественных закономерностей. Множество всех комплектов машин представим в

таком виде $\Pi = (\Pi_1, \dots, \Pi_i, \dots, \Pi_n)$, табл. 2.2, где $C = (C_1, \dots, C_j, \dots, C_m)$ – множество всех возможных условий работы комплекта машин.

Таблица 2.2

Исходная информация множества всех комплектов машин

Возможные комплекты машин K_i	Возможные условия работы комплекта машин C_j						
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
	Затраты K_i комплекта машин при работе в C_j условиях - y_{ij}						
K_1	25,67	22,02	19,84	18,40	17,38	16,63	16,06
K_2	17,90	15,25	13,89	12,92	12,23	11,78	11,64
K_3	14,03	12,08	10,95	10,23	9,77	9,47	9,29
K_4	11,71	10,11	9,21	8,67	8,35	8,18	8,13
K_5	10,17	8,82	8,08	7,67	7,47	7,41	7,68
$P(C_j)$	0,05	0,10	0,15	0,40	0,15	0,10	0,05

Ожидаемые затраты для априорного распределения возможных условий работы комплекта машин можно определить по формуле:

$$y(K_1) = \sum_{j=1}^m y_{1j} \cdot p(C_j) = 25,67 \cdot 0,05 + 22,02 \cdot 0,10 + 19,84 \cdot 0,15 + 18,40 \cdot 0,40 + 17,38 \cdot 0,15 + 16,63 \cdot 0,10 + 16,06 \cdot 0,05 = 18,70.$$

Аналогично определяются затраты и для других комплектов машин:

$$y(K_2) = \sum_{j=1}^m y_{2j} \cdot p(C_j) = 13,30,$$

$$y(K_3) = \sum_{j=1}^m y_{3j} \cdot p(C_j) = 10,60,$$

$$y(K_4) = \sum_{j=1}^m y_{4j} \cdot p(C_j) = 8,90,$$

$$y(K_5) = \sum_{j=1}^m y_{5j} \cdot p(C_j) = 7,90.$$

Минимальные затраты для априорного распределения условий работы соответствуют использованию 5-го комплекта машин.

Часто проектировщик может иметь некоторую информацию о среде, будущих условиях работы комплекта машин или интуитивно догадываться о них. Все это накладывает определенную специфику на процесс формирования оптимального комплекта машин. В этом случае проектировщик имеет дело с априорной информацией и может быть использован байесовский подход, который. Состоит в определении и использовании априорных вероятностей событий для расчета апостериорных вероятностей:

$$p(C_j/\Pi_i) = \frac{p(C_j/\Pi_i) \cdot p(C_j)}{\sum_{j=1}^m p(C_j/\Pi_i) \cdot p(C_j)}, (i = 1, 2, \dots, n),$$

где $p(C_j/\Pi_i)$ – вероятность выбора i -го комплекта машин при предположении, что встретится j -е условие работы.

Построение математической модели. Затраты на эксплуатацию того или иного комплекта машин

$$y = \sum_{j=1}^m y_{ij} p(C_j/\Pi_i), (i=1, 2, \dots, n).$$

Те комплекты машин, которые обеспечат минимальные значения критерию оптимизации, и будут искомыми.

Исследование математической модели. Алгоритм расчета включает следующие основные этапы:

1. Вычисление ожидаемых затрат для каждого варианта комплекта машин Π_i , ($i = 1, 2, \dots, n$) используя априорное распределение.

2. Выбор из всех комплектов машин того, который обеспечил минимальные затраты. Если проектировщик не располагает дополнительной информацией, то расчет на этом заканчивается. При наличии дополнительной информации по тем или иным возможным условиям работы комплекта машин переходят к следующему этапу.

3. Определение апостериорных вероятностей распределения $p(C_j/\Pi_i)$ по формуле Байеса.

Вычисление ожидаемых затрат для каждого варианта комплекта машин:

$$y = \sum_{j=1}^m y_{ij} \cdot p(C_j/\Pi_i), \text{ используя апостериорное распределение.}$$

4. Выбор из всех комплектов машин того, который обеспечил минимальные затраты.

Для снижения трудоемкости определения оптимального комплекта машин в условиях неполной определенности целесообразно использовать электронно-вычислительную технику, которая не только снижает трудоемкость требуемых вычислений, но и резко сокращает время поиска.

2.3. Комплектование машин в условиях полной неопределенности

Комплектование машин в условиях неопределенности проводится в соответствии с теорией игр и статистических решений с использованием целого комплекса специальных методов оптимизации: метода минимальных потерь, метода минимального риска, метода обобщенного минимакса недостаточного обоснования. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Рассмотрим комплектование машин различными методами оптимизации на конкретном примере.

Постановка задачи и выбор критерия оптимизации. Пусть для строительства некоторого объекта можно использовать несколько различных комплектов машин $K_1, K_2, \dots, K_n$. Условия работы, в которых придется работать комплекту машин, не известны. Однако известны затраты y_{ij} табл. 2.3 или прибыль P_{ij} табл. 2.4 при использовании i -го комплекта машин в j -ых условиях работы. Требуется определить оптимальный комплект машин различными методами оптимизации.

Таблица 2.3

Исходная информация по затратам при использовании комплектов машин

Комплекты машин K_i	Условия работы комплекта машин C_j			
	C_1	C_2	C_3	C_4
	Затраты Y_{ij} при использовании K_i -го комплекта машин в C_j -ых условиях работы			
K_1	65	65	97	90
K_2	79	99	94	10
K_3	60	40	90	85

Таблица 2.4

Исходная информация по прибыли при использовании комплектов машин

Комплекты машин K_i	Условия работы комплекта машин C_j			
	C_1	C_2	C_3	C_4
	Прибыль P_{ij} при использовании K_i -го комплекта машин в C_j -ых условиях работы			
K_1	35	35	3	10

K_2	21	1	6	90
K_3	40	60	10	15

Метод минимальных потерь (метод Вальда).

При использовании критерия затрат в методе Вальда, выбирается тот комплект машин, для которого наибольшие затраты при самых неблагоприятных условиях работы из всех возможных меньше, чем наибольшие затраты при самых неблагоприятных условиях работы для любого другого комплекта машин (принцип минимакса).

$$Y_B = \min Y_{i\max} = \min \max Y_{ij},$$

$$(1 \leq i \leq n) \quad (\leq i \leq n), (1 \leq j \leq m),$$

где $Y_{i\max}$ – максимальные затраты из всех да условий работы для i -го комплекта машин; Y_{ij} – затраты при использовании i -го комплекта машин в j -ых условиях работы; n – число рассматриваемых комплектов машин; m – число возможных условий работы комплекта машин.

В табл. 2.5 в последнем столбце определены максимальные затраты $Y_{i\max}$ для каждого i -го комплекта машин.

Таблица 2.5

Информация по затратам при использовании комплектов машин

Комплекты машин K_i	Условия работы комплекта машин C_j				Максимальные затраты $Y_{i\max}$
	C_1	C_2	C_3	C_4	
	Затраты Y_{ij} при использовании K_i -го комплекта машин в C_j -ых условиях работы				
K_1	65	65	97	90	97
K_2	79	99	94	10	99
K_3	60	40	90	85	90

Затем определяется минимальная величина, которая и определяет оптимальный комплект машин. В нашей задаче таким комплектом машин является третий комплект машин, для которого

$$Y_B = \min Y_{i\max} = 90$$

$$(1 \leq i \leq 3).$$

При использовании критерия прибыли в методе Вальда выбирается тот комплект машин, для которого наименьшая прибыль больше, чем наи-

меньшая прибыль для любого другого комплекта машин (принцип максимина).

$$P_B = \min P_{i\min} = \max \min P_{ij}$$

$$(1 \leq i \leq n) \quad (1 \leq i \leq n), (1 \leq j \leq m),$$

где $P_{i\min}$ – минимальная прибыль из всех m условий работы для i -го комплекта машин; P_{ij} – прибыль при использовании i -го комплекта машин на j -ом объекте, в j -ых условиях работы.

В табл. 2.6 в последнем столбце определены минимальные прибыли $P_{i\min}$ для каждого комплекта машин.

Таблица 2.6

Информация по прибыли при использовании комплектов машин

Комплекты машин K_i	Условия работы комплекта машин C_j				Минимальная прибыль $P_{i\max}$
	C_1	C_2	C_3	C_4	
	Прибыль P_{ij} при использовании K_i -го комплекта машин в C_j -ых условиях работы				
K_1	35	35	3	10	3
K_2	21	1	6	90	1
K_3	40	60	10	15	10

Максимальная из всех минимальных прибылей $P_{i\min}$ будет прибыль для третьего комплекта машин, которая равна 10. Таким образом, используя метод Вальда, оптимальным комплектом машин при использовании критерия прибыли будет третий.

Метод минимакса (максимина) является наиболее осторожным, консервативным при выборе оптимального комплекта машин, так как он страхует от отрицательных последствий при самых неблагоприятных условиях работы. Это стратегия перестраховщика, она ориентирована на наихудшие условия работы комплекта машин.

Для снижения трудоемкости определения оптимального комплекта машин в условиях полной неопределенности методом Вальда целесообразно использовать электронно-вычислительную технику, которая не только снижает трудоемкость требуемых вычислений, но и резко сокращает время поиска.

ГЛАВА 3. ОПТИМАЛЬНОЕ КОМПЛЕКТОВАНИЕ МАШИН ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

3.1. Организация строительного производства

Под организацией строительства понимают систему мероприятий, определяющих численность и расстановку трудовых и материальных ресурсов, а также порядок их использования и взаимодействия в течение всего срока строительства.

Цель организации строительства и производства работ – разработка мероприятий, обеспечивающих сооружение и сдачу в эксплуатацию автомобильной дороги в проектные сроки, с высоким качеством и минимальными денежными, трудовыми и материальными затратами.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнять следующие условия:

Внедрять поточную организацию строительства, обеспечивающую высокую производительность труда, эффективное использование средств механизации, непрерывное и равномерное потребление ресурсов и непрерывный ввод в действие построенных участков дороги. При этом все отдельные специализированные потоки увязаны между собой по производительности и в своей совокупности представляют единый комплексный строительный поток.

Повышать уровень состояния механизации и автоматизации основных и вспомогательных производственных процессов.

Использовать для выполнения отдельных строительных работ специализированные комплекты машин рациональной структуры, в которых качественный и количественный состав машин определяется не только по производительности, но и по технико-экономическим показателям их работы.

Применять наиболее прогрессивные технологические схемы производства механизированных работ при строительстве автомобильной дороги. Детальная привязка к конкретным условиям каждого участка строительства и средствам механизации решающим образом влияет на качество, стоимость и темп производства работ.

Обеспечивать качество производства работ, базирующееся на территориальной комплексной системе управления качеством работ.

Индустриализация строительства – это организация круглогодичного строительного производства с применением комплексно-механизированных процессов строительства дорожных покрытий, оснований, мостов, труб, жилых и промышленных зданий с широким использованием сборных конструкций, в том числе укрупненных с высокой заводской готовностью. Индустриализация предусматривает перевод значительной части трудоемких процессов в стационарные условия промышленного

производства со всеми присущими ему прогрессивными чертами. В результате индустриализации повышается производительность труда, сокращаются сроки и стоимость строительства, что обеспечивает эффективность капитальных вложений. Наибольший эффект достигается при взаимодействии следующих основных технологических и организационных факторов: сборности возводимых сооружений, поточных методов строительства, комплексной механизации и автоматизации производственных процессов.

По степени индустриализации дорожные работы делятся на три группы: работы, которые нельзя выполнить в заводских условиях (возведение земляного полотна); работы, для которых в заводских условиях можно приготовить лишь полуфабрикаты (для устройства покрытий и оснований – асфальтобетонные и цементобетонные смеси); работы, которые можно полностью индустриализировать (строительство труб и мостов, дорожных, производственных зданий и т. п.)

Сборность – важнейший элемент индустриализации строительства. Для качественной оценки уровня сборности сооружений используют показатель «степень сборности» – технико-экономический показатель оценки проектов сооружений и технического уровня строительства. Он определяется отношением (в процентах) сметной стоимости (франко-строительная площадка) сборных конструкций, деталей и узлов заводского изготовления к сметной стоимости всех строительных материалов, конструкций и деталей.

Внедрить индустриализацию во всех ее формах (переход к сборным инструкциям, комплексная механизация и автоматизация) можно только при выполнении специальных организационных мероприятий. Главнейшим мероприятием, предшествующим внедрению индустриализации, является корректировка или разработка заново технологического процесса, в котором предусмотрено использование современного технологического оборудования. Особо важное положение в этом случае занимают вопросы технико-экономической целесообразности внедрения индустриализации, так как не всякий технологический процесс обеспечивает получение экономического эффекта от комплексной механизации и автоматизации в заводских условиях по сравнению с выполнением работ на строящемся объекте.

Система контроля качества строительства. Организация строительства предусматривает систему контроля качества строительства. Под качеством продукции понимают совокупность свойств, определяющих пригодность продукции удовлетворять определенные потребности общества в соответствии с ее назначением. Продукцией дорожного строительства является автомобильная дорога, предназначенная для грузовых и пассажирских перевозок с заданной скоростью при минимальных дорожно-транспортных затратах. Качество производственных работ определяется: качеством проектной документации качеством применяемых строительных материалов, полуфабрикатов и изделий; эффективностью использования

потенциальных возможностей средств механизации и автоматизации технологических процессов; соблюдением требований норм и технических условий при строительстве автомобильных дорог; уровнем квалификации, навыков и знаний инженерно–технических работников и рабочих.

Технический контроль – это совокупность методических указаний по определению показателей качества используемых материалов, технологических процессов и готовой продукции и сопоставление их с требованиями проекта, норм, технических условий и стандартов. Технический контроль позволяет управлять качеством строительства.

Подрядная организация в процессе строительства осуществляет: выходной контроль сырья, полуфабрикатов, изделий, поступающих от поставщиков или предприятий вспомогательного производства (АБЗ, карьеры и др.); операционный контроль технологических операций во время их выполнения и после их завершения; приемочный контроль отдельных элементов дорог, продукции дорожных производственных предприятий.

Эффективность контроля повышается при использовании статистических методов контроля качества, в основу которых положены методы теории вероятностей и математической статистики. Они позволяют объективно оценить изменчивость контролируемых показателей качества. По результатам статистической обработки данных выборочных испытаний корректируют параметры технологического процесса, устраняют систематические ошибки измерительных приборов оборудования, и т. п.

Под системой управления понимают совокупность технических, организационных, социальных, правовых и других воздействий на производственные процессы, обеспечивающие оптимальный уровень качества продукции и максимальную эффективность производства.

При выборе стратегии управления качеством подрядная организация руководствуется проектно–сметной документацией и проектом производства работ (ППР). ППР обеспечивает целенаправленность всех организационных, технических и технологических решений на достижение конечного результата: ввода в эксплуатацию объекта строительства с требуемым качеством, в установленные сроки, с минимальной себестоимостью.

При этом подрядчик обязан:

беспрепятственно допускать экспертов и сотрудников испытательной лаборатории на объекты контроля (при наличии у них соответствующего задания заказчика);

предоставлять необходимую для контроля техническую документацию по объекту (проектно-сметную документацию, журнал производства работ, журналы операционного и лабораторного контроля, акты на скрытые работы);

оказывать содействие при обследовании и взятии проб (обеспечивать внутриобъектным транспортом, предоставлять информацию об объекте, исходных материалах, конструкциях и т. д.);

незамедлительно ликвидировать все исправимые нарушения, сообщать об этом заказчику;

ликвидировать последствия взятия проб;

допускать экспертов и испытательную передвижную лабораторию на производственные предприятия (АБЗ, промбазы).

Качество выполненных работ оценивают в соответствии с правилами приемки работ при строительстве автомобильных дорог. Качество выполнения отдельных видов работ оценивают баллами:

«отлично», если работы выполнены с особой тщательностью и техническими показателями, превосходящими нормативные показатели;

«хорошо», если работы выполнены в полном соответствии с проектом и нормативными показателями;

«удовлетворительно», если работы выполнены с малозначительными отклонениями от технической документации, согласованными проектной организацией и заказчиком, но не снижающими показателей надежности, прочности, устойчивости и эксплуатационных качеств или при соблюдении условий, соответствующих установленным правилам приемки для удовлетворительной оценки качества работ.

Комплексную оценку качества подготовительных работ, возведения земляного полотна, строительства покрытий и оснований, конструктивных элементов искусственных сооружений определяют в баллах по результатам оценки качества отдельных видов работ:

$$S_i = \frac{5P_5 + 4P_4 + 3P_3}{P_5 + P_4 + P_3}, \quad (3.1)$$

где P_5, P_4, P_3 – число видов работ, получивших балл соответственно 5, 4, 3.

При $4,51 < S_i < 5,0$ выставляется «отлично», при $3,51 < S_i < 4,50$ – «хорошо» и при $3,0 < S_i < 3,5$ – «удовлетворительно».

Качество построенной дороги или ее участка определяют по формуле

$$S_{\text{ср}} = \frac{\alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n} \pm P_3, \quad (3.2)$$

где $S_1, S_2, \dots, S_n$ – среднее качество в баллах соответственно подготовительных работ, возведения земляного полотна, ..., зданий и сооружений, входящих в комплекс автомобильной дороги; $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ – соответствующие коэффициенты значимости с учетом вида работ и конструктивного элемента; P_3 – показатель эстетичности, зависящий от качества проведенных отделочных работ и внешнего вида дороги ($P_3 = 0,1-0,3$).

Коэффициенты значимости α_i

Подготовительные работы	0,5	Искусственные сооружения	0,9
Земляное полотно	1,0	Обстановка дороги	0,7
Основания дорожных одежд	0,9	Здания и сооружения	0,6
Покрытия дорожных одежд	1,0		

По значению $S_{\text{ср}}$ определяют итоговую оценку качества: «отлично» – $4,51 < S_{\text{ср}} < 5,0$; «хорошо» – $3,51 < S_{\text{ср}} < 4,50$; «удовлетворительно» – $3,0 < S_{\text{ср}} < 3,50$.

Работники технического контроля, члены рабочих комиссий несут ответственность за непринятие мер к устранению нарушений правил производства работ наряду с мерами, осуществляющими эти работы, в соответствии с действующим законодательством.

Способы организации дорожно-строительных работ.

Поточный метод. Поточный метод строительства состоит в непрерывном и ритмичном производстве работ, обеспечивающих равномерный выпуск продукции и равномерное и наиболее эффективное использование трудовых и материально-технических ресурсов, оборудования и средств механизации.

Сущность поточного метода строительства состоит в следующем:

в равные короткие промежутки времени (смену, сутки) заканчивают строительство равных по длине участков дороги;

все работы выполняют специализированными по видам работ комплектами машин (СКМ) (возведение земляного полотна, строительство дорожного основания, строительство покрытия и т. д.);

СКМ в технологической последовательности равномерно друг за другом передвигаются в одном направлении и выполняют все строительно-монтажные работы;

после прохода последнего СКМ дорога полностью готова к сдаче в эксплуатацию.

Поточный метод имеет ряд существенных преимуществ перед другими методами организации работ:

ввод готовых участков дороги во временную эксплуатацию осуществляется равномерно и непрерывно, что улучшает условия работы строительного транспорта, занятого на подвозке строительных материалов, полуфабрикатов и изделий;

концентрация средств механизации в специализированных отрядах обеспечивает лучшее их использование, а также создает благоприятные условия для проведения качественного ремонта и технического обслуживания дорожно-строительных машин;

специализация рабочих (операторов) средств механизации на выполнение ограниченного числа рабочих операций способствует

повышению их квалификации и производительности труда (разравнивание песка, укатка слоя покрытия, проливка водой слоя щебня и т. п.);

вся система поточного строительства обеспечивает повышение общей культуры производства, облегчает ведение контроля за качеством и количеством выпускаемой продукции, сокращает сроки оборачиваемости материальных и денежных средств и объем незавершенного производства.

Основные виды работ при строительстве автомобильных дорог выполняют в следующей технологической последовательности: подготовительные работы, строительство зданий и малых искусственных сооружений, строительство средних и больших мостов, производство сосредоточенных работ по возведению земляного полотна, устройство земляного полотна, устройство дорожной одежды (основания и покрытия), обстановка пути и отделочные работы. Основной организационной единицей при поточном методе строительства является специализированный частный поток, под которым понимают комплекс всех материально-технических и трудовых ресурсов, необходимых для строительства отдельной конструкции или выполнения отдельного вида работ.

Специализированные по видам работ СКМ приступают к работе в соответствии с технологической последовательностью. Они обычно имеют постоянный состав машин и рабочих и соответственно постоянную производительность. Между тем некоторые виды работ имеют неравномерное распределение объемов по строящейся дороге. В связи с этим различают два вида потоков: потоки с постоянной скоростью (темпом), при которых специализированные отряды в равные промежутки времени проходят равные подлине участки дороги (устройство дорожной одежды, земляного полотна в равнинной местности); потоки с переменной скоростью (темпом), при которых отряды в равные промежутки времени проходят в процессе производства работ различные по длине участки дороги (строительство земляного полотна в горной местности).

Между специализированными потоками могут быть разрывы, вызываемые необходимостью перерывов во времени.

Технологический перерыв – перерыв в производстве работ на участке дороги длительностью в несколько смен, вызванный характером работ (выдерживание бетона, цементогрунта).

Организационный перерыв – перерыв между сменными потоками или захватками одного потока, определяющий организационный задел на случай возможных задержек.

Объединение в непрерывном и ритмичном строительном процессе всех специализированных линейных потоков, подразделений, выполняющих сосредоточенные работы, предприятий производственной базы строительства и транспортных подразделений образует комплексный поток по строительству автомобильной дороги, т.е. комплексный поток состоит из ряда специализированных потоков (рис. 3.1).

Строительство дорог небольшой протяженности осуществляют одним комплексным потоком. При значительной протяженности дороги ее строительство осуществляется или одним потоком в течение нескольких лет, или в более короткие сроки несколькими одновременно действующими потоками.

Параметры потока. Поточное строительство характеризуется численным значением параметров, величина которых определяется конкретными условиями производства, применяемыми средствами механизации и темпом строительства.

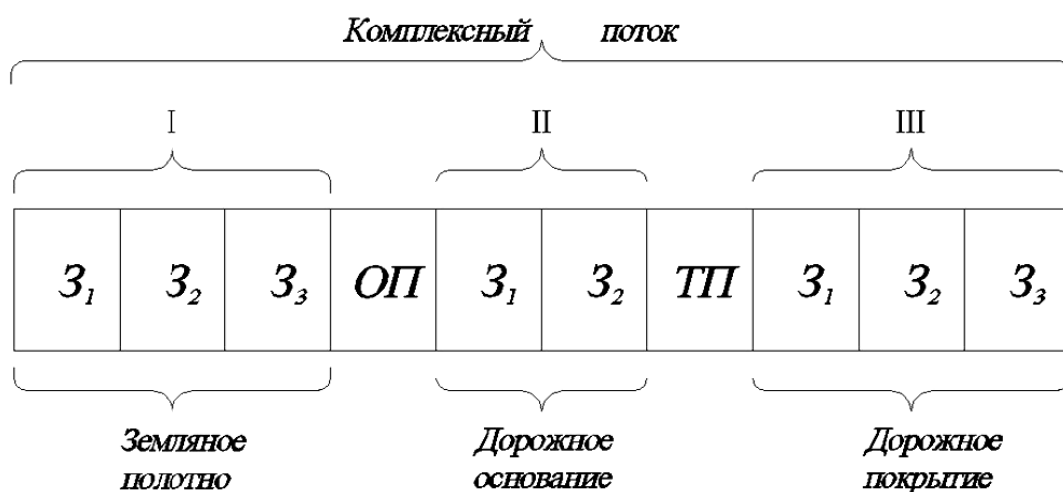


Рис. 3.1. План-схема комплексного потока строительства дороги:
I, II, III – специализированные потоки; Z_1, Z_2, Z_3 – захватки; ОП – организационный перерыв; ТП – технологический перерыв

Главный параметр потока – скорость специализированного потока. Это участок дороги, на котором СКМ выполняет возложенные на него работы в единицу времени (смену, сутки).

Скорость комплексного потока определяется полностью законченным участком автомобильной дороги за смену или сутки.

Скорость потока характеризует производительность СКМ и определяет численные значения многих других параметров. Следует стремиться к увеличению скорости, так как она уменьшает сроки строительства.

Время действия потока включает время работы всех средств потока. Для специализированного потока – это время работы одного специализированного комплекта машин, включая периоды развертывания и свертывания работ, для комплексного потока – время от начала работы первого СКМ до конца работы последнего.

При многолетнем строительстве одного объекта различают годовое и полное время действия потока. Под первым понимают продолжительность

действия потока в течение одного года, под вторым – продолжительность действия многолетнего потока.

Комплексный поток, охватывающий все виды работ в полном объеме, чаще всего действует только в пределах одного строительного сезона.

Длина (захватка) специализированного потока – участок дороги, на котором размещены все машины СКМ.

Длина (фронт работ) комплексного потока – участок дороги, занятый всеми СКМ, входящими в комплексный поток. Длина комплексного потока равна сумме длин специализированного потока, зависит от сложности сооружаемых конструкций и принятой технологии работ и характеризует собой участок дороги, находящийся в процессе производства. Чем он длиннее, тем больше объемы незавершенных работ.

Рабочая операция – это простейший, технологически однородный, организационно неделимый строительный процесс (разравнивание песка, уплотнение слоя покрытия, поливка водой слоя щебня и т. п.).

Рабочий процесс – совокупность технологически связанных друг с другом рабочих операций на захватке, выполняемых СКМ с целью изменения свойств материала или полуфабриката (укладка, разравнивание и уплотнение асфальтобетонной смеси, разработка, доставка и укладка грунта в тело земляного полотна и т. п.).

Период развертывания потока – время, необходимое по технологическим и организационным условиям для последовательного ввода в работу всех СКМ. Для специализированного потока время развертывания обычно ограничено несколькими часами.

Период свертывания потока – время, необходимое для последовательного вывода из работы всех СКМ после полного окончания заданных им работ. Продолжительность этого периода также составляет несколько часов.

Период установившегося потока – период работы потока с постоянной скоростью. Для комплексного потока – это период одновременного действия всех составляющих его потоков с постоянной скоростью, время наиболее эффективного использования всех ресурсов строительства. Период установившегося потока определяется выражением

$$T_{\text{уст}} = T_{\text{д}} - (t_{\text{р}} + t_{\text{с}}), \quad (3.3)$$

где $T_{\text{д}}$ – полное время действия комплексного потока; $t_{\text{р}}$, $t_{\text{с}}$ – соответственно период развертывания и свертывания комплексного потока.

Эффективность применения поточной организации работ определяется отношением

$$\mathcal{E}_{\text{п}} = T_{\text{уст}} / T_{\text{д}}, \quad (3.4)$$

где $\Theta_{\text{п}}$ – условный коэффициент эффективности применения поточного метода.

Для предварительных решений можно принять следующие рекомендации:

при $\Theta_{\text{п}} > 0,7$ применение потока дает значительный экономический эффект;

при $\Theta_{\text{п}} = 0,4\text{--}0,6$ возможно применение других методов организации работ (например, смешанный метод, непоточные методы);

при $\Theta_{\text{п}} < 0,3$ применение поточного метода будет неэкономичным и следует искать возможность улучшения использования средств механизации (возможен вариант пересмотра конструктивных и технологических решений и существенного сокращения продолжительности периодов развертывания и свертывания потока).

Непоточные методы организации производства работ.

Широкое распространение находят применение непоточные методы: цикличный (последовательный) и участковый (параллельный). Их используют при строительстве коротких участков дорог, на которых нельзя организовать установившийся комплексный поток из-за недостаточной протяженности дороги, т. е. когда время действия потока будет равно сумме t_p и t_c или близко к ней; при восстановительных работах, характеризующихся разнообразием видов работ и чрезвычайной неравномерностью их распределения по длине дороги. Чаще применяют смешанный метод, представляющий сочетание поточного и непоточных методов организации работ, например, при строительстве дороги с большими объемами сосредоточенных работ различного вида.

Сущность циклического метода организации работ состоит в том, что все виды работ выполняют поочередно (последовательно) на всем протяжении строящейся дороги. Вначале строят все искусственные сооружения одновременно с земляным полотном, затем слои основания, покрытия и т. д. Один и тот же коллектив работников выполняет все виды работ. Продолжительность T строительства дороги определяется выражением

$$T = t_{\text{подг}} + t_{\text{э.п}} + t_0 + \dots + t_{\text{зав}}, \quad (3.5)$$

где $t_{\text{подг}}$ – продолжительность подготовительного периода; $t_{\text{э.п.}}$ – период выполнения работ по строительству земляного полотна; t_0 – период строительства слоев основания; $t_{\text{зав}}$ – продолжительность завершающего периода строительства.

Продолжительность строительства при этом методе организации работ в общем случае всегда больше, чем при поточном методе. Горизонтальные линии условно показывают средние сроки окончания работ, а верхняя линия – срок окончания строительства дороги. При строительстве этим методом в

работу поочередно вводят большие группы однотипных машин. Другие типы машин в это время могут простаивать, что отрицательно сказывается на технико-экономических показателях использования средств механизации.

Потребность N в строительных машинах для выполнения определенного вида работ определяется по формуле

$$N = (Q/T_3) \Pi_{\text{см}} K_{\text{см}}, \quad (3.6)$$

где Q – объем определенного вида работ на участке; T_3 – заданный срок производства работ в рабочих днях; $\Pi_{\text{см}}$ – сменная эксплуатационная производительность машины данного типа; $K_{\text{см}}$ – коэффициент сменности.

К недостаткам цикличного метода организации работ относятся:

увеличение потребности в средствах механизации по сравнению с поточным методом;

отсутствие роста квалификации рабочих, так как в большинстве случаев им приходится выполнять различные виды работ;

невозможность введения отдельных готовых участков дороги во временную эксплуатацию.

В связи с перечисленными недостатками циклический метод как основной метод строительства применяется редко. Он чаще встречается для организации отдельного вида работ на участках небольшой протяженности.

Участковый метод организации строительства состоит в том, что строящуюся дорогу разбивают на отдельные участки, строительство которых выполняют в строгой последовательности друг за другом. Готовый участок вводят в эксплуатацию немедленно, т. е. раньше, чем будет закончена вся дорога. Таким образом, срок производства работ на каждом отдельном участке сокращается по сравнению с вариантом циклической организации работ. Кроме того, улучшаются условия использования средств механизации, так как работы производят одновременно только на части дороги.

Отрицательная сторона такой организации работ – необходимость неоднократной передислокации производственной базы строительства и СКМ. Количество участков не должно быть чрезмерно велико, так как это приведет к удлинению общего срока строительства. При заранее заданном общем сроке строительства срок работы на каждом участке равен частному от деления общего срока на число участков. В пределах каждого участка сохраняется принцип одновременного производства работ на широком фронте, но показатели использования производственных ресурсов все же выше, чем при циклической организации строительства.

В целом технико-экономические показатели уровня организации строительства участковым методом обычно ниже соответствующих показателей поточного метода.

3.2. Механизация строительства земляного полотна

3.2.1. Виды и последовательность земляных работ

Технологический процесс строительства земляного полотна включает в себя подготовительные, основные, планировочные, отделочные и укрепительные работы.

В состав подготовительных работ входят:

восстановление и закрепление трассы дороги, полосы отвода и места размещения карьеров; расчистка полосы отвода и поверхности резервов от леса, пней, кустарника, крупных камней и других предметов; разбивка земляного полотна – установка колышков с высотными отметками, определяющими проектные границы и очертания будущих насыпей, выемок, водоотводных сооружений, резервов и кавальеров; срезка и перемещение дернового покрытия и растительного грунта с поверхности основания насыпей, выемок и резервов; подготовка основания насыпей – планировка, осушение, удаление верхнего недоувлажненного слоя, а при необходимости – уплотнение до требуемой плотности; устройство временных дорог в карьеры и в места хранения дорожно-строительных материалов.

Основные работы включают:

устройство водоотводных и дренажных сооружений (боковых, поперечных, нагорных и т. п.); возведение насыпей дорожного полотна; разбивку выемок с перемещением грунта в насыпи или кавальеры.

Планировочные, отделочные и укрепительные работы состоят из:

предварительной планировки откосов насыпей и выемок, планировки и отделки резервов; присыпных обочин; профилировки, окончательной профилировки и укатки поверхности земляного полотна, включая откосы; перемещения и распределения на откосах растительного грунта, досыпки и уплотнения обочин; укрепления откосов посевом трав, укладкой сборных эмульсий и другими методами.

Теоретические исследования и эксплуатация автомобильных дорог привели к разработке определенных форм и размеров земляного полотна в поперечном профиле для различных условий, которые рекомендуются в качестве типовых профилей (рис. 3.2).

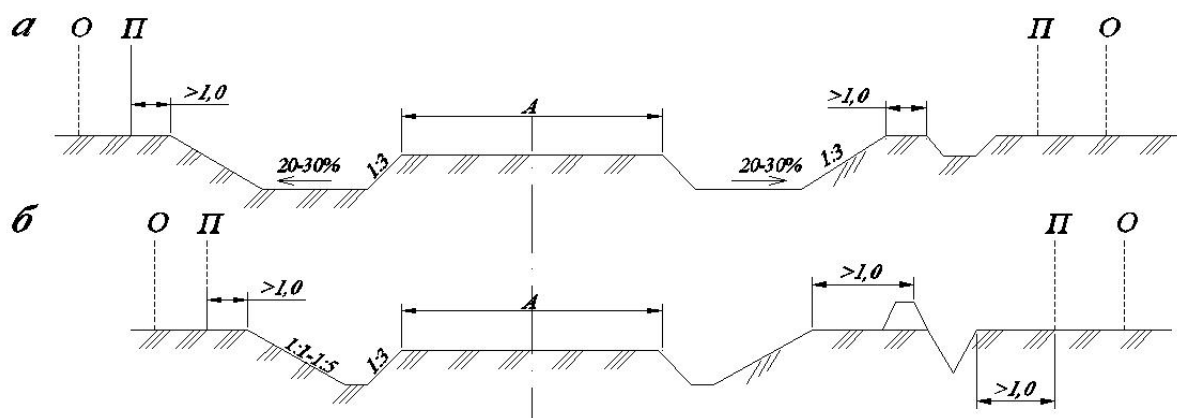


Рис. 3.2. Конструкция земляного полотна на участках выемок: *а* – выемки глубиной до 5 м на снегозаносимых участках; *б* – выемки глубиной до 12 м без откосных полок;

А – ширина земполотна; *П* – граница постоянной полосы отвода;

О – граница временной полосы отвода

Одним из эффективных путей повышения прочности земляного полотна является применение более прочного материала при его сооружении. Значительно увеличивается прочность грунта при укреплении его различными, даже малоактивными вяжущими материалами (зола, молотый шлак, бокситовый шлам и др.).

Введение в грунт небольшого количества цемента или извести повышает его водостойчивость в несколько раз. Увеличение прочности грунта достигается изменением его влажности и степени уплотнения. Увеличение плотности вызывает рост прочности грунта.

Под грунтами в строительстве подразумеваются горные породы, образующие поверхностные слои земли и составляющие так называемую кору выветривания, которые могут служить основанием или материалом для различных инженерных сооружений, в том числе автомобильных дорог и аэродромов.

Грунты, используемые для сооружения насыпей, разделяют на четыре основные группы: скальные, добываемые путем разрушения естественных сплошных или трещиноватых скальных массивов; крупнообломочные – несцементированные грунты, содержащие более 50% по массе обломков кристаллических или осадочных пород с размерами частиц более 2 мм; песчаные – сыпучие в сухом состоянии грунты, не обладающие свойствами пластичности и содержащие менее 50% по массе частиц крупнее 2 мм; глинистые, обладающие связностью в сухом состоянии, с числом пластичности более единицы. При значительном увлажнении такие грунты размокают и теряют прочность.

Кроме грунтов природного происхождения, для насыпей используют отходы промышленности (золашлаковые материалы, отвалы горнодобывающей промышленности и др.).

Основным способом разработки грунтов машинами для земляных работ (кроме машин для гидромеханизации) является механический способ, при котором часть грунта или породы от массива отделяется ножевым или ковшовым рабочим органом путем резания, откола, отрыва, обрушения под действием статических, динамических или виброударных нагрузок.

К основным физико-механическим свойствам грунтов, характеризующим их способность сопротивляться внешним нагрузкам, относятся гранулометрический состав, плотность, влажность, пластичность, липкость, разрыхляемость, связность, сопротивление сдвигу.

Пластичность – способность грунта изменять, не разрушаясь, свою форму, сохраняемую после снятия нагрузки.

Разрыхляемостью называют способность грунтов, пород, материалов при разработке увеличиваться в объеме. Коэффициент разрыхления K_p представляет собой отношение грунта в разрыхленном состоянии к объему грунта в естественном состоянии. Для большинства грунтов $K_p = 1,1–1,4$, для мерзлых грунтов и скальных пород $K_p = 1,5–1,7$.

На сопротивление сдвигу грунта влияет связность (сцепление) и трение грунтов. К связным грунтам относятся глины, к несвязным – сухие пески. Трение грунта о металлические поверхности рабочего оборудования (внешнее) и грунта о грунт (внутреннее) оценивается коэффициентами трения соответственно μ_1 и μ_2 : для песка и супеси $\mu_1 = 0,5–0,6$ и $\mu_2 = 0,6–0,8$, для глины $\mu_1 = 0,3–0,4$ и $\mu_2 = 0,4–0,5$.

Комплексными показателями для оценки разрабатываемости грунтов рабочими органами строительных машин являются удельные сопротивления грунта резанию $K_{рез}$ и копанию K_k , т. е. сопротивления на рабочих органах, отнесенные к площади поперечного сечения вырезаемой стружки. При этом сопротивление копанию включает в себя все сопротивления при разрушении грунта и наполнении рабочего органа, а сопротивление резанию – только сопротивление от вырезания стружки. Картина процесса копания и набора грунта рабочими органами всех землеройно-транспортных машин и многих землеройных машин в принципе аналогична.

В основу принятой классификации грунтов по группам трудности их разработки, предложенной профессором А. Н. Зелениным, положен более простой показатель – прочность грунтов по числу ударов специального плотномера – ударника ДорНИИ.

Шкала удельных сопротивлений резанию и копанию для отвальных и ковшовых рабочих органов, соотнесенная с показаниями ударника ДорНИИ и группами трудности разработки грунтов по ГОСТ 17343–83, приведена в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Группы трудности разработки грунтов

Показатель	Группа трудности			
	I	II	III	IV
Значение числа ударов ударника ДорНИИ	$\frac{1-4}{3}$	$\frac{5-8}{6}$	$\frac{9-15}{12}$	$\frac{16-34}{24}$
Удельное сопротивление резанию ножами отвалов ковшей K_v , МПа	$\frac{0,11-0,44}{0,33}$	$\frac{0,55-0,88}{0,66}$	$\frac{1,0-1,65}{1,32}$	$\frac{1,76-3,74}{2,64}$
Удельное сопротивление копанью ковшами, K_b , МПа	$\frac{0,39-1,13}{0,91}$	$\frac{1,35-1,93}{1,55}$	$\frac{2,11-3,12}{2,63}$	$\frac{3,28-5,87}{4,47}$

Примечание. В таблице приведен вероятный диапазон показателей, в знаменателе – их среднее значение.

Ударник ДорНИИ представляет собой простейший прибор по типу забиваемого стержня. Стержень погружается в грунт под действием ударов падающей гири. Масса гири 2,5 кг, высота ее падения 400 мм, площадь сечения стержня 1 см², глубина погружения 100 мм.

3.2.2. Машины для земляных работ

В зависимости от технологии и организации работ машины для выполнения земляных работ делятся на основные и вспомогательные.

К основным машинам относятся:

землеройные, отделяющие грунт от массива и перемещающие его на расстояние, ограниченное конструктивными параметрами рабочего оборудования; к этой группе относят экскаваторы;

землеройно-транспортные, совмещающие разработку (резание) грунта за счет тягового усилия и его перемещение при передвижении; дальность перемещения грунта в большинстве случаев не зависит от конструктивных параметров рабочих органов, а определяется технико-экономическими соображениями; к этой группе относят бульдозеры, скреперы, грейдеры, грейдер-элеваторы;

погрузочные машины – погрузчики, способные копать грунт, как на месте, так и при передвижении;

машины для гидравлической разработки грунта, отрывающие его от массива и транспортирующие во взвешенном состоянии в виде пульпы; к этой группе относят гидромониторы, землесосы, земснаряды;

грунтоуплотняющие машины – различные катки, трамбующие вибрационные машины.

Вспомогательными являются машины, обеспечивающие работу основных машин:

машины для подготовки площадки к работе основного оборудования – корчеватели, кусторезы, камнеуборочные и др.;

машины для подготовки грунта к разработке – рыхлители, буровые машины, оборудование для водопонижения и водоотлива.

Рабочий процесс машин для выполнения земляных работ может быть прерывным (циклическим) и непрерывным. Машины для земляных работ образуют один класс машин, состоящий из групп, перечисленных выше. Внутри каждой группы машины делят на типы.

Механизация подготовительных работ. Подготовительные работы предшествуют основным (строительно-монтажным) и выполняются до начала разработки грунта и возведения земляного полотна. Они включают подготовку дорожной полосы к производству работ (восстановление и закрепление трассы; очистка от деревьев, кустарника, валунов; снятие растительного слоя), осушение и водоотвод, геодезическое обеспечение, а также устройство подъездных путей и подготовку к производству земляных работ в зимних условиях и т. п. Границы полосы расчистки устанавливаются проектом.

Лес удаляют, как правило, лесовальными машинами или моторными пилами. Высота пней должна быть минимальна. Допускается оставлять пни высотой не более 100 мм в основании насыпей высотой не менее 1,5 м при устройстве одежд с усовершенствованными покрытиями.

При валке деревьев с диаметром ствола более 300 мм вначале подрезают корни дерева (со стороны валки) бульдозером, нож отвала бульдозера при этом заглубляют на 150–200 мм ниже уровня земли. У деревьев с мощной корневой системой корни подрезают с трех сторон.

Для удаления мелколесья и кустарника при диаметре стволов до 100–120 мм нож отвала бульдозера углубляют в грунт на 150–200 мм. Затем перемещением трактора на малой скорости срезают растительность, удаляя ее за пределы территории. Срезать кустарники и мелкие деревья необходимо острым ножом отвала бульдозера, так как тупой нож не срезает, а сминая растительность и отвал при этом выталкивается на поверхность земли. Для этих целей применяют также кусторезы. Иногда для уборки кустарника используют корчеватели-собиратели.

Кусторезы имеют выступающий вперед стрелообразной формы в плане нож и ограждение, предотвращающее падение срезанного мелколесья на кабину. Нож кустореза устанавливают на уровне поверхности земли или несколько заглубляют (летом). При движении машины он срезает и вырывает кустарник. Кусторезы с активным рабочим органом, работающим по

принципу косилки, предназначены для удаления кустарника, который навесным ножом часто не срезается, а подминается.

Производительность кустореза (площадь, расчищенная от кустарника, м²/ч) определяется выражением

$$\Pi = 3600 B \cdot V_p / n, \quad (3.7)$$

где B – ширина захвата, м; V_p – средняя рабочая скорость движения кустореза с учетом потери времени на остановки при поворотах и на снижение скорости при буксовании, м/с ($V_p = (0,7-0,9) V$, где V – паспортное значение скорости движения кустореза, м/с); n – число проходов машины по одному следу.

Корчеватель – сменное навесное оборудование гусеничных или пневмоколесных тягачей. Способ корчевания пней зависит от их диаметра. Пни диаметром 0,15–0,3 м в неплотном грунте обычно корчуют без остановки машины. При этом корчеватель движется от середины просеки к ее краю под углом около 45 град. Поочередными проходами то в левую, то в правую сторону корчеватель постепенно очищает всю строительную площадку, собирая пни к ее границам (рис. 3.3, а).

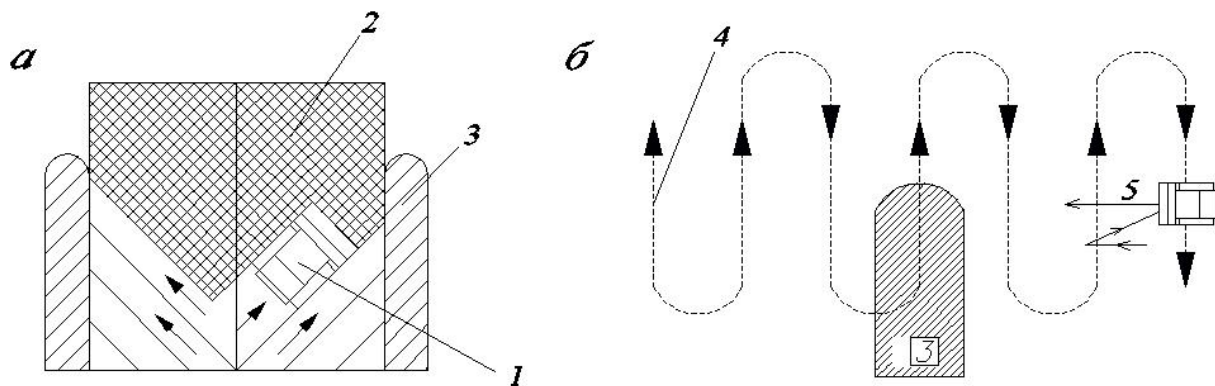


Рис. 3.3. Расчистка просеки: а – с отвалом у границ; б – с отвалом в середине;
1 – бульдозер; 2 – нераскорчеванная площадь; 3 – отвал; 4 – направление движения корчевателя или кустореза; 5 – направление движения бульдозера

Пни диаметром 0,3 м и более корчуют по отдельности. При этом пень не просто смещают корчевателем, а, поднимая нож с зубьями, стараются вывернуть пень и оборвать его корни.

Пни и кустарник, предназначенные для сжигания, собирают бульдозером в середине очищаемой полосы (рис. 3.3, б).

Корчевку пней диаметром до 200 мм производят за один прием. Нож отвала заглубляют на 150–200 мм ниже уровня земли и перемещением бульдозера выдергивают пни вместе с растительным слоем.

При корчевке пней диаметром 200–400 мм бульдозерист должен производить три операции. Вначале бульдозер упирают в пеня на высоте 50–100 мм ниже его верха и поступательным движением машины опрокидывают его набок. Затем бульдозер перемещается назад на 1,0–1,5 м, нож отвала заглубляют на 150–200 мм ниже уровня земли под корень пня и движением вперед с одновременным поднятием отвала выворачивают пеня. После этого выкорчеванный пеня перемещают в валы или кучи. Более крупные пни удаляют взрывным способом.

Автогрейдер при срезке растительного слоя работает с отвалом, поставленным примерно под углом 45 град. к направлению движения и заглубленным в грунт на 100–150 мм. При движении машины грунт смещается по отвалу в сторону и укладывается валиком вдоль расчищенной полосы. В дальнейшем при необходимости грунт переваливают. Таким образом, автогрейдер в отличие от бульдозера движется не поперек, а вдоль расчищаемой полосы.

Растительный грунт в дальнейшем используют при укреплении откосов земляного полотна, для распределения на разделительной полосе, рекультивации восстанавливаемых или малопродуктивных земель.

Механизация рыхления грунтов. Для рыхления прочных и мерзлых грунтов применяют рыхлители, навешиваемые на тягачах, которые просты по конструкции и надежны в работе.

В зависимости от мощности и конструкции тягача рыхлители могут работать на различных горных породах.

Классифицируют рыхлители по следующим признакам:

по назначению – машины общего назначения и специальные;

по способу агрегатирования с базовым тягачом – прицепные и навесные;

по мощности двигателя и номинальному тяговому усилию базовых факторов – сверхмощные (свыше 220 кВт и 300 кН), тяжелые (110–220 кВт и 200–300 кН), средние (55–110 кВт и 135–200 кН) и легкие (меньше 55 кВт и до 35 кН);

по типу двигателя (ходовой части) базовой машины – гусеничные и колесные.

Наименее энергоемкими и наиболее универсальными остаются механические способы: рыхление грунта навешанными на тракторы и экскаваторы рыхлителями – зубьями; скалывание грунта ударами клин-молотов; вырезание грунта барами, фрезами, ковшами экскаваторов непрерывного действия; разработка грунта комбинированными методами – виброударным, вибростатическим. При этом в разработке мерзлых грунтов использование различных способов распределяется примерно так: навесными рыхлителями статического действия – 12,5%, с помощью клин-молотов – 55%, буровыми, дискофрезерными машинами и роторными экскаваторами – 17%, взрывом – 9%, оттаиванием – 3,5%.

Эксплуатационная производительность рыхлителя ($\text{м}^3/\text{ч}$) определяется выражением

$$\Pi_{\text{э}} = \frac{B \cdot h \cdot L_{\text{р.х}} \cdot k'_m \cdot k_{\text{в}}}{\frac{L_{\text{р.х}}}{V_{\text{р.х}}} + \frac{t_{\text{р}}}{3600}}, \quad (3.8)$$

где B – ширина захвата при рыхлении, м; h – средняя глубина рыхления, м ($h = (0,6-0,8) h_{\text{уст}}$, $h_{\text{уст}}$ – возможная в данных условиях глубина рыхления); $L_{\text{р.х}}$ – средняя длина рабочего хода в одну сторону, м; k'_m – коэффициент, учитывающий, с одной стороны, потери времени на подход толкача, а с другой – увеличение рабочей скорости рыхления ($k'_m = 0,8 + 1,2$); $k_{\text{в}}$ – коэффициент использования времени (для средних условий $k_{\text{в}} = 0,85$); $V_{\text{рх}}$ – средняя скорость рабочего хода, км/ч ($V_{\text{рх}} = (0,6-0,7)V_{\text{н}}$; $V_{\text{н}}$ – номинальная скорость базового трактора с механической трансмиссией на передаче соответствующей скорости движения порядка 2,5–3,0 км/ч); для тракторов с гидравлической и электромеханической трансмиссиями средняя скорость рабочего хода $V_{\text{р.х}} = 1,7-2,2$ км/ч); $t_{\text{р}}$ – время одного разворота в конце участка с учетом выглубления зубьев ($t_{\text{р}} = 15-20$ с).

Ширина захвата при рыхлении:

$$B = k_{\text{п}} [bn + 2htg\mu + t(n-1)], \quad (3.9)$$

где $k_{\text{п}}$ – коэффициент перекрытия ($k_{\text{п}} = 0,75$); b – толщина зуба, мм; n – количество зубьев; μ – угол скола от вертикали ($\mu = 15-45$ град. меньшие значения при рыхлении мерзлых грунтов и скальных пород, а большие – обычных грунтов); t – шаг зубьев.

Машинами ударного действия разрабатывают мерзлые грунты и твердые породы, разрушают старые дорожные покрытия. Их рабочее оборудование делят на два вида: падающее, внедряемое в грунт под действием собственного веса и забиваемое.

Наиболее простые падающие рабочие органы конусообразной, пирамидальной или клиновидной формы клин-молот и шар-молот массой 0,5–4 т подвешивают на подъемных канатах экскаваторов, оборудованных стрелой драглайна или прямой лопатой, а также гусеничных кранов и сбрасывают с высоты 5–8 м.

Конструкции, в которых падающий рабочий орган перемещается по направляющей штанге или раме, обеспечивают более точное падение в заданное место, что особенно важно при разрушении грунта сколом. Наиболее совершенная конструкция клин-молотов с направляющими

снабжена следящим устройством, которое позволяет направляющей отклоняться от базовой машины с фиксацией промежуточных положений. Это дает возможность наносить удары точно в то место, из которого извлекается клин. Падающие рабочие органы со следящим устройством навешивают на гусеничные факторы и пневмоколесные экскаваторы.

К оборудованию с забивным рабочим органом относят дизельные молоты с клином, гидромолоты и экскаваторные ковши активного действия.

Эффективность разработки мерзлых грунтов определяется способом разработки, который, в свою очередь, зависит от объема работ, параметров земляного сооружения, рода грунта, местных метеорологических и гидрогеологических условий, наличия материально-технических и энергетических ресурсов и др.

Решение об использовании того или иного способа принимают на основе сравнения ряда технически целесообразных вариантов разработки грунта и анализа технико-экономических показателей. В зависимости от конкретных условий строительства оптимизация решения указанной задачи может выполняться по минимуму одного или сочетанию нескольких параметров: стоимости, энергозатратам, срокам производства работ и т. д.

Механизация возведения земляного полотна бульдозером. Бульдозер представляет собой землеройно-транспортную машину в виде гусеничного трактора или колесного тягача с навешенным на него с помощью рамы или брусьев рабочим органом – отвалом. Обычно отвал навешивают спереди трактора вне базы ходовой части. Он предназначен для выполнения следующих землеройно-планировочных работ: послойного разравнивания привозного грунта и перемещения его к голове насыпи; срезки и уборки растительного слоя; возведения земляного полотна из грунтов выемок и боковых резервов; устройство земляного полотна в виде полунасыпей-полувыемок на косогорах; на складских операциях для перемещения на необходимые расстояния и окучивания строительных материалов; производства вспомогательных работ в притрассовых карьерах; уборки валунов и пней после корчевки; корчевки и валки мелкоколосья; обратной засыпки траншей и котлованов.

По типу управления отвалом различают бульдозеры с гидравлическим и канатно-блочным управлением (встречаются крайне редко). При гидравлическом управлении возможно принудительное заглубление отвала. На толкающих брусьях отвал установлен шарнирно и с помощью раскосов можно изменять угол резания в пределах 45–60 град.

На бульдозерах с гидравлическим управлением иногда один из раскосов выполняют в виде гидроцилиндра, которым машинист, не выходя из кабины, может устанавливать перекося отвала в поперечной плоскости до 4–12 град. в обе стороны.

Наиболее часто на бульдозерах устанавливают прямые неповоротные (рис. 3.4, а) и поворотные (рис. 3.4, б) отвалы. У бульдозеров с поворотным

отвалом (их иногда называют универсальными) положение отвала в горизонтальной плоскости (в плане) изменяется на угол 25–30 град.

Поворотный отвал всегда ниже, длиннее неповоротного, так как в повернутом положении он должен перекрывать ширину базовой машины. Применяют его для планировочных работ с перемещением грунта в сторону (грунт при этом сходит с отстающего конца отвала в виде бокового валика), для засыпки траншей, разравнивания валов, кавальеров и других работ при непрерывном движении машины вдоль фронта работ.

Сферические отвалы (рис. 3.4, *в*), состоящие из трех или пяти секций, которые установлены под углом 10–15 град. одна к другой, набирают грунта на 15–20% больше, чем прямые отвалы. Сферические отвалы применяют для работы с кусковыми и сыпучими материалами при мощности базовых машин более 130 кВт.

Совковый отвал (рис. 3.4, *г*) имеет развитые боковые щитки и применяется при перемещении сыпучих и малопрочных материалов на большие расстояния (до 150 м).

Отвал с рыхлящими боковыми зубьями (рис. 3.4, *д*) применяют в крепких каменистых и мерзлых грунтах на гусеничных бульдозерах мощностью не менее 50 кВт и на колесных бульдозерах мощностью не менее 220 кВт.

Короткий прямой отвал (рис. 3.4, *е*) снабжен амортизатором и предназначен для установки на толкачах, помогающих загружать скреперы.

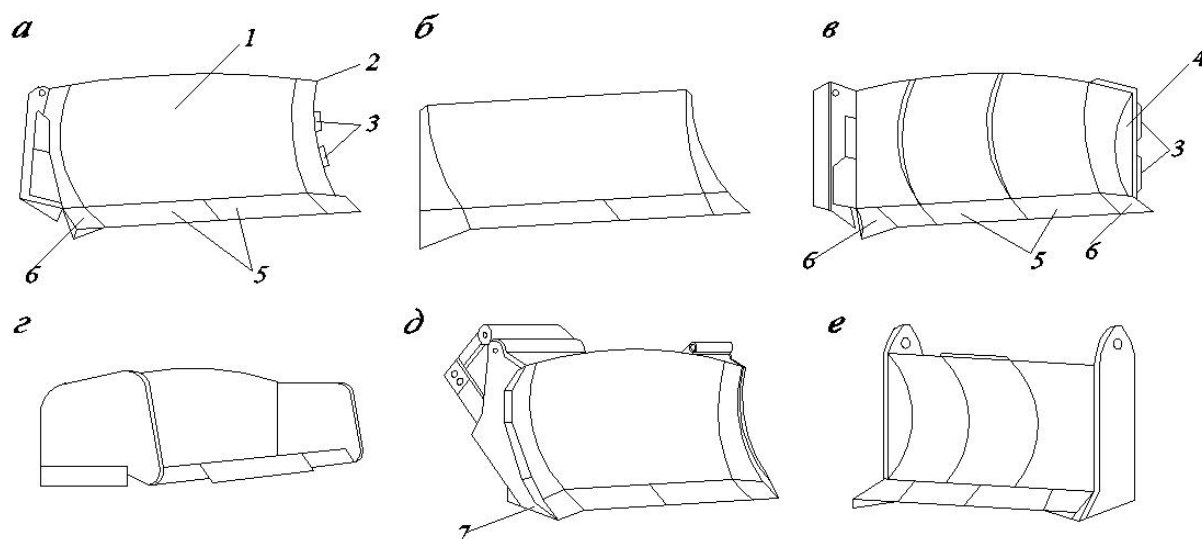


Рис. 3.4. Основные типы отвалов бульдозера: *а* – прямой; *б* – поворотный; *в* – сферический; *г* – совковый; *д* – с боковыми рыхлящими зубьями; *е* – короткий толкающий; 1 – лобовой лист; 2 – боковые щитки; 3 – боковые ножи; 4 – открьлки; 5 – ленточный средние ножи; 6 – угловые ножи; 7 – выдвижные зубья

Главным параметром бульдозера является номинальное тяговое усилие T_n . По номинальному тяговому усилию и мощности двигателя бульдозеры условно разделяют на пять классов:

Тип бульдозера	Малогабаритные	Легкие	Средние	Тяжелые	Сверхтяжелые
Тяговое усилие, кН	До 25	25–135	135–200	200–300	Св. 300
Мощность двигателя, кВт	До 45	45–120	120–180	180–300	Св.300

Бульдозеры применяют для возведения насыпей высотой до 1,0 м и нижних частей более высоких насыпей из грунта боковых резервов. Можно перемешать грунт при отсыпке насыпей из боковых резервов или при разработке выемок в продольном перемещении.

Тяговые усилия бульдозеров, рекомендуемые для выполнения земляных и вспомогательных работ, приведены ниже.

Виды работ	Тяговое усилие бульдозера, кН
Возведение земляного полотна высотой до 2 м из резервов и земляного полотна на косогорах	100
Рыхление плотных или мерзлых грунтов	150–300
Очистка площадок от кустарника, мелкоколеса и пней диаметром до 200 мм	100–120
Земляные работы объемом:	
до 3000 м ³ и дальности перемещения до 40 м	100–125
до 5000 м ³ и дальности перемещения до 70 м	135–200
Работы в заболоченной и обводненной местности	до 135 с уширенными гусеницами
Обратные засыпки пазух, траншей и пр.	135
Зачистка дна котлованов, траншей и пр.	до 100
Планировочные работы	100–150
Разработка плодородного слоя грунта с дальностью перемещения до 40 м	40–60

Зависимость производительности бульдозера на грунтах II-й категории от дальности перемещения грунта и мощности двигателя показана на рис. 3.5. Мощные бульдозеры имеют большую производительность, но реализовать все свои возможности они могут на объектах с большим объемом работ.

Полный рабочий цикл бульдозера состоит из внедрения отвала в грунт, набора призмы волочения – копанье грунта, перемещения его к месту укладки (рабочий ход), в забой (холостой ход), рис. 3.6. Наиболее распространенной схемой циклической работы бульдозера является челночная схема, при которой обратный (холостой) ход выполняют задним ходом без разворота машины.

Увеличение производительности бульдозеров при работе под уклон по сравнению с работой на горизонтальном участке характеризуется следующими данными: на горизонтальных участках – 100%; с уклоном 10‰ – 150–200%; с уклоном 20‰ – до 250%; на участках с подъемом 10 ‰ – 60–70%. Бульдозер может работать на участках с уклоном до 30‰, двигаясь при зарезании грунта сверху вниз и поднимаясь в гору задним ходом.

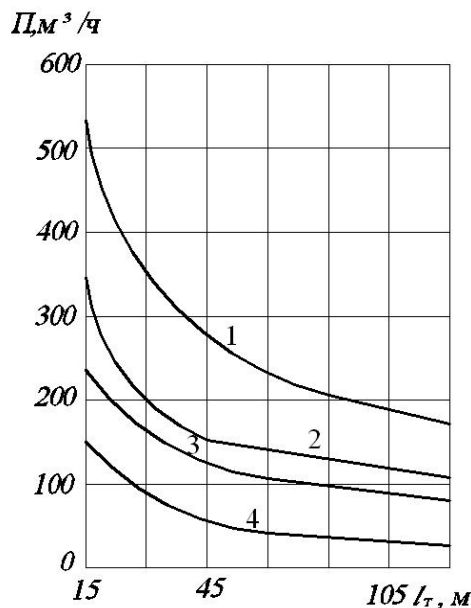


Рис. 3.5. Зависимость производительности бульдозеров от дальности транспортирования грунта и мощности двигателя: 1 – 220 кВт; 2 – 135 кВт; 3 – 105 кВт; 4 – 65 кВт

При копании легких грунтов, когда тяговые усилия трактора недоиспользуются, разработку ведут прямоугольной стружкой (рис. 3.7, а) при постоянной небольшой глубине зарезания. Кроме того, такую схему копания используют, когда по условиям производства работ требуется срезать относительно небольшой слой грунта. В этих случаях мощность силовой установки используется только на 50–70%.

Клиновья форма стружки образуется при разработке грунтов I–II категорий (рис. 3.7, б), а гребенчатая форма стружки (рис. 3.7, в, г) – при разработке твердых и пересохших грунтов. Опыты СоюзДорНИИ показали, что в этом случае сокращается путь набора грунта до 40% и объем грунта перед отвалом увеличивается до 10%.

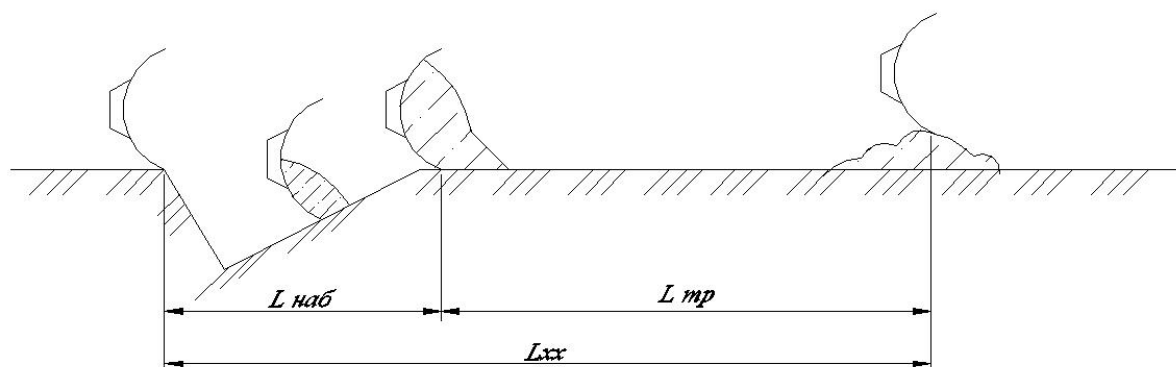


Рис. 3.6. Элементы рабочего цикла разработки и перемещения грунта бульдозером: $L_{наб}$ – длина пути набора призмы волочения; $L_{тр}$ – дальность транспортирования; $L_{хх}$ – длина холостого хода

Использование мощности силовой установки при клиновой и гребенчатой схемах зарезания составляет до 100%. В табл. 3.2 приведены рекомендуемые толщины стружки и длины пути набора грунта.

Таблица 3.2

Формы стружек и параметры процесса копания грунта

Форма вырезаемой стружки	Категория грунта	Толщина срезаемого слоя, мм	Длина пути набора грунта, м	Продолжительность набора грунта, с	Объем грунта, м ³
Прямоугольная	I–III	100–150	6–10	20	2–2,5
Клиновая	I–II	200–250	6–6,5	15	2–2,5
Гребенчатая	III	250–120	6,5–8	15	2,0

Одно из направлений повышения производительности бульдозеров – совершенствование рабочего органа. Так, например, оснащение отвала выступающим средним ножом позволяет увеличить производительность на 25–40%. Рациональная ширина выступающей части составляет 0,16–0,33 ширины отвала.

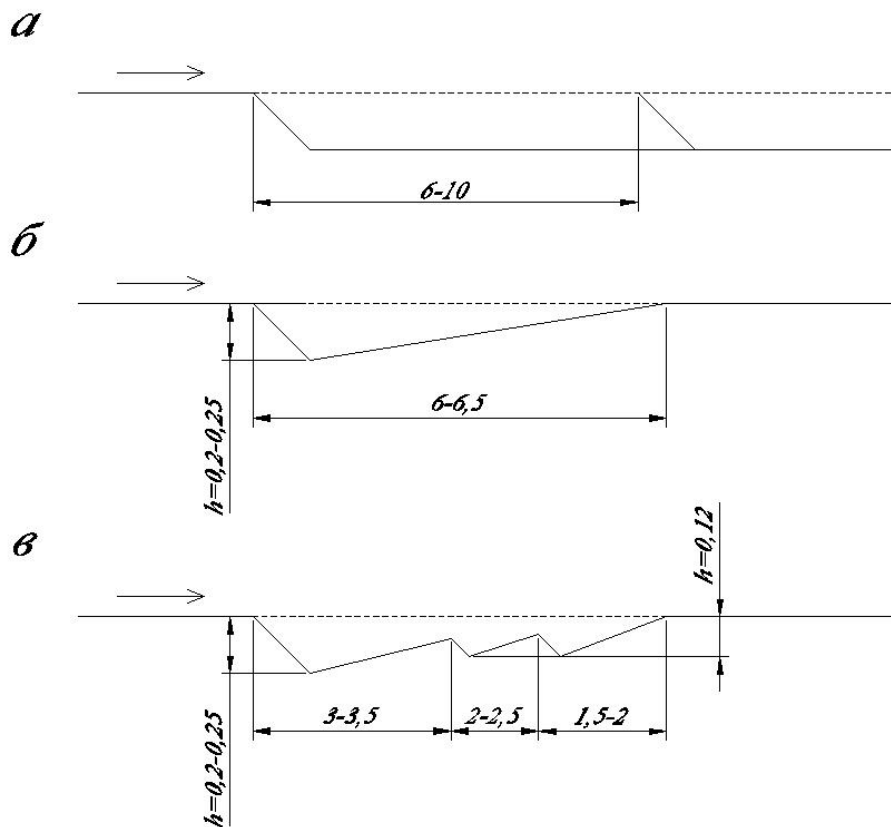


Рис. 3.7. Схемы стружек грунта, срезаемых бульдозером при работе в различных условиях (стрелкой показано направление движения бульдозера): *a* – прямоугольная; *б* – клиновая; *в* – гребенчатая

Компенсировать недостаточное число мощных машин позволяет временное объединение отдельных машин в единый функциональный агрегат. Последовательное (тандемное) соединение двух бульдозеров обеспечивает концентрацию силы тяги на стандартном отвале. Такой агрегат эффективно разрабатывает прочные грунты.

Перемещение грунта на короткие расстояния или подъем производится на первой передаче фактора, а при более значительных расстояниях – на второй передаче.

Перемещение рекомендуется производить:

при дальности перемещения до 50 м – по траншейной схеме без промежуточного валика (рис. 3.8, *a*, *б*);

при дальности перемещения 50–100 м – по траншейной схеме с накоплением в промежуточных валиках (рис. 3.8, *в*).

Траншейная схема имеет две разновидности: перемещение грунта по траншее, устроенной в материковом грунте, и по траншее между валиками ранее осыпавшегося грунта из призмы волочения. Первую схему чаще применяют при разработке грунта бульдозерами в выемках глубиной 1,0–1,5 м. Для этого

машина проходит многократно по одному и тому же следу, срезая грунт по пути своего движения. Высота траншеи составляет 0,4–0,6 м.

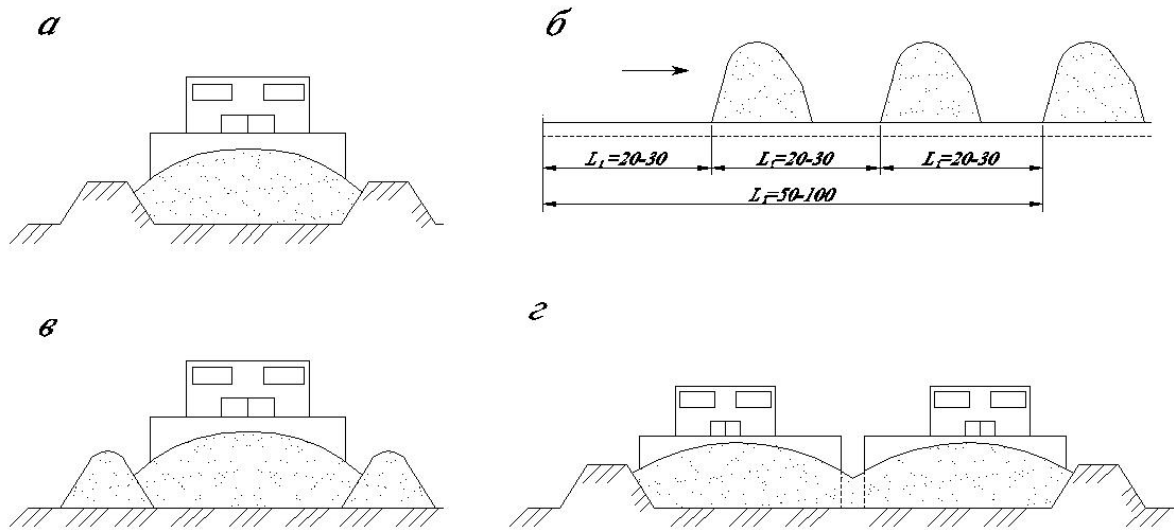


Рис. 3.8. Схемы перемещения грунта бульдозерами: а – траншейная (в материке грунта); б – траншейная между насыпными валиками; в – с промежуточными валиками; г – спаренными бульдозерами

Повышение производительности бульдозеров за счет уменьшения потерь грунта достигается также увеличением объема отвалов. К отвалам крепят дополнительные лобовые щитки, уширители и открывки. Лобовые щитки приваривают к верхней части отвала для увеличения его высоты, что предотвращает осыпание грунта через отвал. Установка на отвал щитков высотой 300–350 мм позволяет увеличить объем отвала на 10–15%.

Уширители и открывки, изготавливаемые в виде щитков, крепят к боковым стенкам отвала, устанавливая их параллельно или под некоторым углом к продольной оси бульдозера. Применение уширителей и открывок позволяет увеличить объем перемещаемого грунта в 1,7–1,8 раза.

Эффективным средством борьбы с потерями грунта является перемещение грунта одновременно несколькими бульдозерами. Эту схему применяют при достаточно широком фронте работ или при планировке широких площадей. На производительность бульдозера оказывает влияние расстояние между торцами отвалов. Оно не должно превышать 300–500 мм при работе со связными грунтами и 150–300 мм – с несвязными.

В работе могут участвовать одновременно до четырех бульдозеров. Одновременная работа нескольких бульдозеров требует четкой организации труда и высокой квалификации операторов, так как необходимо тщательно поддерживать одинаковую скорость участвующих в работе бульдозеров и равномерную их загрузку. Снижение скорости или остановка одного из бульдозеров нарушает эффективность работы других машин.

Параллельное соединение увеличивает объем призмы волочения не в 2, а в 3–3,5 раза по сравнению с объемом одиночного бульдозера, а также позволяет на 20–40% увеличить рациональную дальность транспортирования грунта.

Укладку грунта отдельными объемами применяют в том случае, когда требуется уложить более толстые слои. Доставленный грунт оставляют в виде отдельных куч, прижатых одна к другой свободно, в полуприжим и в прижим. Свободная укладка (рис. 3.9, *а*) – отдельные объемы грунта (призмы волочения) высотой 0,6–0,7 м касаются друг друга основаниями; после разравнивания получают слой высотой 0,25–0,30 м.

При укладке грунта в полуприжим (рис. 3.9, *б*) высота призм волочения равна 0,7–0,9 м. После их разравнивания формируют слой толщиной 0,4–0,6 м.

При укладке грунта в прижим (рис. 3.9, *в*) высота призм волочения достигает 1,0–1,2 м. После их разравнивания получают слой 0,6–0,8 м.

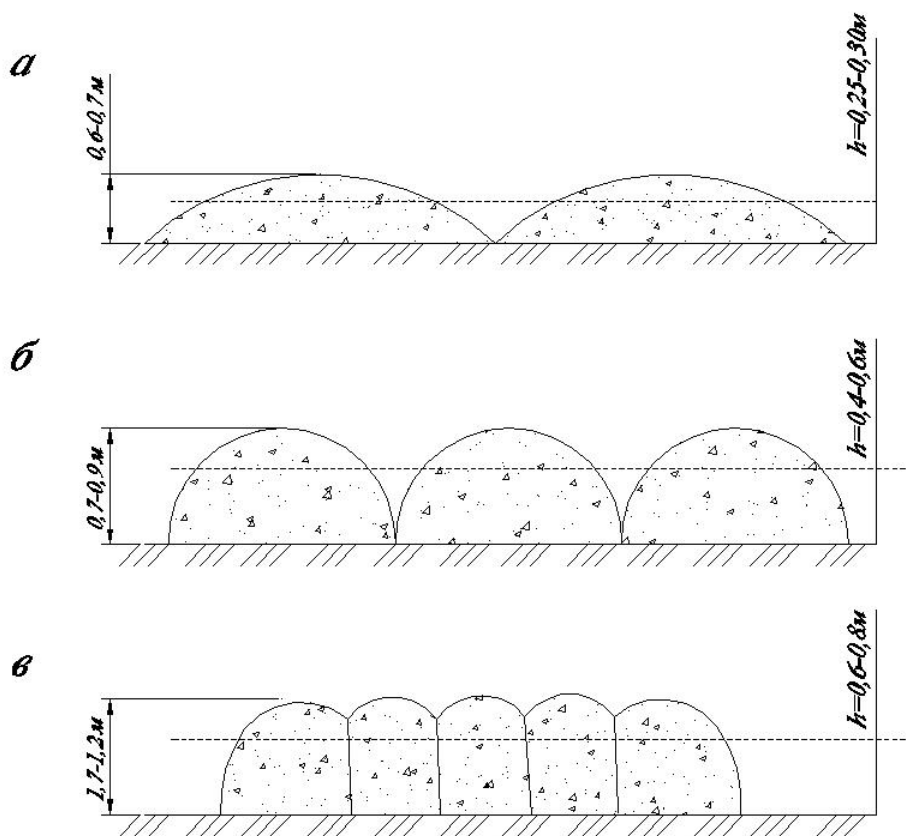


Рис. 3.9. Схема укладки грунта: *а* – свободная; *б* – в полуприжим; *в* – в прижим; h – толщина слоя грунта после разравнивания призм волочения

После завершения операции по освобождению отвала от грунта бульдозер возвращают в резерв (забой). Если дальность перемещения грунта не более 50 м, то машина возвращается в исходное положение задним ходом (без разворота). При большей дальности целесообразно возвращаться после разворота на максимально возможной передней передаче.

Разработку выемок начинают с участков, наиболее близких к возводимой насыпи. Как правило, выемки разрабатываются ярусами (при укладке грунта в полуприжим). В насыпь грунт распределяют от откосов к оси дороги. В зависимости от очертаний и размеров выемки и технических возможностей бульдозера определяют число ярусов и траншей, по которым перемещают грунт.

Каждый ярус на всю ширину и длину выемки разрабатывают продольными траншеями с оставлением между ними перемычек (стенок) шириной до 1 м. Траншеею постепенно заглубляют с уклоном 80–120 ‰ в сторону насыпи, что позволяет увеличить производительность бульдозера. Стенки срезают после разработки верхнего яруса траншеи по всей ширине выемки, начиная от края выемки, участками по 3–5 м, а срезанный грунт по траншее перемещают к месту укладки.

Образовавшиеся ступенчатые откосы срезают бульдозером, движущимся сверху вниз и сдвигающим срезанный грунт в крайнюю траншею, из которой его перемещают в насыпь.

Сменная эксплуатационная производительность бульдозера, м³/см, определяется выражением

$$\Pi_{\text{см}}^{\circ} = \frac{T_{\text{см}} 3600 V_{\text{п}} K_{\text{п}} K_{\text{укл}} K_{\text{в}}}{t_{\text{ц}} K_{\text{р}}}, \quad (3.10)$$

где $T_{\text{см}}$ – продолжительность рабочей смены, ч; $V_{\text{п}}$ – объем призмы волочения, перемещаемой бульдозером за один цикл, м³; $K_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий потери грунта при перемещении; $K_{\text{укл}}$ – коэффициент, учитывающий влияние уклона местности на производительность бульдозера (табл. 3.3); $K_{\text{в}}$ – коэффициент использования рабочего времени в течение смены (табл. 3.4); $t_{\text{ц}}$ – длительность одного рабочего цикла, с; $K_{\text{р}}$ – коэффициент разрыхления грунта (табл. 3.5).

Таблица 3.3

Значение коэффициента $K_{\text{укл}}$

Угол подъема насыпи, град	$K_{\text{укл}}$	Угол наклона местности, град	$K_{\text{укл}}$
0–5	1–0,67	0–5	1–1,33
5–10	0,67–0,5	5–10	1,33–1,94
10–15	0,5–0,4	10–15	0,94–2,25

Таблица 3.4

Значение коэффициента K_B

Вид работ	K_B
Перемещение разрыхленного скального грунта	0,75
Срезка растительного слоя, обратная засыпка, планировка территории, разработка и перемещение грунта	0,80

Таблица 3.5

Значение коэффициента K_p

Вид грунта	K_p
Песок сухой	1,05–1,2
Песок влажный	1,1–1,2
Глина	1,35–1,7

Объем призмы волочения определяют по формуле

$$V_{\pi} = B H^2 / 2 \operatorname{tg} \varphi_d, \quad (3.11)$$

где B – ширина призмы грунта, м; H – высота отвала по хорде, м; φ_d – динамический угол естественного откоса грунта, рад.

Ширина призмы волочения B определяется зависимостью

$$B = 1,05 B_o, \quad (3.12)$$

где B_o – ширина отвала, м.

Динамический угол естественного откоса примерно на 25% больше статического угла. Значения φ_d находятся в пределах 30–33% (для наиболее распространенного суглинка средней плотности следует принимать $\varphi_d = 32$ град.).

Значения коэффициента K_{π} , учитывающего потери грунта из призм волочения, рассчитывают с учетом дальности транспортирования:

$$K_{\pi} = 1 - 0,005 l_{\text{тр}}. \quad (3.13)$$

Время рабочего цикла зависит от его составляющих:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{к}} + t_{\text{рх}} + t_{\text{р}} + t_{\text{хх}} + n t_{\text{пов}} + m t_{\text{пп}}, \quad (3.14)$$

где t_k – продолжительность копания грунта (табл. 3.6); t_{px} – продолжительность перемещения грунта к месту укладки ($t_{px} = l/V_p$; l – расстояние, на которое перемещается грунт, м, и V_p – рабочая скорость бульдозера, м/с); t_p – время разгрузки отвала, с; t_{xx} – время возвращения порожнего бульдозера в забой, с ($t_{xx} = l / V_{xx}$; V_{xx} – скорость порожнего бульдозера, м/с); n , m – соответственно число поворотов бульдозера и переключений передач (табл. 3.7).

Эксплуатационная сменная производительность универсальных бульдозеров с поворотным отвалом на планировочных работах ($\text{м}^2/\text{см}$):

$$\Pi = \frac{T_{\text{см}} 1000 V_p (B \sin \alpha - b) K_B}{m_c}, \quad (3.15)$$

где V_p – рабочая скорость движения бульдозера, км/ч; α – угол захвата отвала в плане, град; b – ширина перекрытия проходов, м ($b = 0,3\text{--}0,5$); m_c – число проходов бульдозера по одному следу ($m_c = 2\text{--}3$).

Таблица 3.6

Продолжительность циклов копания грунтов бульдозером, с

Тип бульдозера	Продолжительность набора грунта категорий			Скорость передвижения груженого бульдозера, м/с		
	I	II	III	I	II	III
Легкий	6,6	13,8	21,6	0,92	0,91	0,90
Средний	4,2	10,8	14,4	0,79	0,75	0,73
Тяжелый	4,2	9,0	14,4	0,75	0,77	0,78

Таблица 3.7

Затраты времени на рабочие операции

Вид работы	Затраты времени, с
Переключение передач, изменение направления движения	3–4
	1–2
Установка отвала	4–6
	2–3

Примечание. В числителе указано время, затраченное при механической трансмиссии, в знаменателе – при гидравлической; на разворот бульдозера затрачивается 10 с.

Для повышения качества выполнения планировочных работ и производительности бульдозеры оснащаются автоматическими системами

управления рабочим оборудованием. Серийно выпускаемая система «Автоплан» автоматически изменяет положение отвала при наезде на неровности грунта, тем самым улучшая планирующую способность бульдозера.

Механизация возведения земляного полотна скрепером. Скрепер – землеройно-транспортная машина циклического действия, предназначенная для разработки и транспортирования грунта на сравнительно большие расстояния.

Главным параметром скрепера является геометрическая вместимость (объем) ковша (в м^3), положенная в основу типоразмерного ряда скреперов. Вместимость «с шапкой» превышает геометрическую на 20–25%. Типаж выпускаемых в настоящее время скреперов: 4,5; 8 (7); 10; 15; 25 и 40 м^3 .

По способу агрегатирования с тягачом скреперы разделяют на прицепные, полуприцепные и самоходные. Доля самоходных и полуприцепных скреперов в общем выпуске непрерывно увеличивается.

Прицепные скреперы с ковшом вместимостью 4,5–20 м^3 обычно агрегируются с гусеничными тракторами (рис. 3.10, *а*), реже – с колесными. Полуприцепные и самоходные скреперы выполняют на базе одноосных и двухосных тягачей с седельно-сцепным устройством (рис. 3.10, *в*, *г*). Двухмоторный самоходный скрепер (см. рис. 3.10, *г*) имеет дополнительный двигатель, установленный над задней осью скрепера для привода задних колес.

Полуприцепные скреперы имеют ковш геометрической вместимостью 4,5–25 м^3 , самоходные – 8–40 м^3 .

Скрепер с принудительной «элеваторной» загрузкой (рис. 3.10, *д*) вместо передней заслонки оборудован скребковым конвейером, который при наборе подхватывает срезаемый ножами грунт и заполняет им ковш. Разгрузка такого скрепера принудительная – выдвигается задняя стенка и одновременно перемещается часть днища ковша назад. Грунт высыпается в проем, образовавшийся между ножом и неподвижной частью днища ковша скрепера. Элеваторные скреперы относятся к типу самозагружающихся и не требуют применения толкачей.

Последовательным соединением нескольких скреперов или ковшей образуют скреперные поезда. Скреперный поезд (рис. 3.10, *е*), состоящий из двух двухмоторных скреперов, известен также под названием «автосцепка скреперов». Его особенностями являются временное соединение машин на участке набора и автономная работа их на участках транспортирования и разгрузки. На участке набора ковши загружаются поочередно с использованием тягового усилия обеих машин. Известны, кроме того, большегрузные поезда с двумя-тремя ковшами и всеми ведущими колесами (рис. 3.10, *жс*).

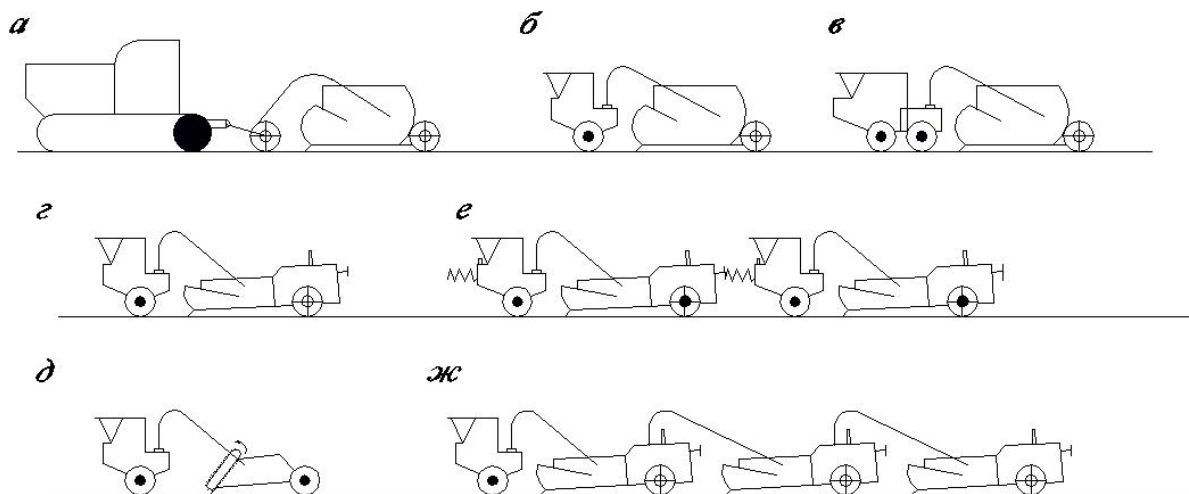


Рис. 3.10. Типы скреперов и скреперные агрегаты: *а* – прицепной к гусеничному трактору; *б* – самоходный одномоторный; *в* – полуприцепной; *г* – самоходный двухмоторный; *д* – самоходный с элеваторной загрузкой; *е* – поезд автосцепка; *ж* – большегрузный поезд: черными кружочками отмечены ведущие части ходового оборудования (двигатели)

Технологический процесс устройства насыпи путем разработки выемки или карьера состоит из следующих операций:

подготовка основания насыпи и площади выемки или карьера (удаление слоя растительного грунта бульдозерами или скреперами и перемещение его на место хранения);

уплотнение естественного основания насыпи катками или другими средствами уплотнения;

рыхление грунтов (если грунты плотные) в выемке или карьере рыхлителем послойно по мере разработки грунта;

разработка грунта в выемке или грунтовом карьере скреперами и транспортирование его к насыпи, и распределение слоев заданной (проектной) толщины;

послойное разравнивание грунта в насыпи автогрейдером;

послойное уплотнение грунта насыпи катками или другими уплотняющими средствами;

планировка верхней части насыпи, откосов насыпи и выемок.

Скреперами разрабатывают грунты I–IV категорий. Грунты II–IV категорий перед разработкой следует предварительно разрыхлять на глубину копания.

Скорость движения скрепера при наборе грунта обычно не превышает 2,5–3,5 км/ч, длина пути набора составляет 15–90 м. Большие значения относятся к прочным тяжелым грунтам, при копании которых стружка имеет меньшую толщину (табл. 3.8).

В зависимости от категории грунта и мощности двигателя тягача заполнение ковша производится стружкой, имеющей прямолинейную форму,

клиновую или гребенчатую форму. Набор грунта постоянной толщины тонкой прямой стружкой применяют на любых связных грунтах; клиновой – при разработке любых связных грунтов на горизонтальных участках; гребенчатой – при разработке сухих суглинистых и глинистых грунтов. Рекомендуемые толщины вырезаемых стружек приведены в табл. 3.9.

Таблица 3.8

Длина пути набора грунтов в ковш скрепера

Грунт	Длина набора грунта l_n , м, при геометрической вместимости ковша		
	6–8	10	15
Супесь	20–30	30	35
	35–45	45	55
Суглинок легкий	25–35	40	40
	40–50	55	60
Суглинок тяжелый	40–50	60	70
	55–65	75	90

Примечание: В числителе приведены значения длины пути набора грунта скрепером с толкачом; в знаменателе – без толкача.

На производительность скрепера оказывает влияние степень заполнения ковша, которая характеризуется коэффициентом заполнения K_n (отношением объема грунта, находящегося в ковше, к геометрической вместимости ковша).

Для увеличения значений K_n при разработке плотных неразрыхленных грунтов целесообразно использовать шахматную схему набора грунта в ковш.

В тяжелых грунтах для наполнения ковшей скреперов целесообразно использовать толкачи, мощность которых должна быть в 1,5–2,0 раза больше мощности тягача скрепера.

Таблица 3.9

Рекомендуемая толщина вырезаемых стружек

Геометрическая вместимость ковша, м ³	Ориентировочная толщина стружки, мм			
	Песок	Супесь	Суглинок	Глина
При работе без толкача				
3	120	120	100	70
6–7	200	150	120	90
10	300	200	180	140
15	350	250	210	160
При работе с толкачом				
6–7	300	250	200	140
10	300	300	250	180
15	350	350	300	220

Применение толкачей способствует уменьшению пути набора грунта ковшом: на супесчаных и суглинистых грунтах – на 10–12, на глинистых – на 15–18 м. При этом толщина стружки увеличивается на 20–25%. Кроме того, применение толкачей позволяет больше использовать объем ковша, особенно при разработке плотных и сухих грунтов.

Наряду с использованием толкачей целесообразно работу скреперов организовывать отрядами. Количество скреперов в отряде, обслуживаемых одним толкачом, рекомендуется ЕНиР №2 «Земляные работы» в зависимости от дальности транспортирования грунта. Ориентировочное число скреперов, обслуживаемых одним толкачом, представлено в табл. 3.10.

Таблица 3.10

Количество скреперов, обслуживаемых одним толкачом

Расстояние транспортирования грунта, м ³	Прицепных с объемом ковша, м ³		Самоходных с объемом ковша, м ³	
	До 6	8–10	8–10	15
100	2	2	–	–
250	4	3	2	–
500	5	4	3	2
750	–	6	4	3
1000	–	–	6	4–5

Эффективность копания грунта повышается, когда в ковшах используются ножи с выступающей передней частью (ступенчатые ножи). При равных площадях вырезаемой стружки ножи с выступающей передней частью образуют более толстую стружку, что очень важно на заключительной стадии копания. Их применение сокращает путь загрузки ковша на 10–15 % и повышает K_n на 15–40% по сравнению с прямоугольными ножами.

Разгрузка ковша производится при прямолинейном движении скрепера. Заданная толщина отсыпаемого слоя достигается соответствующим поднятием днища ковша (табл. 3.11).

Таблица 3.11

Максимальная толщина отсыпаемого слоя

Показатель	Объем ковша скрепера, м ³		
	6–8	10	15
Максимальная толщина отсыпаемого слоя, мм	350	400–500	400–500
Дорожный просвет под ножами скрепера в транспортном положении, мм	50	55	55

В практике применяют следующие схемы движения: эллиптическую, по «восьмерке», по зигзагу, спиральную, челочно-продольную и челочно-поперечную.

В зависимости от геометрических параметров земляного полотна, взаимного положения мест разработки и отсыпки грунта, а также от местных условий принимают различные схемы движения скреперов (табл. 3.12).

Таблица 3.12

Схемы траекторий движения скреперов

Траектория движения	Наибольшая высота или глубина земляного сооружения, м	Область применения
Зигзаг	2,5–6	Возведение насыпей из грунтов одно– или двусторонних резервов при длине участка до 200 м Разработка выемок с укладкой грунта одно– или двусторонний карьер при длине участка 200 м и более
Эллипс	4–5	Возведение насыпей из грунтов односторонних резервов при длине участка до 100 м. Планирование или вскрышные работы с поперечной разработкой грунта
	4–7	Разработка выемок с укладкой грунта в насыпь или кавальер при длине участка до 100 м
	1–1,5	Планирование или вскрышные работы с продольной разработкой грунта
«Восьмерка»	4–6	Возведение насыпей из грунтов боковых резервов при длине участка до 200 м
	4–6	Разработка выемок с укладкой грунта в насыпь или кавальер при длине участка до 200 м
	1–1,5	Планирование или вскрышные работы
Спираль	4–6	Возведение широких насыпей из грунтов двусторонних резервов Разработка широких выемок с укладкой грунта в кавальеры
Челочно–поперечная	1–1,5	Разработка выемок с укладкой грунта в двусторонние отвалы при ширине выемки не менее длины пути набора ковша Планирование или вскрышные работы
Челочно–продольная	4–6	Возведение насыпей из грунтов двусторонних резервов Разработка выемок с укладкой грунта в двусторонние отвалы

Эллиптическая схема наиболее эффективна при отсыпке насыпей, не требующих устраивать съезды и въезды для скреперов. Применение схемы движения по «восьмерке» позволяет сократить время на повороты и повысить производительность скрепера на 3–5%. Кроме того, при этом наблюдается равномерный износ ходового оборудования тягача, так как левые и правые повороты агрегата последовательно чередуются между собой. Число поворотов скрепера сокращается и его производительность увеличивается на 10–15% по сравнению с эллиптической схемой движения, когда он работает по зигзагу.

Спиральная схема по сравнению с эллиптической также увеличивает производительность скрепера, так как при отсыпке грунта слоями, перпендикулярными оси земляного полотна, сокращается дальность возки.

При челочно-продольной схеме холостой ход скреперов сокращается до минимума. Применение челочно-поперечной схемы позволяет повысить производительность скрепера на 20–25% против эллиптической схемы.

Сменную эксплуатационную производительность скрепера, $\text{м}^3/\text{смен}$, определяют по формуле

$$\Pi_{\text{см}}^{\circ} = \frac{T_{\text{см}} 3600 q K_{\text{н}} K_{\text{в}}}{T_{\text{ц}} K_{\text{р}}}, \quad (3.16)$$

где $T_{\text{см}}$ – продолжительность рабочей схемы, ч; q – геометрическая вместимость ковша, м^3 ; $K_{\text{н}}$ – коэффициент наполнения ковша (табл. 3.13); $K_{\text{в}}$ – коэффициент использования сменного времени ($K_{\text{в}} = 0,7–0,85$); $T_{\text{ц}}$ – продолжительность рабочего цикла скрепера, с; $K_{\text{р}}$ – коэффициент разрыхления грунта (табл. 3.14).

Таблица 3.13

Значение коэффициента наполнения ковша $K_{\text{н}}$

Условия работы скрепера	Грунт		
	Сухой рыхлый песок	Супесь и средний суглинок	Тяжелый суглинок и глина
Без толкача	0,5–0,7	0,5–0,95	0,65–0,75
С толкачом	0,8–1,0	1,0–1,2	0,9–1,2

Таблица 3.14

Значения коэффициента $K_{\text{р}}$

Грунт	Влажность, %	Плотность грунта в естественном залегании, $\text{т}/\text{м}^3$	Коэффициент $K_{\text{р}}$
Песок сухой	–	1,5–1,6	1–1,2

Песок влажный	12–15	1,6–1,7	1,1–1,2
Легкая супесь	7–10	1,5–1,7	1,1–1,2
Супесь и суглинки	4–6	1,6–1,8	1,2–1,4
Средний суглинок	15–18	1,6–1,8	1,2–1,3
Сухой пылеватый суглинок	8–12	1,6–1,8	1,3–1,4
Тяжелая глина	17–19	1,65–1,8	1,2–1,3
Сухая глина	–	1,7–1,8	1,2–1,3

Продолжительность рабочего цикла скрепера складывается из времени выполнения отдельных операций:

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{н}} + t_{\text{рх}} + t_{\text{р}} + t_{\text{хх}} + \sum t, \quad (3.17)$$

где $t_{\text{н}}$, $t_{\text{рх}}$, $t_{\text{р}}$, $t_{\text{хх}}$ – соответственно продолжительность наполнения ковша грунтом, рабочего хода, разгрузки ковша и холостого хода, с; $\sum t$ – время, затрачиваемое на поворот скрепера и переключение передач (5–7 с).

Продолжительность наполнения ковша грунтом определяется зависимостью

$$t_{\text{н}} = l_{\text{н}} / V_{\text{н}}, \quad (3.18)$$

$$l_{\text{н}} = q K_{\text{н}} / 0,7 b h K_{\text{р}}, \quad (3.19)$$

где $l_{\text{н}}$ – путь наполнения ковша грунтом, м; $V_{\text{н}}$ – скорость движения скрепера при наполнении ковша, м/с ($V_{\text{н}} = 0,65–0,80$ м/с от паспортной скорости тягача на первой передаче); b , h – соответственно ширина и толщина вырезаемой стружки, м; 0,7 – коэффициент, учитывающий неравномерность толщины вырезаемой стружки.

Продолжительность рабочего хода скрепера, с,

$$t_{\text{рх}} = l_{\text{рх}} / V_{\text{рх}}, \quad (3.20)$$

где $l_{\text{рх}}$ – длина пути транспортирования грунта от резерва (забоя) до места его укладки, м (табл. 3.15); $V_{\text{рх}}$ – скорость движения груженого скрепера, м/с ($V_{\text{рх}} = 0,5–0,7$ наибольшей паспортной скорости тягача).

Для транспортирования грунта следует максимально использовать существующую дорожную сеть. Временные землевозные дороги сооружаются при невозможности использовать сеть постоянных дорог.

Скреперные землевозные дороги устраивают с односторонним движением, ширина их зависит от геометрической вместимости ковша: 4 м – с

ковшами до 6 м³; 4,5 м – с ковшами 8–10 м³ и с объемом 10 м³ и более – 5,5 м. Дороги должны быть хорошо спланированы, иметь достаточные радиусы поворотов (50–100 м), уклоны должны быть минимальны (подъем – 0,12–0,17, спуск – 0,2–0,3).

Въезды и съезды на земляное полотно при разнице отметок 1,5–2,0 м допускается делать перпендикулярно оси сооружения, а при разнице отметок до 1,0 м – вообще их не делать.

Таблица 3.15

Длина пути разгрузки скрепера, м, в зависимости
от толщины отсыпаемого слоя и вместимости ковша

Толщина отсыпаемого слоя, м	Вместимость ковша, м ³			
	2,25–3,0	6–8	10	15
0,15	10	15	23	-
0,20	7	11	17	24
0,25	6	9	14	10
0,30	5	8	11,5	16
0,35	4	6,5	10	14
0,40	—	—	9	12

Производительность разгрузки ковша скрепера зависит от толщины укладываемого слоя грунта и скорости передвижения скрепера:

$$t_p = \frac{q K_H}{0,6 b h_p K_p V_p}, \quad (3.21)$$

где h_p – толщина отсыпаемого слоя, м; 0,6 – коэффициент, учитывающий потери времени на операциях с заслонкой; V_p – скорость движения скрепера при разгрузке ковша, м/с (0,75 от наибольшей паспортной скорости тягача).

Для обеспечения равномерной толщины отсыпаемого слоя разгружать ковш необходимо только при движении скрепера. Толщина отсыпаемого слоя определяется возможностью применяемых средств уплотнения.

По окончании выгрузки при движении скрепера в пределах отсыпаемой насыпи ковш с закрытой заслонкой следует оставлять на уровне выгрузки с целью выравнивания отдельных неровностей отсыпки, а при съезде с насыпи – поднимать на 0,3–0,4 м, чтобы обеспечить свободный проход скрепера.

Продолжительность холостого хода скрепера, с,

$$t_{xx} = l_{xx} / V_{xx}, \quad (3.22)$$

где l_{xx} – длина пути от места укладки до забоя, м; V_{xx} – скорость движения порожнего скрепера (0,75 от наибольшей паспортной скорости тягача).

Механизация возведения земляного полотна с использованием экскаваторов. Экскаваторы – это самоходные землеройные машины с ковшовым рабочим оборудованием. Они предназначены для разработки грунтов и горных пород с перемещением их на сравнительно небольшие расстояния в отвал или в транспортные средства.

Рабочее оборудование одноковшовых экскаваторов используют в зависимости от характера выполняемых работ:

прямую лопату – для разработки грунтов, расположенных выше уровня стоянки экскаватора;

обратную лопату – для разработки грунтов, расположенных выше уровня стоянки экскаватора;

драглайн – для разработки грунтов, расположенных ниже уровня стоянки экскаватора. В отечественной практике экскаваторы, оборудованные драглайном, получили широкое распространение (40–50%). Их используют в промышленном, водохозяйственном, транспортном и других видах строительства преимущественно при устройстве выемок, насыпей, отрывке котлованов, расчистке русел рек, разработке каналов и т. п. Кроме того, их применяют для отделочных земляных работ при планировке площадей и зачистке откосов;

грейфер – для рытья колодцев, узких глубоких котлованов, траншей и тому подобных работ, особенно в условиях разработки грунтов, расположенных ниже уровня грунтовых вод;

струги – для планировочных работ в котлованах и траншеях, планировки откосов насыпей, выемок и горизонтальных поверхностей, обратной засыпки пазух фундаментов в труднодоступных местах и траншей с разравниванием, а также на погрузо-разгрузочных работах.

Размерные группы одноковшовых экскаваторов с различным объемом ковша и типами привода представлены в табл. 3.16.

По ходовому оборудованию экскаваторы подразделяют на гусеничные (вместимость ковша 0,4–16 м³), пневмоколесные (0,4–0,65 м³), на шасси автомобилей и тракторов (0,15–0,4 м³). Шагающий ход применяют на экскаваторах с ковшами большой вместимости (до 100 м³).

В зависимости от типа поворотного устройства различают полноповоротные экскаваторы, у которых платформа с рабочим оборудованием может поворачиваться на 360 град., и неполноповоротные, с ограниченным углом поворота платформы или колонки с рабочим оборудованием – 180–270 град. Неполноповоротные экскаваторы, как правило, выпускаются на базе тракторов и автомобилей.

Рабочее оборудование может быть подвешено к базовой машине с помощью канатов (гибкой подвеской) или закреплено гидроцилиндрами (жесткой подвеской).

У гидравлических экскаваторов рабочее оборудование приводится в действие гидроцилиндрами, механизмы поворота – гидромоторами или

гидроцилиндрами, механизмы передвижения – гидромоторами. Рабочее давление в гидросистемах составляет 10–35 МПа. Обычно используют многопоточные гидросистемы с несколькими насосами, позволяющие совмещать отдельные движения рабочего оборудования. Примерно 80% всех строительных универсальных экскаваторов имеют гидравлический привод.

Таблица 3.16

Размерные группы одноковшовых экскаваторов

Размерная группа	Тип привода		Размерная группа	Тип привода	
	Механический	Гидравлический		Механический	Гидравлический
III	0,4–0,5	0,5	VI	1,25	1,25–2,5
IV	0,65	0,65–1,0	VII	2,5–3,0	–
V	1,0	1,0–1,6			

Одноковшовые экскаваторы бывают универсальные, полууниверсальные и специальные (карьерные, вскрышные, тоннельные и др.). Универсальными условно называют экскаваторы, работающие со сменным рабочим оборудованием более трех видов, полууниверсальными – двух-трех видов, специальными – работающие с оборудованием одного вида. В дорожном строительстве наибольшее применение находят универсальные одноковшовые экскаваторы на гусеничном ходу с ковшом вместимостью 0,65–2,5 м³.

Ориентировочный выбор типа экскаватора с определенной геометрической вместимостью ковша зависит от месячного планируемого объема земляных работ (табл. 3.17).

Таблица 3.17

Ориентировочный выбор геометрической вместимости ковша

Месячный объем работ, тыс.м ³	Вместимость ковша, м ³	Размерная группа экскаватора
Менее 20	0,65	IV
20–60	1,0–1,25	V
60–100	2,0	VI
Свыше 100	2,0–4,0	VII

По мере разработки грунта в забое экскаватор перемещается, оставляя разработанные участки, называемые проходками, которые должны удовлетворять следующим требованиям: ширину выбирают с таким расчетом, чтобы экскаватор мог работать при средней величине углов поворота не более 70 град.; глубину (высоту) проходки назначают из условия обеспечения заполнения ковша «с шапкой» за один рабочий цикл экскаватора; длину – с учетом возможно меньшего количества переходов экскаватора в забое.

Основные типы экскаваторных забоев – лобовой и боковой, которые также называют лобовыми и боковыми проходками.

Лобовые забои в зависимости от ширины проходки делятся на узкие (ширина проходки до $1,5R$; где R – наибольший радиус копания), нормальные (ширина $1,5–1,8R$) и широкие (ширина более $1,8R$).

Узкие котлованы шириной до $1,5R$ разрабатывают лобовой проходкой с односторонней погрузкой в транспортные средства, при ширине $1,5–1,8R$ – с двусторонней подачей транспортных средств.

Котлованы шириной $2,0–2,5R$ целесообразно разрабатывать уширенной лобовой проходкой с перемещением экскаватора по зигзагу с двусторонней или односторонней погрузкой, а при ширине до $3,5R$ – поперечно-лобовой проходкой с двусторонней погрузкой грунта в транспортные средства.

При ширине разработки более $3R$ после первой лобовой проходки по одному из упомянутых выше способов ее следует расширить до необходимого размера последующими проходками боковых забоев.

Если проектная глубина выемки превышает наибольшую высоту копания экскаватора, ее разбивают на ярусы.

Наиболее эффективная высота разработки грунта прямой лопатой должна быть $0,8–1,2$ высоты напорного вала. Наименьшая высота проходки, обеспечивающая наполнение ковша экскаватора на 50%, должна быть не менее $1/3$ высоты до напорного вала в нескальных грунтах и не менее $1/4$ высоты до напорного вала в скальных породах.

Разработку грунта одноковшовыми экскаваторами в котлованах и траншеях следует производить с недобором грунта, не превышающим величин, приведенных в табл. 3.18.

Таблица 3.18

Допустимый недобор грунта, мм

Рабочее оборудование	Вместимость ковша, м ³				
	0,25–0,4	0,6–0,65	0,8–1,25	1,5–2,5	3–5
Прямая лопата	50	100	100	150	200
Обратная лопата	100	150	200	–	–
Драглайн	150	200	250	300	300

Все простои экскаватора можно разделить на технические, технологические и организационные. Причинами первого вида простоев являются неисправности (отказы) машин, рассматриваемые в разделе технической эксплуатации дорожных и строительных машин. Технологические простои вызваны необходимостью перемещать экскаватор в забое по мере его разработки, потерями времени на маневрирование автомобилей при подаче под погрузку, на смену рабочего оборудования, очистку ковша от налипшего грунта и т. д. Организационные простои определяются отсутствием фронта

работ, просчетами в организации поставки ГСМ и запасных частей, нарушением трудовой дисциплины и т. д. Сокращение этих простоев позволяет повысить производительность машин и выработку продукции на одного человека.

Повысить производительность экскаватора можно различными путями: применением специального рабочего оборудования и совершенствованием технологии и организации производства работ. Исследования, проведенные Н.Г. Домбровским, Ю.А. Ветровым, Д.И. Федоровым и другими, показывают, что значения K_c , K_n , K_p (K_c – удельное сопротивление грунта копанию) во многом зависят от грунтовых условий, конструкции рабочего оборудования и технологии производства работ. Величины K_c и K_p увеличиваются с ростом трудности разработки грунта, в то время как значение K_n при этом уменьшается, что приводит к увеличению времени копания и снижению производительности экскаватора.

Снизить сопротивление грунта копанию можно, применив специальные ножи экскаватора.

Снижение сопротивления копанию позволяет на 20–25% увеличить объем ковша. При этом производительность может быть повышена на 20–25% в зависимости от условий эксплуатации. На прочных грунтах, а так же грунтах с каменистыми включениями эффективность применения этих ковшей снижается за счет быстрого износа режущей кромки.

В этом случае целесообразно использовать ковши, имеющие режущую кромку треугольной формы, в вершине которой расположен сменный зуб. Снижение коэффициента K_c обуславливается наличием эффекта бокового разрыхления прорези, что обеспечивает перевод заблокированного копания грунта в полублокированное. Боковые режущие кромки при этом взаимодействуют с разрыхленным грунтом, что снижает удельное сопротивление копанию. Ковш такой конструкции рекомендуется для экскаваторов, оснащенных прямой и обратной лопатами. Применение боковых режущих кромок ковша драглайна снижает его устойчивость в процессе копания, а боковые опорные лыжи увеличивают затраты мощности на перемещение ковша.

Для увеличения коэффициента наполнения могут быть использованы ковши с двухцелевой загрузкой, переоборудованные из обычных путем вырезания в средней части днища ковша щели и оснащения ее режущим ножом, выступающим вниз на 30–50 мм больше, чем основной нож ковша. Копание грунта двумя стружками снижает затраты энергии на перемещение грунта в ковше, что в свою очередь уменьшает удельное сопротивление грунта копанию. При этом путь набора грунта ковшом сокращается на 30–40%, что позволяет повысить производительность экскаватора на 25–30%.

Применять ковши этой конструкции целесообразно на экскаваторах, оборудованных драглайном, и гидравлических экскаваторах с прямой и обратной лопатами, где ковш имеет возможность вращаться вокруг рукояти.

Ковши с двухщелевой загрузкой требуют дополнительного усиления ребрами жесткости, поскольку щель ослабляет конструкцию ковша в средней его части.

Для повышения производительности экскаватора рекомендуется в грунтах I–IV категорий применять ковши с полукруглой режущей кромкой. Стандартные ковши увеличенной вместимости позволяют повысить производительность до 25%. Ковши, оборудованные вибрирующими зубьями (при работе экскаватора в тяжелых грунтах), позволяют разрабатывать грунт толстыми стружками, что увеличивает степень заполнения ковша на 30–50%.

В качестве технологических мероприятий, способствующих повышению коэффициента K_n , применяют различные схемы вырезания стружки. В малопрочных грунтах забой разрабатывают прямой лопатой так, чтобы каждое последующее копание несколько перекрывало предыдущее.

В прочных грунтах забой целесообразно разрабатывать в шахматном порядке. Второе резание производят на расстоянии от левой кромки первого прохода ковша, которое меньше ширины ковша. Третьим копанием грунта забирают оставшийся целик.

Наличие разблокированного резания и эффекта бокового разрыхления грунта позволяет снизить удельное сопротивление копанию и повысить рабочую скорость перемещения ковша. Эти технологические схемы сокращают время копания на 10–15%. Время на копание грунта составляет 30–35% общего времени рабочего цикла. Это показывает, что его сокращение – важный резерв повышения производительности экскаватора.

Значительное влияние на продолжительность цикла оказывает утомляемость машиниста, вызываемая сложностью его работы за пультом управления экскаватора. Производительность машины зависит от физического состояния машиниста. Возрастающая механо- и энерговооруженность грунта, круглогодичное производство работ в любых климатических условиях – все это отражается на работоспособности человека. Эффективность труда изменяется в течение смены:

Продолжительность работы с начала смены, ч	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Эффективность труда, %	88	99	100	91	91	91	81	81	70

Перемещение грунта производится различными транспортными средствами, каждое из которых имеет свою рациональную дальность транспортирования.

Основными преимуществами использования на перевозке грунта автомобилей-самосвалов являются: малая трудоемкость устройства землевозных дорог, возможность работы на дорогах сложного профиля с достаточно большими подъемами и спусками, а также работа в стесненных

условиях. Ширину землевозных дорог при использовании автомобилей принимают на 1,3 м больше ширины автомобиля. Ширину земляного полотна дороги определяют числом и шириной полос движения и обочин.

Производительность экскаватора зависит от правильности выбора грузоподъемности транспортных средств. Ориентировочно грузоподъемность можно определить из следующего выражения:

$$G_t = (4 \div 6) q \rho, \quad (3.23)$$

где G_t – грузоподъемность транспортного средства, т; q – вместимость ковша экскаватора, м³; ρ – плотность грунта в ковше, т/м³.

Минимальная грузоподъемность автосамосвалов в зависимости от вместимости ковша экскаватора, обеспечивающей его эффективную работу, приведена ниже:

Вместимость ковша, м ³	0,4–0,65	1,0–1,6	2,5	4,6
Наименьшая грузоподъемность автосамосвала, т	4,5	7–8	12	18

Целесообразно использовать поперечно-челночный или продольно-челночный способы погрузки грунта экскаватором-драглайном в транспортные средства, которые подаются под погрузку по дну выемки (ниже уровня стоянки экскаватора).

Поперечно-челночный способ заключается в том, что грунт выбирают поочередно с каждой стороны автосамосвала. При этом ковш разгружают без остановки поворота стрелы в момент его нахождения над кузовом автомашины.

При продольно-челночном способе грунт выбирают перед задней стенкой кузова автосамосвала и, приподняв ковш, разгружают его над кузовом. При этом способе поворотные движения экскаватора фактически отсутствуют, а при поперечно-челночном не превышают 15 град.

Использование этих способов погрузки значительно сокращает рабочий цикл экскаватора и повышает его производительность. Сокращение цикла происходит не только за счет уменьшения угла поворота стрелы, но и за счет сокращения времени на подъем ковша на разгрузку, так как высота подъема ковша определяется не высотой забоя, а погрузочной высотой самосвала.

При работе экскаватора-драглайна на укладке грунта непосредственно в земляное сооружение угол поворота стрелы принимают равным 90–120 град. При погрузке в транспортные средства, подаваемые в одном с ним уровне, угол поворота составляет 70–180 град.

Сократить время, затрачиваемое на маневрирование автомобилей можно путем их установки с двух сторон экскаватора. Благодаря этому при загрузке одного автосамосвала второй производит необходимый маневр и становится под загрузку в заранее отмеченном месте.

Сменная производительность одноковшовых экскаваторов определяются так же, как производительность машин циклического действия:

$$\Pi_{\text{см}}^{\text{э}} = \frac{3600 T_{\text{см}} q K_{\text{н}} K_{\text{в}} K_{\text{у}}}{t_{\text{ц}} K_{\text{р}}}, \quad (3.24)$$

где $T_{\text{см}}$ – продолжительность рабочей смены, ч; q – геометрическая вместимость ковша, м^3 ; $K_{\text{н}}$ – коэффициент наполнения ковша; $K_{\text{р}}$ – коэффициент разрыхления грунта в ковше; $t_{\text{ц}}$ – продолжительность рабочего цикла экскаватора, с.

Иногда в формулу (3.24) вводят коэффициент $K_{\text{у}}$, учитывающий утомляемость машиниста в зависимости от качества системы управления экскаватором ($K_{\text{у}} = 0,7\text{--}0,95$). Повысить коэффициент использования экскаватора по времени ($K_{\text{в}}$) можно своевременной подготовкой фронта работ, разработкой способов производства экскаваторных работ и маршрутов движения автомобилей. При транспортировании грунта от экскаваторов и разгрузке его в насыпь требуется соблюдение определенного порядка выгрузки его для последующего разравнивания и уплотнения.

Движение автосамосвалов может быть тупиковым или кольцевым. Тупиковую систему применяют при высоте насыпи более 5 м и на подходах к мостам, а также на участках, где движение автосамосвалов за пределами насыпи затруднительно. При этом фронт отсыпки перемещается противоположно движению груженых автомобилей. Отсыпка начинается с дальнего конца насыпи и постепенно приближается к ее началу. Перед разгрузкой автосамосвалы разворачиваются и задним ходом подаются под разгрузку. При этом они двигаются по насыпи в двух направлениях. Для разворота самосвалов требуется площадка шириной не менее 11–12 м.

Кольцевую схему движения применяют при передвижении транспорта по отсыпанному слою в одном направлении: от карьера с грузом, а обратно – за пределами насыпи. С этой целью на насыпи выполняют временный съезд.

Насыпь делят на захватки не только по длине, но и по ширине. Одну половину полосы используют для проезда, причем самосвалы проходят ее насквозь задним ходом на разгрузку. Затем следуют вперед до съезда. На второй половине грунт разравнивают бульдозером и уплотняют. После того как слой будет отсыпан, выровнен и уплотнен, ее используют для проезда, а на первой полосе начинают отсыпку. Фронт отсыпки насыпи при кольцевой

езде перемещается в направлении движения груженных автомобилей от карьера.

Контроль качества земляных работ и правила их приемки. Качество работ на объектах обеспечивают рабочие, бригадиры, мастера и производители работ. Их обязанность – обеспечение качества работ в соответствии с проектами производства работ, рабочими чертежами, СНиПами и техническими условиями на производство и приемку работ.

Качество отдельных видов работ, в том числе скрытых, конструктивных элементов сооружений подлежит обязательной оценке при промежуточной приемке, а качество законченных объектов – при сдаче.

Строительство земляного полотна сопровождают определением его геометрических размеров и фактического планового и высотного положения его осей и бровок, а также крутизны откосов их проектных геометрических параметров. Для контроля высотных отметок используют лазерный измерительный прибор ПУЛ-1 (рис. 3.11). Он состоит из передающей части и фотоприемного устройства. В передающую часть входят элементы 4, 5 и 6. Фотоприемное устройство включает измерительную рейку 1 и фотоприемник 2.

Визуальную регистрацию результатов измерений осуществляют при помощи стрелочного прибора 3. Во время работы фотоприемник перемещают вдоль рейки до появления показаний на стрелочном приборе 3, после чего снимают отсчет со шкалы рейки. Применение прибора ПУЛ-1 позволяет повысить точность измерений (погрешность не более ± 1 мм) и увеличить производительность труда геодезистов в 1,5–2 раза.

Крутизну откосов проверяют с помощью переносных лекал-шаблонов, ускоренным способом Н.А. Михайлова или рейкой конструкции А.А. Ловагина. При контроле ведут журнал, в который записывают дату проверки, проектные и фактические параметры земляного полотна и их отклонения, объемы выполненных работ, а также выводы и предложения по оценке качества данных работ. По результатам контроля составляют исполнительную схему земляного полотна. Руководитель строительного подразделения (мастер, производитель работ) на основе этой схемы и данных журнала в случае допустимых отклонений дает разрешение на производство последующих работ, при значительных отклонениях – назначает срок их устранения. Результаты контроля используют для определения отклонений фактического объема земляных работ от проектного.

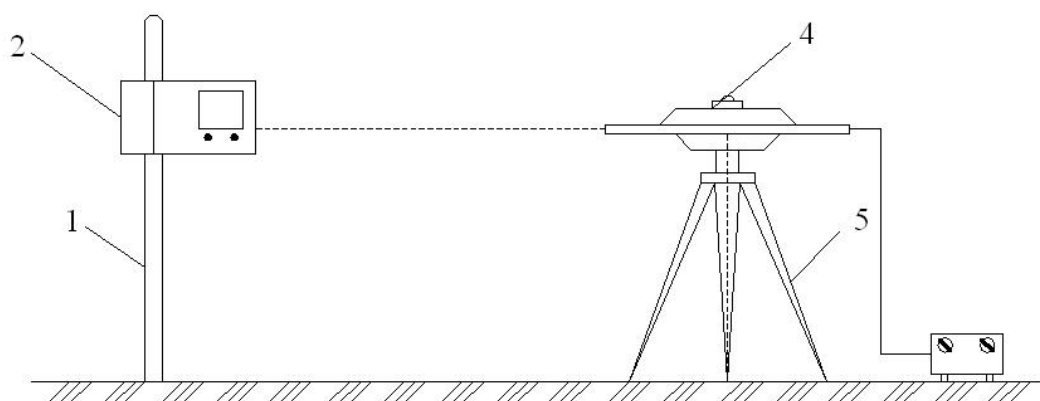


Рис. 3.11. Лазерный измерительный прибор ПУЛ-1: 1 – измерительная рейка; 2 – фотоприемник; 3 – стрелочный прибор; 4 – лазерный излучатель; 5 – штатив; 2 – блок питания

При выполнении земляных работ землеройно-транспортными машинами со следящей системой управления осуществляется контроль качества установки копирных струн на всех этапах этого процесса.

Без приемки земляного полотна (с участием представителя технического надзора, заказчика и авторского надзора проектной организации) с оформлением акта не разрешаются работы по строительству конструктивных слоев дорожной одежды. До сдачи земляного полотна производят промежуточную приемку водоотвода, дренажей, подпорных стенок, противооползневых и противоналедных сооружений. Работы по строительству дренажей принимают по мере готовности отдельных элементов как скрытые работы.

Во время приемки земляного полотна проверяют его геометрические размеры, расположение в плане и продольном профиле, крутизну и укрепление откосов, качество уплотнения грунта, расположение ферм, пожарных кранов, оформление резервов.

Расстояние между осью и бровкой полотна в плане не должно иметь отклонений от проектных размеров более чем на 100 мм. Ширину земляного полотна и крутизну откосов проверяют не менее чем в трех местах на каждом километре дороги.

Крутизна откосов должна быть соблюдена с допустимыми отклонениями не более 10%, неровности откоса и отклонения от проектной линии (образующей) более 100 мм не допускаются.

Качество грунта и степень его уплотнения в земляном полотне проверяют по документации этапов производства контроля и результатам лабораторных испытаний. Особое внимание уделяют местам засыпки труб и подходам к мостам. Контрольную проверку производят не менее чем в трех местах на каждом километре дороги и дополнительно над трубами и концами мостов не менее чем на 1/3 от общего их числа.

3.3. Оптимальное комплектование машин для земляных работ

3.3.1 Оптимальное комплектование машин «экскаватор – автосамосвалы»

Часто возникают ситуации в процессе механизации строительства, когда проектировщик или эксплуатационник имеют возможность использовать набор экскаваторов и автосамосвалов для строительства конкретного объекта. Перебор всех возможных комбинаций, сочетаний – задача довольно трудная, поэтому возникает необходимость определения оптимального комплекта машин «одноковшовый экскаватор – автосамосвалы».

Постановка задачи и выбор критерия оптимизации. При заданных условиях работы известны: дальность транспортировки грунта, скорость транспортировки, плотность грунта, категория разрабатываемого грунта и ряд других факторов. Известны технико-экономические показатели работы различных типоразмеров экскаваторов и автосамосвалов. Требуется определить такое сочетание параметров комплекта – вместимость ковша экскаватора q и грузоподъемность автосамосвала g , при которых обеспечивается максимальная эффективность работы комплекта.

Выявление основных особенностей, взаимосвязей и количественных закономерностей. В качестве критерия оптимизации, используем удельные приведенные затраты, которые можно представить так:

$$y = (C_{\text{Э}} + C'_A N + C''_A n 2l) / P_{\text{СМ}} + E_{\text{Н}} (S_A N + S_{\text{Э}}) / (P_{\text{СМ}} T_{\text{ГСМ}}),$$

где $C_{\text{Э}}$ – стоимость одной маш.-см. экскаватора, руб.; C'_A – часть стоимости одной маш.-см. автосамосвала, не зависящая от расстояния пробега, руб.; C''_A – затраты, приходящиеся на одного км пробега автосамосвала, руб.; n – число рейсов всех автосамосвалов в течение одной маш.-см.; $P_{\text{СМ}}$ – сменная производительность комплекта машин, т; S_A , $S_{\text{Э}}$ – инвентарно-расчетная стоимость, соответственно, экскаватора и автосамосвала, руб.; $E_{\text{Н}}$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, руб.; $T_{\text{ГСМ}}$ – число смен работы комплекта машин в году.

Сменная производительность комплекта машин определяется так

$$P_{\text{СМ}} = n g K_{\text{Г}},$$

где g – грузоподъемность автосамосвала, т; $K_{\text{Г}}$ – коэффициент использования грузоподъемности автосамосвала.

Определим статистические связи между отдельными составляющими выражения критерия оптимизации – y : C_{Σ} , S_{Σ} , t_{Π} и вместимостью ковша экскаватора q .

Качественный и количественный анализ маш.-смен (маш.-ч.) C_{Σ} , инвентарно-расчетных стоимостей экскаваторов S_{Σ} и продолжительностей рабочего цикла экскаваторов t_{Π} показал возможность представления их в виде линейных зависимостей от вместимости ковша (табл. 3.19).

В общем виде искомые зависимости будут выглядеть так:

$$C_{\Sigma} = \Theta_1 + \Theta_2 q ,$$

$$S_{\Sigma} = \Theta_3 + \Theta_4 q ,$$

$$t_{\Pi} = \Theta_5 + \Theta_6 q .$$

Таблица 3.19

Стоимостные составляющие от вместимости ковша экскаватора

Вместимость ковша q , м ³	Стоимость машино-смены C_{Σ} , руб.	Инвентарно-расчетная стоимость S_{Σ} , руб.	Продолжительность рабочего цикла t_{Π} , с.
0,65	31,29	14 170	16,60
1,00	37,04	21 175	17,60
1,25	37,34	21 000	18,80
1,25	39,09	25 365	18,80
2,50	61,49	63 130	21,60
4,60	100,59	126 300	23,50
0,65	31,29	14 170	16,60

После установления статистических связей выявляются функциональные. Статистические связи составляющих маш.-смены автосамосвалов C'_A и C''_A и инвентарно-расчетной стоимости S_A могут быть определены с учетом данных табл. 3.20. Стоимостные составляющие зависят от грузоподъемности автосамосвала. Так, чем выше его грузоподъемность, тем больше затраты, связанные с приобретением и эксплуатацией автосамосвала.

Число автосамосвалов, необходимых для обслуживания одноковшового экскаватора,

$$N = 1 + 120l / (v_{\text{ср}} t_{\Pi}),$$

где $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость движения автосамосвала с учетом разгрузки, км/ч;
 t_{Π} – время, необходимое на погрузку автосамосвала, мин.

Число рейсов всех автосамосвалов за одну маш.-см.:

$$n = 60t_{\text{см}} / t_{\Pi} ,$$

где $t_{\text{см}}$ – число часов работы экскаватора в течение смены.

Таблица 3.20

Стоимостные составляющие от грузоподъемности автосамосвала

Грузоподъемность автосамосвала g , т	Часть стоимости машино-смены не зависящая от пробега $C''_{\text{А}}$, руб.	Затраты, приходящиеся на 1 км пробега $C'_{\text{А}}$, руб.	Инвентарно-расчетная стоимость $S_{\text{А}}$, руб.
2,25	5,33	0,068	1580
4,50	6,80	0,127	3610
7,00	9,32	0,176	6420
10,00	11,07	0,261	9170
10,00	11,44	0,273	8635
12,00	11,62	0,276	9010
27,00	20,62	0,551	26145

Время необходимое на погрузку одного экскаватора, складывается из чистого времени, потребного на загрузку $t'_{\text{п}}$, и времени перерыва в режиме работы экскаватора, необходимого для смены автосамосвалов t_1 :

$$t_{\text{п}} = t'_{\text{п}} + t_1 = t_{\text{ц}} g K_{\Gamma} / (q K_{\text{Н}} K_{\text{Р}} \gamma) + t_1,$$

где $t_{\text{ц}}$ – продолжительность рабочего цикла экскаватора, мин.; $K_{\text{Н}}$ – коэффициент наполнения; $K_{\text{Р}}$ – коэффициент разрыхления; γ – объемная масса разрабатываемого грунта, т/м³.

Продолжительность рабочего цикла одноковшовых экскаваторов, используя кусочно-линейную аппроксимацию, можно также представить в виде следующей функции:

$$t_{\text{ц}} = \alpha (\Xi_5 + \Xi_6 q),$$

где α – коэффициент, учитывающий группу разрабатываемого грунта.

Построение математической модели. Для определения оптимальных параметров комплекта машин «экскаватор – автосамосвалы» необходимо все вышеприведенные аналитические выражения и уравнения регрессии подставить в аналитическое выражение критерия оптимизации – удельные приведенные затраты. Получим математическую модель для определения оптимальных параметров комплекта машин «экскаватор – автосамосвалы»:

$$\begin{aligned}
y(g, q) = & \frac{\Theta_1 + \Theta_2 q + (A_1 + A_2 g) \left[1 + \frac{120l/v_{CP}}{\alpha(\Theta_5 + \Theta_6 q)gK_{\Gamma}/(qK_H K_P \gamma) + t_1} \right]}{60t_{CM}gK_{\Gamma}} + \\
& + \frac{(A_3 + A_4 g) \frac{120lt_{CM}}{\alpha(\Theta_5 + \Theta_6 q)gK_{\Gamma}/(qK_H K_P \gamma) + t_1} + (\Theta_3 + \Theta_4 q)m}{60t_{CM}gK_{\Gamma}} + \\
& + \frac{(A_5 + A_6 g) \left[1 + \frac{120l/v_{CP}}{\alpha(\Theta_5 + \Theta_6 q)gK_{\Gamma}/(qK_H K_P \gamma) + t_1} \right] m}{60t_{CM}gK_{\Gamma}}.
\end{aligned}$$

Исследование и решение математической модели.

Для отыскания искомым оптимальных параметров q и g , минимизирующих выбранный критерий оптимизации – y , необходимо определить соответствующие частные производные и приравнять их к нулю. Для упрощения выкладок будем полагать $t_1 = 0$.

Частная производная по искомому параметру g – грузоподъемности автосамосвала, приравненная к нулю, в начальном виде будет выглядеть так

$$\frac{\partial y}{\partial g} = \frac{(A_2 + A_6 m)\alpha(\Theta_5 + \Theta_6 q)}{60t_{CM}qK_H K_P \gamma} - \frac{(A_1 + A_5 m)120l}{v_{CP}60t_{CM}g^2 K_{\Gamma}} - \frac{A_3 120l}{60g^2 K_{\Gamma}} = 0.$$

Проведя небольшие преобразования, получим следующее уравнение

$$\frac{g^2(A_2 + A_6 m)\alpha(\Theta_5 + \Theta_6 q)K_{\Gamma}}{qK_H K_P \gamma} - 120l \left[\frac{A_1 + A_5 m}{v_{CP}} + A_3 t_{CM} \right] = 0.$$

Частная производная по искомому параметру q – вместимости ковша экскаватора, приравненная к нулю, в начальном виде будет выглядеть так

$$\begin{aligned}
\frac{\partial y}{\partial q} = & \frac{\Theta_1 \alpha \Theta_5}{60t_{CM}q^2 K_H K_P \gamma} + \frac{\alpha \Theta_2 \Theta_6}{60t_{CM}K_H K_P \gamma} - \frac{(A_1 + A_2 g)\alpha \Theta_5}{60t_{CM}q^2 K_H K_P \gamma} + \\
& + \frac{\Theta_4 \Theta_6 m \alpha}{60t_{CM}K_H K_P \gamma} - \frac{\Theta_3 \alpha \Theta_5 m}{60t_{CM}q^2 K_H K_P \gamma} - \frac{(A_5 + A_6 q)m\alpha \Theta_5}{60t_{CM}q^2 K_H K_P \gamma} = 0.
\end{aligned}$$

Проведя небольшие преобразования, получим следующее уравнение

$$-\Theta_5(A_1 + A_2g + A_5m + A_6gm + \Theta_1 + \Theta_3m) + q^2\Theta_6(\Theta_2 + m\Theta_4) = 0.$$

Решив совместно систему уравнения $\frac{\partial y}{\partial g} = 0$ и $\frac{\partial y}{\partial q} = 0$, найдем оптимальные параметры комплекта «одноковшовый экскаватор – автосамосвалы». Для практических расчетов необходимо систему уравнений записать в следующем виде:

$$g_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{qK_H K_P \gamma 120l[(A_1 + mA_5)/v_{\text{CP}} + A_3t_{\text{CM}}]}{\alpha(A_2 + mA_6)(\Theta_5 + \Theta_6q)K_\Gamma}},$$

$$q_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{\Theta_5(A_1 + A_2g + A_5m + A_6gm + \Theta_1 + \Theta_3m)}{(\Theta_2 + m\Theta_4)\Theta_6}}.$$

Для определения оптимальных параметров можно использовать графическое решение системы в координатах qOg .

После определения оптимальных параметров комплекта можно найти число автосамосвалов, необходимых для обслуживания одноковшового экскаватора,

$$N = 1 + \frac{120lq_{\text{опт}}K_H K_P \gamma}{v_{\text{CP}}\alpha(\Theta_5 + \Theta_6q_{\text{опт}})g_{\text{опт}}K_\Gamma}.$$

Применение графоаналитического метода определения оптимальных параметров комплекта дает возможность быстро вычислить оптимальные параметры при сравнительно небольших затратах времени для различных условий эксплуатации из условия минимума приведенных затрат на разработку и транспортировку единицы грунта.

Кроме графического метода решения системы уравнений может быть применен метод последовательных приближений (итераций), позволяющий также легко найти решение системы после 3-4 итераций.

3.3.2. Оптимальное комплектование землеройно-транспортных машин

Сформулируем задачу и метод определения оптимальных параметров землеройно-транспортных машин (на примере скрепера) при часто меняющихся условиях работы.

Постановка задача и выбор критерия оптимизации. Пусть известны вероятности условий работы землеройно-транспортных машин и их основные технико-экономические показатели. Требуется определить оптимальные параметры машины: вместимость ковша и мощность двигателя, которые минимизируют удельные приведенные затраты.

Выявление основных особенностей, взаимосвязей и количественных закономерностей. Критерий оптимизации – удельные приведенные затраты могут быть записаны в таком виде:

$$y = \sum_{i=1}^l y_i p(i) = \sum_{i=1}^l [C_i / \Pi_{\text{Э}i} + S_i E_H / (\Pi_{\text{Э}i} T_{\Gamma i})] p(i),$$

где l – число объектов (условий) работы машины; C_i – себестоимость 1 маш.-см. (маш.-ч) в i -х условиях работы, руб.; S_i – инвентарно-расчетная стоимость машины при работе в i -х условиях (на i -м объекте), руб.; $\Pi_{\text{Э}i}$ – сменная (часовая) эксплуатационная производительность машины (комплект машин) в i -х условиях работы; $T_{\Gamma i}$ – число смен (ч) работы машины в году в i -х условиях; $p(i)$ – вероятность работы машины в i -х условиях.

Исходный критерий оптимизации можно развернуть так:

$$y = \sum_{i=1}^l y_i p(i) = \sum_{i=1}^l [C_{\text{Э}i} / V_{oi} + C_{\Gamma i} / V_{\Gamma i} + C_{\text{Э}i} / V_{\text{Э}i} + S_i E_H / V_{\Gamma i}] p(i),$$

где $C_{\text{Э}i}$, $C_{\Gamma i}$, $C_{\text{Э}i}$ – соответственно единовременные затраты, годовые затраты и сменные эксплуатационные затраты на машину в i -х условиях работы, руб.; V_{oi} , $V_{\Gamma i}$ – соответственно объемы работ на объекте и в году в i -х условиях.

$$y = \sum_{i=1}^l [C_{\text{Э}i} / (T_{oi} \Pi_{\text{Э}i}) + C_{\Gamma i} / (T_{\Gamma i} \Pi_{\text{Э}i}) + C_{\text{Э}i} / \Pi_{\text{Э}i} + S_i E_H / (T_{\Gamma i} \Pi_{\text{Э}i})] p(i)$$

где T_{oi} – число смен (ч) работы машины на объекте в i -х условиях.

Годовые амортизационные отчисления, %

$$C_{\Gamma i} = A \cdot S_i / 100,$$

где A – норма амортизационных отчислений, %.

Сменная (часовая) эксплуатационная производительность машины

$$\Pi_{\text{Э}i} = \Pi_i K_{Bi} t_{\text{Э}i},$$

$$\Pi_{\text{Э}i} = \Pi_i K_{Bi},$$

где Π_i – техническая производительность машины в i -ых условиях, $\text{м}^3/\text{ч}$; K_{Bi} – коэффициент использования машины по времени в i -х условиях работы; t_{CM} – продолжительность смены, ч.

После некоторых преобразований критерий оптимизации примет вид

$$y = \sum_{i=1}^l y_i p(i) = \sum_{i=1}^l \{ [C_{Ei}/T_{Oi} + (A/100 + E_H)S_i/T_{Gi} + C_{\text{Э}i}] / (\Pi_i K_{Bi} t_{\text{CM}}) \} p(i).$$

Развернем выражение удельных приведенных затрат и выделим в его составе отдельные составляющие подсистемы, зависящие от основных технических параметров машины: вместимости ковша q и мощности тягача N . Целесообразно при этом выделить затраты, связанные со скреперным оборудованием и тягачом.

В качестве основных технических параметров, которые практически могут быть независимы друг от друга, можно выделить мощность тягача N и вместимость ковша машины q .

Используем детерминированно-вероятностный метод решения задачи, который заключается в формировании зависимостей и ограничений, накладываемых на модель в виде функций детерминированного характера, если таковые известны, и выражений, получаемых в результате вероятностной обработки соответствующего статистического материала в виде корреляционно-регрессионных зависимостей.

На этом этапе необходимо отдельные технико-экономические составляющие критерия оптимизации выразить в функции основных параметров машин:

$$C_{Ei} = f_E(N, q), C_{\text{Э}i} = f_{\text{Э}}(N, q), S_i = f_S(N, q).$$

Применяя аппроксимации определенного вида, мы можем в результате получать математические модели различной степени сложности, требующие для своего исследования различных методов и средств. Так, возможность применения линейных зависимостей упрощает математическую модель целевой функции, однако, это, как правило, требует сужения интервалов изменений основных параметров – независимых искомых переменных, чтобы не снижать точности получаемых результатов. Использование линейных связей часто позволяет использовать аналитический аппарат оптимизации.

Ограничимся здесь при установлении соответствующих связей уравнениями регрессии линейного вида. Это, как уже указывалось ранее, во-первых, всегда возможно для некоторого интервала изменения независимого переменного, а во-вторых, можно так подобрать интервалы изменения независимых переменных во всем диапазоне, что в них соответствующие зависимости будут функциями линейного вида. Данный подход позволяет

значительно упростить задачу оптимизации на отдельном замкнутом интервале и стандартизировать операцию отыскания оптимума во всем диапазоне изменения независимых переменных путем сравнения условных оптимумов на отдельных закрытых интервалах. При этом соответствующий выбор интервала позволяет использовать также разрывные функции.

Единовременные затраты, связанные с перебазировкой тягача и скреперного оборудования на другой объект, могут быть представлены соответственно так:

$$\begin{aligned} C_{ENi} &= a'_{Ei} + a_{ENi}N, \\ C_{Eqi} &= a''_{Ei} + a_{Eqi}q. \end{aligned}$$

Или, суммируя эти затраты, получим

$$C_{Ei} = a_{Ei} + a_{ENi}N + a_{Eqi}q.$$

Сменные эксплуатационные затраты (на зарплату, горючее, ремонты, на тягач и скреперное оборудование могут быть соответственно представлены так:

$$\begin{aligned} C_{\mathcal{E}Ni} &= a'_{\mathcal{E}i} + a_{\mathcal{E}Ni}N, \\ C_{\mathcal{E}qi} &= a''_{\mathcal{E}i} + a_{\mathcal{E}qi}q. \end{aligned}$$

Или, суммируя эти затраты, получим

$$C_{\mathcal{E}i} = a'_{\mathcal{E}i} + a_{\mathcal{E}Ni}N + a_{\mathcal{E}qi}q.$$

Аналогично можно получить выражение и для капитальных затрат на землеройно-транспортную машину:

$$S_{\mathcal{E}i} = a'_{Si} + a_{S\mathcal{E}Ni}N + a_{Sqi}q,$$

и другие выражения.

Техническая производительность скреперов может быть представлена через основные технические параметры машины:

$$\Pi_i = qK_{ni}K_{pi}/t_{ци},$$

где K_{hi} , K_{pi} – коэффициент наполнения ковша и разрыхления грунта соответственно; $t_{ци}$ – продолжительность рабочего цикла, ч.

Продолжительность рабочего цикла:

$$t_{ци} = t_{ki} + t_{ТГi} + t_{pi} + t_{xxi} + t_{Ди},$$

где t_{ki} , $t_{ТГi}$, t_{pi} , t_{xxi} , $t_{Ди}$ – соответственно продолжительность копания грунта, транспортировки, разгрузки, холостого хода, время на дополнительные операции (переключение передач, разгон, торможение, поворот, разворот и др), ч.

Продолжительность копания грунта

$$t_{ki} = l_{ki} / v_{ki},$$

где l_{ki} , v_{ki} – соответственно, длина и средняя скорость копания грунта, м и м/ч.

Умножая числитель и знаменатель на тяговое усилие T_{ki} , необходимое для копания, получим следующее выражение:

$$t_{ki} = l_{ki} T_{ki} / (v_{ki} T_{ki}).$$

Тяговое усилие, необходимое для копания грунта,

$$T_{ki} = S_{ki} K_{ki},$$

где S_{ki} – площадь поперечного сечения срезаемой стружки, м²; K_{ki} – коэффициент сопротивления копанию в i -х условиях работы, кН/м².

Подставляя это выражение в предыдущую формулу t_{ki} , получим

$$t_{ki} = l_{ki} S_{ki} K_{ki} / (v_{ki} T_{ki}) = q_{ki} K_{ki} / (v_{ki} T_{ki}),$$

где q_{ki} – объем вынутого грунта в плотном теле в i -х условиях работы, м³.

Учитывая коэффициент разрыхления K_{pi} грунта, степень наполнения грунтом ковша K_{hi} , объем вынутого грунта в плотном теле в i -х условиях работы определится по формуле

$$q_{ki} = q K_{pi} K_{hi}.$$

Необходимо также учитывать возможность буксования в процессе копания, сопротивление передвижению, а также конструктивные особенности скрепера.

Тяговое усилие, реализуемое в процессе копания грунта в i -х условиях работы, можно представить в таком виде

$$T_{ki} = T - T_{\delta i} - T_{\text{пер}i} = T - T_{\delta i} - T_{\text{пер}i} \frac{T - T_{\delta i}}{T - T_{\delta i}},$$

где T – тяговое усилие тягача, кН; $T_{\delta i}$ – потеря тягового усилия на буксование в i -х условиях работы, кН; $T_{\text{пер}i}$ – тяговое усилие для передвижения машины в i -х условиях работы, кН.

Вынесем за скобки выражение $(T - T_{\delta i})$, а затем T . Тогда тяговое усилие T_{ki} запишется в следующем виде

$$T_{ki} = (T - T_{\delta i}) \left(1 - \frac{T_{\text{пер}i}}{T - T_{\delta i}}\right) = T \left(1 - \frac{T_{\delta i}}{T}\right) \left(1 - \frac{T_{\text{пер}i}}{T - T_{\delta i}}\right).$$

Тяговое усилие для передвижения машины в i -х условиях работы $T_{\text{пер}i}$, кН можно определить по формуле:

$$T_{\text{пер}i} = G(\omega_i \pm e_i),$$

где G – вес машины с грунтом, кН; ω_i – сопротивление передвижению в i -х условиях работы, кН; e_i – уклон местности в i -х условиях работы.

$$e_i = \text{tg} \alpha_i,$$

где α_i – угол наклона дороги в i -х условиях работы, град.

Выражение $(T - T_{\delta i})$ можно представить в виде

$$T - T_{\delta i} = GK_{\text{сц}i} \varphi_{\text{сц}i},$$

где $K_{\text{сц}i}$ – коэффициент сцепного веса машины в i -х условиях работы; $\varphi_{\text{сц}i}$ – коэффициент сцепления колесного движителя с грунтом в i -х условиях работы.

Окончательно тяговое усилие T_{ki} в i -х условиях работы запишется в таком виде

$$T_{\kappa i} = T(1 - \delta_{\kappa i}) \left(1 - \frac{(\omega_i \pm e_i)}{K_{\text{сц}i} \varphi_{\text{сц}i}} \right),$$

где $\delta_{\kappa i}$ - коэффициент буксования при копании в i -х условиях работы.

Тогда продолжительность копания грунта в i -х условиях работы определится по формуле

$$t_{\kappa i} = \frac{q K_{\text{н}i} K_{\text{п}i} K_{\text{м}i} K_{\kappa i}}{DN \eta (1 - \delta_{\kappa i}) [1 - (\omega_i \pm e_i) / (K_{\text{сц}i} \varphi_{\text{сц}i})]},$$

где $K_{\text{м}i}$ - коэффициент маневрирования в i -х условиях работы; D - коэффициент пропорциональности, $D = 3,6 \text{ МН} \cdot \text{м} / (\text{кВт} \cdot \text{ч})$; N - мощность двигателя скрепера, кВт; η - механический КПД.

Коэффициент сцепного веса в i -х условиях работы можно определить так

$$K_{\text{сц}i} = \frac{Q_{\text{сц}}}{(G_c + 0,5 q K_{\text{н}i} K_{\text{п}i} \gamma_i)},$$

где $Q_{\text{сц}}$ - сцепной вес приходящийся на ведущие колеса, кН; G_c - вес машины без грунта, кН; γ_i - объемный вес грунта, кН/м³.

Время на операции транспортировки грунта и возвращения скрепера в забой

$$t_{\text{тг}i} + t_{\text{хх}i} = 2l_{\text{т}i} / v_{\text{т}i},$$

где $l_{\text{т}i}, v_{\text{т}i}$ - соответственно дальность и средняя скорость транспортировки грунта, м и м/ч.

Умножая числитель и знаменатель на тяговое усилие, необходимое для транспортировки грунта - $T_{\text{т}i}$, получим

$$(t_{\text{тг}i} + t_{\text{хх}i}) = 2l_{\text{т}i} T_{\text{т}i} / (v_{\text{т}i} T_{\text{т}i}),$$

но $T_{\text{т}i}$ можно определить так

$$T_{\text{т}i} = T - T_{\delta \text{т}i} = T \left(1 - \frac{T_{\delta \text{т}i}}{T} \right) = T(1 - \delta_{\text{т}i}),$$

где δ_{Ti} – коэффициент буксования при транспортировании в i -х условиях работы.

Используя полученное выражение

$$(t_{TGi} + t_{xxi}) = 2l_{Ti}T_{Ti} / (v_{Ti} T(1 - \delta_{Ti})) = 2l_{Ti}T_{Ti} / (DN\eta(1 - \delta_{Ti})).$$

Раскроем тяговое усилие

$$T_{Ti} = (\omega_i \pm e_i)(G_c + 0,5qK_{hi}K_{pi}\gamma_i).$$

Подставляя это выражение в формулу для $(t_{TGi} + t_{xxi})$, получим

$$(t_{TGi} + t_{xxi}) = l_{Ti}(\omega_i \pm e_i)K_{ГPi}G_c / (DN\eta(1 - \delta_{Ti})),$$

$$K_{ГPi} = 2 + qK_{hi}K_{pi}\gamma_i / G_c.$$

Подставляя полученные выражения для t_{ki} и $(t_{TGi} + t_{xxi})$ в исходное выражение технической производительности, получим развернутое выражение Π_i в таком виде

$$\Pi_i = \frac{DN\eta q K_{hi} K_{pi}}{\frac{qK_{hi}K_{pi}K_{mi}K_{ki}}{(1 - \delta_{ki})[1 - (\omega_i - e_i)/(K_{сцi}\phi_{сцi})]} + \frac{l_{Ti}(\omega_i - e_i)K_{ГPi}G_c}{1 - \delta_{Ti}} + DN\eta t_i},$$

где $t_i = t_{pi} + t_{di}$.

Для определения оптимальных параметров землеройно-транспортных машин используем сменную эксплуатационную производительность.

Построение математической модели. Для этого необходимо полученные выражения Π_i , C_{Ei} , S_i , $C_{эi}$ подставить в формулу критерия оптимизации. Получим в результате экономико-математическую модель исходного уравнения оптимизации целевой функции:

$$y = \sum_{i=1}^I y_i p(i) = \sum_{i=1}^I \left[\frac{\frac{qK_{hi}K_{pi}K_{mi}K_{ki}}{(1-\delta_{ki})[1-(\omega_i \pm e_i)/(K_{cui}\varphi_{cui})]} + \frac{K_{\Gamma pi}G_c l_{Ti}(\omega_i \pm e_i)}{1-\delta_{Ti}}}{DN\eta qK_{hi}K_{pi}K_{bi}t_{cm}} + \frac{t_i}{K_{bi}t_{cm}qK_{hi}K_{pi}} \right] \times$$

$$\times \left[\frac{(a_{ei} + a_{eNi}N + a_{eqi}q)/T_{оби} + a_{zi} + a_{эNi}N + a_{эqi}q + (A/100 + E_n)(a_{Si} + a_{Sni}N + a_{Sqi}q)/T_{\Gamma i}}{G_c} \right] p(i),$$

$$G_c = a_{Gc} + a_{Gq}q_c.$$

Исследование модели. Исследование экономико-математической модели производится с целью выявления влияния того или иного параметра машины на экономический эффект и последующего усреднения и нейтрализации влияния малозначимых факторов. Это ведет к упрощению модели и сокращению времени для дальнейших исследований. Кроме того, исследование модели дает возможность получить аппарат для определения оптимальных параметров машин. При применении аналитического аппарата оптимизации необходимо продифференцировать полученную экономико-математическую модель по независимым переменным, искомым параметрам машины, т.е. определить частные производные и решить полученную при этом систему уравнений, предварительно проверив необходимые и достаточные условия существования оптимума целевой функции.

При наличии ограничений, накладываемых на решение задачи определения оптимальных параметров новой машины, целесообразно использовать преобразованную целевую функцию, полученную в результате применения неопределенных множителей Лагранжа. В случае невозможности применения аналитического аппарата можно с успехом использовать электронно-вычислительную технику, применив один из существующих методов поиска оптимума, например, метод наискорейшего спуска, метод случайного поиска и др.

Если возможно, то нужно использовать аналитический аппарат оптимизации. Для этого определим соответствующие частные производные

$$\frac{\partial y}{\partial N} = 0,$$

$$\frac{\partial y}{\partial q} = 0,$$

получим систему уравнений, позволяющую определить оптимальные технологические параметры скреперов. Для определения оптимальной мощности двигателя получается следующее аналитическое выражение:

$$\frac{\partial y}{\partial N} = \sum_{i=1}^I \left\{ \left[\frac{\frac{qK_{hi}K_{pi}K_{mi}K_{ki}}{(1-\delta_{ki})[1-(\omega_i \pm e_i)/(K_{cui}\varphi_{cui})]} + \frac{K_{ГPi}(a_{Gc} + a_{Gq}q)l_{Ti}(\omega_i \pm e_i)}{1-\delta_{Ti}}}{DN\eta qK_{hi}K_{pi}K_{bi}t_{cm}} + \frac{t_{Ди}}{K_{bi}t_{cm}qK_{hi}K_{pi}} \right] \times \right.$$

$$\times C_{1i} + t_{\partial i} C_{2i} / (qK_{hi}K_{pi}K_{bi}t_{cm}) \} p(i) = 0.$$

$$C_{1i} = (a_{ei} + a_{eqi}q)/T_{\partial bi} + a_{\partial i} + a_{\partial qi}q + (A/100 + E_{\text{н}})(a_{Si} + a_{Sqi}q)/T_{\Gamma i},$$

$$C_{2i} = a_{eNi}/T_{\partial bi} + a_{\partial Ni} + (A/100 + E_{\text{н}})(a_{Sni})/T_{\Gamma i},$$

а для определения оптимальной вместимости ковша скрепера

$$\frac{\partial y}{\partial q} = \sum_{i=1}^I \left\{ \left[\frac{\frac{qK_{hi}K_{pi}K_{mi}K_{ki}}{(1-\delta_{ki})[1-(\omega_i \pm e_i)/(K_{cui}\varphi_{cui})]} + \frac{(a_{Gqi} + K_{hi}K_{pi}\gamma_i)l_{Ti}(\omega_i \pm e_i)}{1-\delta_{Ti}}}{DN\eta qK_{hi}K_{pi}K_{bi}t_{cm}} - C'_{1i} - \right. \right. \\ \left. \left[\frac{(a_{Gqi} + K_{hi}K_{pi}\gamma_i)l_{Ti}(\omega_i \pm e_i)}{1-\delta_{Ti}} + \frac{t_i}{q^2 K_{hi}K_{pi}K_{bi}t_{cm}} \right] \right] \times$$

$$\times (C''_{1i} + C_{2i}N) \} p(i) = 0.$$

$$C'_{1i} = a_{eqi}/T_{\partial bi} + a_{\partial qi} + (A/100 + E_{\text{н}})a_{Sqi}/T_{\Gamma i},$$

$$C''_{2i} = a_{ei}/T_{\partial bi} + a_{\partial i} + (A/100 + E_{\text{н}})a_{Si}/T_{\Gamma i}.$$

Решая полученную систему уравнений относительно искомым параметрам: оптимальной мощности двигателя тягача и оптимальной

вместимости ковша, окончательно аналитические выражения будут выглядеть так:

$$N_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^I \left[\frac{qK_{\text{нi}}K_{\text{pi}}K_{\text{ки}}K_{\text{ми}}}{(1-\delta_{\text{ки}})[1-(\omega_i \pm e_i)/(K_{\text{сцi}}\varphi_{\text{сцi}})]} + \frac{K_{\text{Гpi}}G_{\text{с}}l_{\text{Ti}}(\omega_i \pm e_i)}{1-\delta_{\text{Ti}}} \right] \cdot C_{\text{ли}}p(i)}{D\eta \sum_{i=1}^I t_i C_{2i} p(i)}},$$

$$K_{\text{Гpi}} = 2a_{\text{Gc}} + 2a_{\text{G}}q + qK_{\text{Hi}} + K_{\text{pi}}\gamma_i,$$

$$q_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^I [2a_{\text{Gi}}l_{\text{Ti}}(\omega_i \pm e_i) + (1-\delta_{\text{Ti}})DN\eta t_i](C_{\text{ли}}'' + C_{2i}''N)p(i)}{\sum_{i=1}^I \left[\frac{K_{\text{нi}}K_{\text{pi}}K_{\text{ки}}K_{\text{ми}}(1-\delta_{\text{Ti}})}{(1-\delta_{\text{ки}})[1-(\omega_i \pm e_i)/(K_{\text{сцi}}\varphi_{\text{сцi}})]} + l_{\text{Ti}}(\omega_i \pm e_i)(2a_{\text{Gqi}} + K_{\text{нi}}K_{\text{pi}}\gamma_i) \right] \cdot C_{\text{ли}}p(i)}}}.$$

Полученные выражения позволяют определять оптимальные основные технические параметры машины комплексно, с учетом предстоящих условий эксплуатации как основных факторов, определяющих вероятностный характер процесса.

3.3.3. Определение оптимальной мощности толкача для комплекта скреперов

Рассмотрим формирование комплекта машин «толкач – скреперы», а точнее необходимо определить оптимальный толкач. В качестве независимого переменного, по которому определяется оптимальный толкач, принимается главный расчетный параметр толкача – мощность двигателя N_{T} .

Постановка задачи выбор критерия оптимизации. Задача определения оптимальной мощности толкача для комплекта скреперов может быть сформулирована так: определить такую мощность толкача для комплекта скреперов, которая при известных вероятностных условиях работы обеспечила бы минимум выбранного критерия оптимизации. Для определения оптимальной мощности толкача целесообразно использовать в качестве критерия оптимизации удельные приведенные затраты на разработку и транспортирование единицы грунта, включающие как эксплуатационные затраты, так и капитальные вложения.

Выявление основных особенностей, взаимосвязей и количественных закономерностей. Критерий оптимизации – удель-

ные приведенные затраты на разработку и транспортирование единицы грунта комплектом машин скрепер - толкач можно записать так:

$$y = \sum_{i=0}^I y_i p(i) = \sum \left[\frac{C_{Ti} + C_{Ci} H_c + m_T S_T + m_c S_c H_c}{n_i G_i} \right] p(i),$$

где I – максимально возможное число условий работы; C_{Ti} – себестоимость 1 маш.-см. (маш.-ч) толкача, руб. в i -ых условиях работы; C_{Ci} – себестоимость 1 маш.-см. (маш.-ч) скрепера, руб. в i -ых условиях работы; H_c – число скреперов, обслуживаемых одним толкачом, в i -ых условиях работы; n_i – число ездов всех скреперов за 1 маш.-см.(маш.-ч) в i -х условиях работы G_i – масса грунта, разработанного и оттранспортированного скрепером за один рейс в i -ых условиях работы; S_T, S_c – капитальные вложения (расчетные стоимости машин) соответственно на толкач и скрепер, руб.; $p(i)$ – вероятность эксплуатации машин в i -ых условиях;

$$m_T = E_n / T_{гт}, m_c = E_n / T_{гс},$$

здесь E_n – коэффициент эффективности капиталовложений; $T_{гт} T_{гс}$ – число маш. -см работы толкача и скрепера в течение года.

Число скреперов H_c обслуживаемых одним толкачом в i -х условиях использования, может быть определено по формуле

$$H_c = (t_{KTi} + 2l_{Ti}/v_{Ti} + t_{pi}) / t_{zi},$$

где t_{KTi} – продолжительность копания грунта скрепером с помощью толкача, ч.; t_{pi} – время разгрузки скрепера, ч.; t_{zi} – время загрузки скрепера с помощью толкача, ч.

Продолжительность копания грунта

$$t_{KTi} = l_{KTi} / v_{KTi},$$

где l_{KTi}, v_{KTi} – соответственно длина и средняя скорость копания грунта с помощью толкача, м, м/ч.

Умножая числитель и знаменатель на тяговое усилие, необходимое для копания грунта с помощью толкача, получим следующее выражение:

$$t_{KTi} = l_{KTi} T_{KTi} / v_{KTi} T_{KTi} = l_{KTi} T_{KTi} / D N_{KTi},$$

где N_{KTi} – мощность, необходимая для копания грунта с учетом толкача, кВт в i -х условиях работы.

Тяговое усилие, необходимое для копания грунта

$$T_{kTi} = S_{kTi} K_{Ki}$$

где S_{kTi} – площадь сечения срезаемой стружки, м^2 в i -х условиях работы; K_{Ki} – коэффициент сопротивления копанью, кН/м в i -х условиях работы.

Подставляя это выражение в формулу для T_{kTi} получим

$$T_{kTi} = l_{kTi} S_{kTi} K_{Ki} / DN_{kTi} = q_{kTi} K_{Ki} / DN_{kTi}$$

где q_{kTi} – объем вынутого грунта в плотном теле i -ых условиях работы, м^3

$$q_{kTi} = q K_{Hi} K_{pi} ,$$

где K_{Hi}, K_{pi} – коэффициент наполнения ковша и разрыхления грунта в i -ых условиях работы соответственно; q – вместимость ковша скрепера м^3 .

Потребную мощность при копании можно представить так.

$$DN_{kTi} = D (N_T K_{Ti} + N_C K_{Ci}) ,$$

где N_T, N_C – эффективная мощность двигателя толкача и тягача скрепера соответственно, кВт ; K_{Ti}, K_{Ci} – коэффициент использования мощности двигателя толкача и тягача скрепера соответственно при заполнении ковша грунтом в i -ых условиях работы.

Время загрузки скрепера толкачом включает как время, затрачиваемое непосредственно на копанье грунта, так и время, необходимое для маневрирования толкача для обслуживания скрепера. Это время в зависимости от схемы работы комплекта машин может быть записано так

$$t_{3i} = t_{kTi} K_{Mi} = q_{kTi} K_{Ki} K_{Mi} / D (N_T K_{Ti} + N_C K_{Ci}) ,$$

где K_{Mi} – коэффициент маневрирования толкача для обслуживания скрепера;

$$t_{3i} = q K_{Hi} K_{pi} K_{Ki} K_{Mi} / D (N_T K_{Ti} + N_C K_{Ci}) + t_{1i} ,$$

где t_{1i} – время перерыва в работе толкача, необходимое для смены скреперов,

В первом случае время, необходимое для смены скреперов, пропорционально времени, затрачиваемому толкачом на работу.

Во втором случае это время не зависит от времени наполнения ковша грунтом и имеет свое значение.

Число ездов всех скреперов за 1 маш.-см:

$$n_i = t_{CM} / t_{3i} ,$$

где t_{CM} – время работы толкача в течение маш.-см., ч.

Масса грунта, перевозимого скрепером за один рейс

$$G_i = q K_{Hi} K_{pi} K_{Ki} \gamma_i .$$

Сменная производительность комплекта машин Π_{CM} может быть определена по формуле

$$\Pi_{CM} = n G_i = t_{CM} q K_{Hi} K_{pi} K_{Ki} \gamma_i / t_{3i} = t_{CM} \gamma_i D (N_T K_{Ti} + N_C K_{Ci}) / K_{Ki} K_{Mi} .$$

Как показал предварительный качественный анализ отдельных технико-экономических составляющих критерия оптимизации, они могут, с достаточной степенью точности, быть представлены уравнениями кривых второго порядка (параболами). Это значительно облегчает обработку таких составляющих с помощью корреляционно-регрессионного анализа и позволяет в конечном итоге получить аналитические формулы, пригодные для практического использования.

Себестоимость маш.-см. /мощ.-ч толкача в i -х условиях эксплуатации может быть представлена выражением;

$$C_{Ti} = \sum_{j=0}^2 C_{ij} N_T^j = C_{oi} + C_{1j} N_T + C_{2j} N_T^2 ,$$

где C_{oi}, C_{1j}, C_{2j} – соответственно свободный член и коэффициенты уравнения регрессии. Капитальные вложения /расчетная стоимость на толкач могут быть представлены выражением:

$$S_T = \sum_{i=0}^2 S_{ij} N_T^j = S_{oi} + S_{1j} N_T + S_{2j} N_T^2 ,$$

где S_o, S_1, S_2 – соответственно свободный член и коэффициенты уравнения регрессии.

Построение математической модели. На этом этапе критерий оптимизации – удельные приведенные затраты на разработку и транспортирование единицы грунта комплектом машин «скрепер – толкач» необходимо выразить в функции искомого параметра - мощности толкача N_T . Для этого выражения, представленные выше, подставляем в целевую функцию – критерий оптимизации. Получим развернутое выражение критерия оптимизации – математическую модель для определения оптимальной мощности толкача:

$$y = \sum_{i=0}^I y_i p(i) = \sum_{i=0}^n \left[\frac{C_{oi} + C_{1j} N_T + C_{2j} N_T^2 + C_c}{t_{CM} \gamma_i D (N_T K_{Ti} + N_C K_{Ci})} + \frac{S_{oi} + S_{1j} N_T + S_{2j} N_T^2}{t_{CM} \gamma_i D (N_T K_{Ti} + N_C K_{Ci})} + \right. \\ \left. C C_i + m c S_c \right] (2 l T_i / v T_i + t p i q K H i K p i t_{CM} \gamma_i) p(i) .$$

Исследование математической модели. Для определения оптимальной мощности толкача проведем аналитическое исследование построенной математической модели. Для этого развернутое выражение целевой функции продифференцируем по искомому параметру – мощности толкача и приравняем полученное выражение к нулю. Далее решим полученное выражение относительно искомого параметра, предварительно проверив необходимое и достаточное условие существования минимума целевой функции.

Окончательный вид формулы для определения оптимальной мощности толкача представляется так.

$$N_{\text{Толт}} = \frac{N_C \sum_{i=1}^I (C_{2i} + m_T S_2) K_{Ci} p(i) / K_{Ti}}{\sum_{i=1}^I (C_{2i} + m_T S_2) p(i)} +$$

$$+ \sqrt{\left(\frac{N_C \sum_{i=1}^I (C_{2i} + m_T S_2) K_{Ci} p(i) / K_{Ti}}{\sum_{i=1}^I (C_{2i} + m_T S_2) p(i)} + \right.}$$

$$\left. + \frac{\sum_{i=1}^I \left[C_{0i} + m_T S_{0i} + C_C + m_C S_C \frac{N_C K_{Ci}}{K_{Ti}} (C_{1i} + m_T S_1) \right] p(i)}{\sum_{i=1}^I [(C_{2i} + m_T S_2)] p(i)} \right).$$

Полученные выражения позволяют определять оптимальное значение мощности толкача для комплекта скреперов, с учетом предстоящих условий эксплуатации как основных факторов, определяющих вероятностный характер процесса.

3.4. Механизация строительства дорожных оснований и покрытий

Подготовка земляного полотна. Земляное полотно в большинстве случаев возводят примерно за год до начала работ по строительству дорожной одежды. За этот период под воздействием природных факторов и движения транспорта земляное полотно доуплотняется. К началу периода с отрицательными температурами воздуха необходимо иметь требуемую плотность грунтов земляного полотна, в

противном случае при насыщении водой и замерзании пылеватые пористые грунты разуплотняются.

Перед началом строительства дорожной одежды проверяют профиль земляного полотна, его размеры и плотность. Если необходимо провести доуплотнение грунтов, то его осуществляют 16–30-тонными катками на пневматических шинах. Особое внимание обращается на плотность грунта, расположенного непосредственно в пределах проезжей части, которая в дальнейшем обеспечивает ровность и прочность покрытия. Доуплотнение производят челночными проходами катков, начиная от бровок земляного полотна, с перемещением при каждом проходе к оси на $2/3$ уплотняемой полосы.

При возведении насыпи в год строительства дорожной одежды в целях повышения устойчивости и прочности земляное полотно уплотняют виброкатками, а насыпи высотой более 1 м – трамбуемыми машинами или плитами, подвешенными к экскаватору.

В отдельных случаях, когда грунт земляного полотна обладает невысоким модулем упругости, добавляют минеральные материалы (песок, золу–унос, котельный шлак и т. д.). Это выполняют после планировки земляного полотна, но до проведения работ по доуплотнению. Доставляемый на земляное полотно минеральный материал разравнивают бульдозерами, после чего уплотняют тяжелыми катками с металлическими вальцами.

Желательно поверхностный слой земляного полотна (50–100 мм) улучшать мелкозернистыми материалами – песком, шлаком, золой–уносом и т. п. После распределения добавок по поверхности земляного полотна их перемешивают с грунтом дорожными фрезами или автогрейдерами. После разравнивания полученный слой уплотняют тяжелыми пневмоколесными катками. Одновременно с этими работами строят временные дороги для подвозки к ним грунта, материалов, полуфабрикатов и готовых изделий.

Технологическая классификация дорожных одежд. Дорожная одежда, как правило, состоит из покрытия, основания и дополнительных слоев основания. Дорожную одежду считают прочной, если под действием многократно повторяющихся нагрузок от движущегося транспорта она сохраняет в течение заданного срока службы сплошную и достаточно ровную поверхность покрытия.

Возникающие в дорожной одежде вертикальные и горизонтальные напряжения затухают с глубиной. Это позволяет строить дорожную одежду из нескольких различных по прочности слоев в соответствии с действующими на них нагрузками.

Покрытие – верхний слой дорожной одежды, который может состоять из слоя износа, периодически возобновляемого по мере его истирания, и основного слоя, определяющего эксплуатационные свойства покрытия. Оно должно быть наиболее прочным, износо- и термостойким, водонепроницаемым, ровным и шероховатым.

Для снижения расхода дорожно-строительных материалов применяют покрытия, состоящие из двух слоев. Нижний слой 2 (рис. 3.12), непосредственно не подвергаемый воздействию колес автомобилей, строят из менее прочных материалов, чем верхний слой 1.

Классификация дорожных одежд по типам покрытий приведена ниже.

Тип покрытий	Виды покрытий и материалы
Капитальные	Цементобетонные (монолитные и сборные); асфальтобетонные, укладываемые в горячем и теплом состоянии; из прочных щебеночных материалов выбранного состава (с минеральным порошком и без него), обработанные в смесителе вязкими битумами или дегтями; мостовые из брусчатки и мозаики на каменном или бетонном основании
Облегченные	Из щебеночных и гравийных материалов, обработанных органическими вяжущими; из холодного асфальтобетона; из грунта, обработанного в установке вязкими битумами
Переходные	Щебеночные на естественных каменных материалах и шлаках и гравийные; из грунтов и местных слабых минеральных материалов, обработанных жидкими органическими вяжущими; мостовые из булыжного и колотого камня
Низшие	Грунтовые, укрепленные различными местными материалами

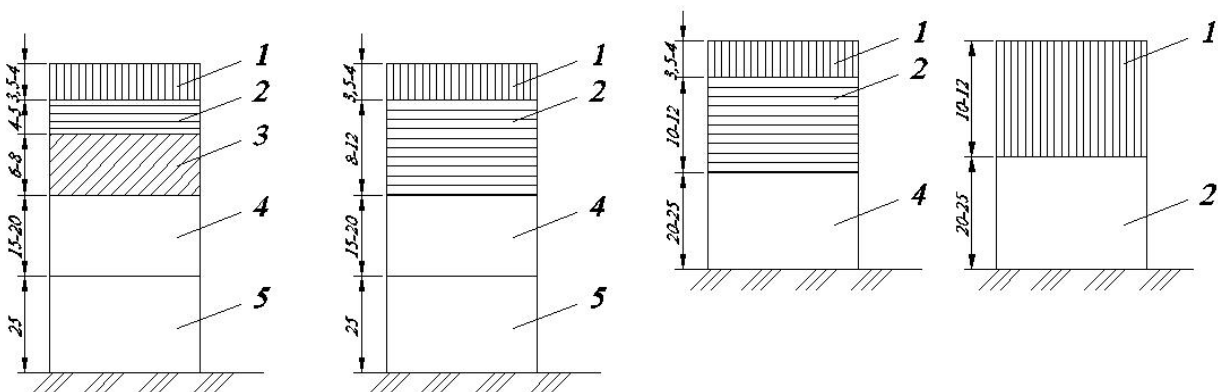


Рис. 3.12. Конструкция дорожной одежды с асфальтобетонными покрытиями (размеры в см): 1 – верхний слой покрытия; 2 – нижний слой покрытия; 3 – верхний слой основания; 4 – основание; 5 – дополнительный слой основания

Основание – несущая часть дорожной одежды, обеспечивающая совместно с покрытием передачу нагрузок на грунт земляного полотна. Основание, как правило, состоит из двух или более прочных слоев, из которых верхние часто укреплены вяжущим с целью создания достаточно прочного слоя под

покрытием. Для нижних слоев можно применять менее прочные и менее морозостойкие материалы, но при этом водостойчивые и неразмываемые.

Ниже приведена классификация оснований.

Вид слоя основания	Назначение в дорожной одежде
Цементобетонные, толщиной не менее 150 мм	Основной слой основания для капитальных покрытий
Из смесей минеральных материалов (гравийных, щебеночных и др.), обработанных вяжущими в установках и на дороге, слоем не менее 50 мм	Верхний слой основания для капитальных покрытий
Из минеральных материалов, не обработанных вяжущими, слоем не менее 150 мм	Нижние дополнительные слои основания для покрытий капитального типа, а также верхние для покрытий облегченного и переходного типов
Из грунтов, укрепленных органическими вяжущими, слоем не менее 50 мм	Верхние и нижние слои оснований на дорогах III и IV категорий
Из грунтов, укрепленных минеральными вяжущими, слоем не менее 120–150 мм	Верхние и нижние слои оснований на дорогах всех типов с различными покрытиями
Из грунтов, укрепленных добавками различных веществ	Основания на дорогах IV и нижние слои на дорогах III категорий

Главными факторами, от которых зависит выбор конструкции дорожной одежды, являются интенсивность и состав движения. Чем больше интенсивность движения автомобилей по дороге, тем быстрее изнашивается покрытие, следовательно, в этом случае должно быть устроено более капитальное, прочное и совершенное покрытие. На дорогах с меньшей интенсивностью движения покрытие изнашивается меньше, поэтому оно может быть облегченного типа. В тех случаях, когда интенсивность движения в данный период небольшая, но через 5–10 лет предполагается ее увеличение, устраивают покрытия переходного типа, которые после усиления могут быть отнесены к усовершенствованным. При малой интенсивности движения устраивают покрытия низшего типа.

Структура технологического процесса. Технология строительства асфальтобетонных покрытий – совокупность рациональных методов подготовки минеральных материалов, битума, поверхностно-активных веществ и пластификаторов, их смешения, хранения и транспортирования смеси, ее укладки и уплотнения до требуемой плотности. Эта функциональная система включает в себя материально-технические ресурсы (в том числе контрольно-измерительные приборы и оборудование), временные и трудовые ресурсы, а также регламент их взаимодействия.

Структурообразование асфальтобетонного покрытия состоит из четырех периодов: подготовительного, основного, завершающего и эксплуатационного. Каждый период структурообразования влияет на комплекс свойств асфальтобетонного покрытия. Для получения покрытия с

требуемыми свойствами необходимо уметь управлять технологическим процессом.

В подготовительный период осуществляют выбор, входной контроль и подготовку компонентов, подбор состава смеси.

В основной период, когда асфальтобетонная смесь готовится, хранится в накопительном бункере, а затем транспортируется к месту укладки и уплотнения, происходит формирование микроструктурных связей на фоне интенсивного протекания процесса старения битума. В этот период главная задача технологии заключается в разрушении первичных точечных контактов между частицами, равномерном распределении всех компонентов смеси и обволакивании минеральных зерен битумом, снижении скорости его старения.

При хранении смеси в накопительном бункере и транспортировании происходит дальнейшее распределение ее структурных элементов под влиянием собственного веса и динамического воздействия автосамосвалов, а также старение битума. При перегрузках и длительном транспортировании смеси с определенными структурно-механическими свойствами возможна ее сегрегация (разделение).

Завершающий период технологического процесса включает операции укладки и уплотнения асфальтобетонного слоя, в течение которых имеет место дальнейшее формирование микроструктурных связей, а вследствие сближения минеральных зерен образуется микроструктура материала. Старение битума замедляется.

При уплотнении смеси происходит выжимание битума из зон повышенной напряженности. При этом свободный битум заполняет межзерновое пространство, на зернах остается пленка адсорбированного битума, а прочность асфальтобетона возрастает.

В процессе эксплуатации асфальтобетонного покрытия происходит дальнейшее формирование структуры асфальтобетона. При рационально подобранном составе смеси и эффективных параметрах технологических операций асфальтобетонное покрытие упрочняется.

Технологические свойства асфальтобетонных смесей. Асфальтобетонные смеси относятся к сильносвязанным плохо-сыпучим материалам. Для получения качественного асфальтобетонного покрытия необходима определенная работа по укладке и уплотнению смеси. Асфальтобетонные смеси подразделяют на литые (вибролитые), пластичные и жесткие.

Смеси литого (вибролитого) асфальтобетона обладают значительной подвижностью, пластичные смеси – сравнительно невысокой подвижностью, жесткие смеси – повышенным внутренним трением и малой подвижностью. Технологические свойства характеризуют поведение смесей в процессе выполнения технологических операций: отгрузки, хранения, перевозки и выгрузки, укладки и уплотнения.

Важнейшими технологическими свойствами асфальтобетонных смесей являются: однородность, сегрегируемость (разделимость), удобоукладываемость (подвижность), удобоуплотняемость (формуемость). Регулируя эти свойства, можно рационализировать параметры технологического процесса в направлении обеспечения качества асфальтобетонного покрытия с минимальными энергетическими затратами и себестоимостью работ.

Однородность смесей оценивается коэффициентом вариации показателя предела прочности при сжатии при температуре 50°C.

Сегрегируемость – свойство смеси сохранять однородность по зерновому составу при отгрузке в накопительный бункер, загрузке в автосамосвалы, перевозке, выгрузке в приемный бункер асфальтоукладчика и укладке.

Удобоукладываемость – свойство смеси легко распределяться слоем с заданной толщиной с помощью асфальтоукладчиков и другого технологического оборудования.

Удобоуплотняемость – свойство смеси при уплотнении быстро формироваться в монолитный слой требуемой плотности.

Оценка таких важных технологических свойств, как сегрегируемость, удобоукладываемость и удобоуплотняемость, не предусмотрена требованиями ГОСТ 9128-97, поскольку отсутствуют апробированные методики и соответствующие им простые и надежные в производственных условиях эксплуатации приборы.

Удобоукладываемость и удобоуплотняемость смеси достигаются, в частности, при соблюдении температурного режима технологического процесса.

В практической деятельности при оценке удобоукладываемости и удобоуплотняемости смеси следует руководствоваться следующими положениями.

Необходимая удобоукладываемость смесей, приготовляемых на вязких битумах, достигается в основном за счет повышения температуры, снижающей их вязкость. Это свойство смеси зависит от ее структуры, количества битума и качества минерального порошка. Зернистые смеси с применением дробленых минеральных материалов имеют меньшую подвижность, чем смеси с применением гравия и природного песка. Смеси с повышенным содержанием минерального порошка обладают большей жесткостью.

Непросушенный минеральный порошок понижает подвижность смеси, а избыток битума – ее рыхлость. Такая смесь слеживается при перевозке, растекается по кузову автосамосвала и с трудом выгружается.

На удобоукладываемость асфальтобетонной смеси оказывают влияние характер и качество перемешивания: смеси, приготовленные в лопастных мешалках, более технологичны, чем смеси, приготовленные в мешалках со свободным перемешиванием.

Удобоуплотняемость смеси зависит в основном от тех же факторов, что и удобоукладываемость. Отличие заключается в следующем: увеличение содержания битума на 10–15% выше оптимального улучшает это свойство смеси.

Минералогический состав и пористость минеральных материалов определяют шероховатость и форму зерен, что отражается на внутреннем трении и сцеплении частиц, а, следовательно, и на удобоуплотняемости смеси.

Структура и размер пор влияют на степень всасывания жидких компонентов битума и способствуют повышению вязкости битумных прослоек и вязкого сопротивления смесей при уплотнении. Смесей, приготовленные на шлаковых заполнителях, отличаются меньшей уплотняемостью, чем смеси, приготовленные на щебне из природных горных пород. Асфальтобетонные смеси из пористых известняков более жесткие, нежели из плотных, вследствие значительной диффузии наиболее подвижного компонента (масел из битума). Поэтому смеси из плотных известняков обладают лучшей удобоуплотняемостью по сравнению со смесями на щебне из пористых известняков.

Старение битума в технологическом процессе. В процессе приготовления, хранения в накопительном бункере и транспортирования асфальтобетонной смеси битум в виде тонких пленок на поверхности минерального материала находится при высоких температурах. Это создает благоприятные условия для интенсивного протекания в нем термоокислительных и других процессов, приводящих к старению битума. Интенсивность старения битума при выдерживании смеси в бункере и в процессе транспортирования определяется температурным режимом смеси, ее составом, типом дисперсной структуры битума, толщиной битумной пленки на зернах минеральных материалов и степенью ее структурированности.

В тонких пленках при высокой температуре процессы старения протекают настолько интенсивно, что практически через каждый час битум переходит в другую марку с более высокой вязкостью. В итоге асфальтобетон в покрытии содержит битум с меньшей глубиной проникания иглы, чем было принято при подборе его состава. Это обстоятельство – одна из главных причин существенного сокращения срока службы асфальтобетонных покрытий.

При выборе марки битума для асфальтобетона необходимо учитывать не только дорожно-климатическую зону эксплуатации покрытия, как это рекомендует ГОСТ 9128-97, но и изменение свойств битума в технологическом процессе. При этом в зависимости от его продолжительности марочную вязкость битума необходимо уменьшать путем применения менее вязких марок битумов заводского приготовления или, при отсутствии такой возможности, разжижения исходного битума до требуемой вязкости.

Повышение температуры и увеличение времени выдерживания смеси при этой температуре ускоряют старение битумов. В смесях для асфальтобетонов с меньшей остаточной пористостью старение битума происходит медленнее, чем в смесях для более пористых асфальтобетонов. Независимо от состава смеси и качества процессы старения битума в пленках резко интенсифицируются при температуре 160°C и выше.

Укладка и уплотнение асфальтобетонных смесей. Асфальтобетонные основания. Операции укладки и уплотнения асфальтобетонных смесей являются завершающими в формировании структуры асфальтобетона. Качество их выполнения в значительной степени определяет эксплуатационную надежность и долговечность асфальтобетонного покрытия.

Высокая плотность асфальтобетонного покрытия обеспечивает усталостную прочность и морозостойкость материала, замедляет процессы его старения, снижает водонасыщение и образование пластических деформаций в процессе эксплуатации покрытия.

Качество асфальтобетонного покрытия зависит от состояния основания, на которое укладывают смесь. Оно должно иметь расчетные физико-механические показатели и после строительства покрытия обеспечивать в течение его срока службы сопротивление транспортным и природно-климатическим воздействиям, не накапливая остаточных деформаций. Кроме того, его поверхность должна быть ровной и сухой.

Ямочно-восстановительный ремонт. Заделка асфальтобетонной смесью деформированных участков основания не эффективна за исключением тех случаев, когда устраивается толстый слой. Целесообразно все участки основания со значительными повреждениями удалить и заменить новыми. При необходимости следует заменить материал основания и осуществить надлежащий дренаж подстилающего слоя.

Небольшие поврежденные участки асфальтобетонного основания следует тщательно подготовить к устройству покрытия. Для этого их вырубают и просушивают. Стенки вырубки должны быть вертикальными. Затем углубление обрабатывают битумом (или битумной эмульсией) и заполняют смесью. Если углубление более 100 мм, то смесь укладывают в два слоя с последующим их уплотнением.

Заполнение трещин. Сильно растрескавшиеся участки асфальтобетонного основания необходимо удалить и заделать асфальтобетонной смесью. Иногда целесообразнее его отремонтировать, применяя различные методы в зависимости от размера трещин. Если трещины узкие (менее 10 мм), то маловероятно, что мастика проникнет внутрь трещины – она заполнит только ее верх. Такие трещины перед заполнением следует расширить (например, механической фрезой). Более широкие трещины следует предварительно очистить от мусора сжатым воздухом. Мاستикой следует

заполнять только чистые и сухие трещины. Ее уровень в трещине должен быть несколько ниже уровня поверхности асфальтобетонного основания.

Если сетка трещин обусловлена структурой слоя основания, то следует рассмотреть возможность обработки всей поверхности в целом вместо заделки каждой трещины. При этом вначале трещины очищают от пыли и грязи сжатым воздухом, а затем по чистой и сухой поверхности обрабатывают поверхность органическими вяжущими.

Выравнивающие слои устраивают на сильно деформированных участках асфальтобетонного основания. При этом необходимо обратить особое внимание на обеспечение однородности плотности выравнивающего слоя по всей подготавливаемой поверхности. Для выполнения этого условия в сильно пониженных местах смесь укладывают несколькими слоями с последующим их уплотнением. Толщина слоя смеси при укладке асфальтоукладчиками должна быть на 10–15% больше проектной, а при укладке автогрейдерами или вручную – на 25–30%.

Выравнивание поверхности асфальтобетонного основания холодным фрезерованием. Для этого используют машины, оборудованные фрезой и устройством автоматического контроля поперечного и продольного уклонов. Выравнивание поверхности осуществляется за один проход машины. Срезанный материал может быть использован для повторной переработки. Кроме того, текстура выровненной таким образом поверхности улучшает сцепление с вновь устраиваемым асфальтобетонным покрытием.

Фрезерованную поверхность основания необходимо очистить механической щеткой. В некоторых случаях может потребоваться очистка сжатым воздухом или обработка поверхности поливомоечной машиной с последующим применением механических щеток.

Цементоминеральное основание. Перед укладкой асфальтобетонного слоя на цементоминеральное основание все поврежденные участки следует отремонтировать на глубину повреждений цемента-минеральной или асфальтобетонной смесью. При необходимости следует также отремонтировать подстилающие слои. «Качающиеся» плиты сборного основания необходимо зафиксировать, добавляя под них сухую песко-цементную смесь (соотношение по массе 6:1).

Ремонту подлежат дефекты, обнаруженные в местах соединений плит. Для этого из швов удаляют битумную мастику, а швы продувают сжатым воздухом. Затем эти места заполняют новой мастикой. Необходимо следить за тем, чтобы в швы не укладывалось избыточное количество мастики, особенно в холодную погоду, когда швы в значительной мере раскрыты.

По окончании ремонта цементоминерального основания и заделки швов его следует очистить механическими щетками.

Щебеночное (гравийное) основание. Перед укладкой асфальтобетонного слоя на основании из щебня или гравия необходимо контролировать его ровность, плотность и влажность. При неудов-

летворительном состоянии щебеночного (гравийного) слоя необходимо произвести работы по устранению дефектов.

Подгрунтовка поверхности основания органическими материалами. Для обеспечения сцепления между основанием и новым слоем асфальтобетонного покрытия необходимо произвести подгрунтовку поверхности основания битумной эмульсией, жидким или в крайнем случае разжиженным вязким битумом, нагретым до необходимой температуры.

Поверхность основания перед подгрунтовкой должна быть чистой, ровной, сухой на глубину не менее 30 мм и не иметь дефектов.

При температуре воздуха от + 5 до +40°C для доставки органических материалов к месту производства работ и их распределения по поверхности основания используют автогудронаторы. Качество обработки основания определяется равномерностью распределения органических материалов по поверхности. Для этого высота установки распределительной трубы автогудронатора увязывается с углом распыла вяжущего форсунками. Необходимо добиться такого их сочетания, при котором полосы основания, обрабатываемые вяжущим каждой форсункой, соединялись между собой без перекрытия и образования необработанных участков.

Очень важно правильно рассчитать удельный расход вяжущего. Недостаточное количество вяжущего не обеспечит сцепления между основанием и асфальтобетонным покрытием. Избыточное количество вяжущего будет способствовать сдвигу слоев, что приведет к образованию пластических деформаций в покрытии.

Обрабатывать основание рекомендуется за 3–5 ч до начала укладки асфальтобетонного слоя.

Если в качестве связующего материала используют разжиженный битум, то укладывать асфальтобетонную смесь следует после испарения разжижителя. Скорость испарения зависит от марки битума, вида разжижителя и погодных условий. Если в качестве подгрунтовки используют битумную эмульсию, то укладывать смесь начинают после распада эмульсии (при этом ее цвет меняется с коричневого на черный).

Рекомендуются следующие нормы расхода материалов, л/м²: при подгрунтовке битумом нижнего слоя асфальтобетонного покрытия – 0,2–0,3, основания – 0,5–0,8; при подгрунтовке 60%-й битумной эмульсией нижнего слоя асфальтобетонного покрытия – 0,3–0,4, основания – 0,6–0,9.

Подгрунтовку основания можно не производить, если при отсутствии движения технологического транспорта интервал времени между устройством верхнего и нижнего слоев асфальтобетонного покрытия составляет не более двух суток. Для подгрунтовки основания эффективно применять битум, вспененный в автогудронаторе.

Укладка асфальтобетонной смеси. Укладывают асфальтобетонные смеси асфальтоукладчиками, состоящими из самоходного шасси и рабочего оборудования. Они предназначены для приема смеси из

транспортных средств, распределения по основанию и предварительного уплотнения. Смеси распределяют слоем заданной толщины с обеспечением поперечного и продольного профилей покрытия.

Принципиальная технологическая схема асфальтоукладчика представлена на рис. 3.13. Смесь из автосамосвала 1, перемещаемая во время выгрузки толкающим усилием машины, через ролики 2 выгружается в приемный бункер 3. Из бункера смесь через регулируемое разгрузочное отверстие 5 у дна бункера подается скребковыми питателями 4 на основание. Количество поступающей из бункера смеси регулируется заслонкой 11, которая перемещается в вертикальной плоскости винтами 10. Смесь на основании распределяется винтовыми конвейерами 6 на заданную ширину и уплотняется трамбуемым брусом 7 и виброплитой 8. Для получения заданного поперечного профиля рабочие органы (винтовые конвейеры, трамбуемый брус, виброплита) состоят из двух частей – правой и левой, которые внизу соединены шарниром, а сверху – винтовой стяжкой. Толщину укладываемого слоя по всей ширине укладываемой полосы асфальтобетонной смеси регулируют винтами 9.

Для изменения ширины укладываемой полосы предусмотрены уширители рабочих органов, трамбуемого бруса и виброплиты.

Обычно асфальтоукладчики оборудуют системой автоматического управления, которая обеспечивает контроль и регулирование продольного и поперечного уклонов поверхности устраиваемого покрытия.

По типу ходового устройства асфальтоукладчики классифицируют на гусеничные, колесные и комбинированные.

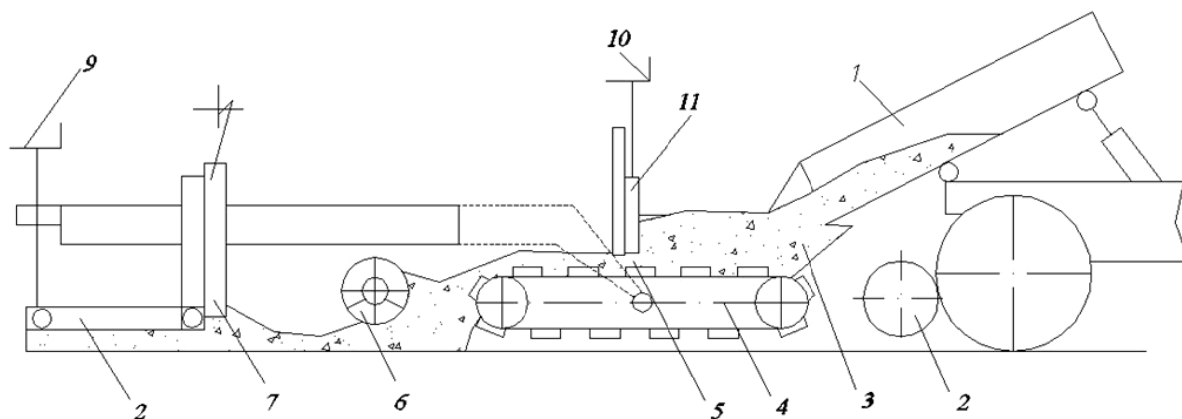


Рис. 3.13. Технологическая схема асфальтоукладчика: 1 – самосвал; 2 – упорный ролик; 3 – приемный бункер; 4 – скребковый питатель; 5 – разгрузочное отверстие; 6 – винтовой конвейер; 7 – трамбуемый брус; 8 – выглаживающая плита; 9 – регулятор толщины слоя; 10 – регулировочный винт заслонки; 11 – заслонка бункера

Самоходное шасси выполняет функции приема асфальтобетонной смеси из самосвалов, перемещения ее к винтовым распределителям. Оно приводится в движение двигателем, который обеспечивает поступательное

рабочее движение машины вперед. На шасси навешиваются толкающие ролики, загрузочный бункер, заслонка (затвор) для регулирования количества смеси, поступающей на основание, и питатель.

Упорные ролики расположены перед бункером асфальтоукладчика и предназначены для толкания автосамосвала впереди машины. Ролики должны быть чистыми и свободно вращаться, так как в противном случае создаются дополнительные силовые нагрузки на асфальтоукладчик, смещающие ось его движения.

Бункер предназначен для приема и временного хранения асфальтобетонной смеси. Его ширина должна быть больше ширины кузова автосамосвала. Чтобы исключить давление самосвала на переднюю часть асфальтоукладчика, необходимо использовать такие автосамосвалы, у которых поднятый кузов при разгрузке не будет опираться на бункер.

Для очистки бункера от асфальтобетонной смеси его боковые стенки складываются с помощью гидроцилиндров.

Зачастую машинисты асфальтоукладчиков перед разгрузкой автосамосвала для предотвращения высыпания смеси на основание с помощью боковых стенок бункера перемещают всю смесь к винтовым конвейерам. Это приводит к тому, что после загрузки бункера задняя часть питателя остается без смеси, в результате чего нарушаются сплошность и толщина укладываемого слоя. Частота подъема стенок бункера зависит от полноты загрузки бункера, температуры смеси и погодных условий. Стенки следует поднимать до того, как смесь, скопившаяся в углах, остынет настолько, что образовавшиеся комья не будут разрушаться при попадании их на питатель и к винтовым конвейерам. В любом случае приемный бункер должен быть загружен не ниже уровня заслонки //.

Скребковые питатели, предназначенные для перемещения асфальтобетонной смеси к распределительным винтовым конвейерам, находятся на дне бункера. Правый и левый питатели имеют независимый привод и могут перемещать различное количество смеси. Такая конструкция позволяет укладывать покрытие на различных радиусах кривых.

Скорость передвижения ленты питателя зависит от скорости движения асфальтоукладчика.

Заслонки для регулирования количества асфальтобетонной смеси, подаваемой к винтовым конвейерам, находятся в задней части бункера. Величина их открытия зависит от толщины укладываемого слоя покрытия и устанавливается в соответствии с таблицей, расположенной обычно на капоте двигателя.

Винтовые конвейеры предназначены для равномерного распределения смеси по всей ширине укладываемой полосы. Качество распределения смеси конвейерами зависит от точности выбранного положения регулирующих заслонок. Количество смеси, подаваемое в винтовую камеру, должно быть по-

стоянным. Оптимальным считается такой уровень, при котором винтовые конвейеры погружены в смесь до середины винтового вала.

Объем смеси в винтовой камере обычно регулируется автоматически с помощью установленных датчиков (лопатки с концевыми выключателями). Если наблюдается недостаток или избыток смеси, а также происходит частое включение винтовых конвейеров (чаще пяти раз в минуту), то необходимо настроить положение лопаток на концевых выключателях или изменить положение заслонки бункера.

Для обеспечения ровности асфальтобетонного покрытия необходима непрерывная и равномерная подача смеси питателем и безостановочная работа винтовых конвейеров.

Современные образцы укладчиков имеют гидравлически раздвигаемый рабочий орган на ширину от 2–3 до 4,5–6 м. Свыше 4,5–6 м (до 7–8 м) уширение производится за счет механически прикрепляемых секций-вставок. Такое решение обусловлено необходимостью придать рабочему органу хорошую горизонтальную и вертикальную жесткость, которая оказывает позитивное влияние на ровность покрытия.

По этой же причине на широкозахватных образцах (раскладка на 8–9 и даже до 15–16 м) вообще не используется гидравлическая раздвижка, несмотря на ее несомненные технологические удобства и достоинства. Ширина укладки асфальтобетонной смеси в покрытие на дорогах общегосударственной сети России регламентирована требованиями СНиП 2.05.02-85 к основным параметрам проезжей части и обочин.

У подрядчика, в зависимости от категории дороги и количества полос движения транспорта на ней может возникнуть потребность устраивать покрытие сразу на всю ее ширину или отдельными соседними полосами следующих стандартных размеров (с учетом или без учета укрепленной части обочины):

3	6	11,25 (3x3,75)
3,5 (3+0,5)	7 (6+2x0,5)	13 (11,25+1,0+0,75)
3,75	7,5 (2x3,75)	15 (4x3,75)
4 (3,5+0,5)	8 (7+2x0,5)	15,75 (15 + 0,75)
4,5 (3,75+0,75)	9 (7,5+2x0,75)	16 (15+1)
4,75 (3,75+1,0)	9,25 (7,5+1+0,75)	

где 0,5; 0,75 и 1,0 м – ширина полосы укрепленной обочины для дорог разных категорий, которая зачастую устраивается вместе со слоем основного покрытия; 3; 3,5 и 3,75 м – ширина полосы движения транспорта на дорогах разных категорий.

В городских условиях устройство покрытий ведется с учетом своей специфики, связанной с отсутствием обочин, наличием тротуаров, бордюра и

т.п. Однако их ширина остается кратной ширине полосы движения автомобильного транспорта и может иметь несколько таких полос в каждом направлении движения. Поэтому наиболее крупный современный широкозахватный асфальтоукладчик способен раскладывать смесь на загородных магистралях, аэродромах, городских проспектах и площадях шириной до 15–16 м.

Если ведется новое строительство или полная реконструкция дороги, в выборе укладчика часто ориентируются на максимально потребную ширину укладки, чтобы избежать продольных стыковочных швов, часто служащих источником разрушения покрытия. При ремонте или обновлении покрытий на эксплуатируемых дорогах целесообразен более дешевый укладчик с шириной не более 5 м.

С точки зрения ровности покрытия целесообразнее и выгоднее использовать два параллельно и одновременно работающих укладчика или вести устройство широкого покрытия двумя-тремя отдельными полосами, используя всего один укладчик.

Современные модели укладчиков реально способны укладывать слои смеси толщиной от 15–20 мм (хотя в паспортах часто могут быть указаны 5–10 мм) и до 250–300 мм, а отдельные мощные и крупные экземпляры даже до 400–500 мм (такими слоями чаще всего укладывают в основание тощий бетон). В России же превалирует укладка асфальтобетона слоями 40–60 мм (верхний слой покрытия) и 60–100 мм (нижний несущий) и в редких случаях 120–150 мм (верхняя часть основания). При этом в России редко укладывают толстый слой асфальтобетона, полагая, что чем он тоньше, тем более ровным будет покрытие. И поэтому на практике нередко вместо укладки одного слоя, например, 100 или 140 мм выполняют устройство двух слоев 50+50 (или 60+40) и 70+70 (или 80+60) мм.

Важным качественным показателем рабочего органа и укладчика в целом является степень предварительного уплотнения асфальтобетонной смеси, ибо от этого зависит не только подбор необходимых типов и количества катков для последующей ее укатки, но и технологические приемы выполнения этой важной и сложной операции. Практика также показала, чем выше плотность после укладчика, тем ровнее готовое покрытие.

На протяжении десятков лет использования асфальтоукладчика его рабочий орган в части уплотняющей способности постоянно видоизменялся и совершенствовался. Первые его образцы в качестве уплотняющего органа имели трамбуемый брус в виде скошенной планки или "заостренного ножа" с размером ударного «носика» всего 6–7 мм по ходу укладчика. При вертикальном ходе 2–3 мм, частоте ударов в пределах 1000–1500 в мин. и скорости укладки примерно 3 м/мин такой трамбуемый брус после каждого своего удара смещался вперед вместе с укладчиком всего на 2 мм, т.е. по одной и той же точке смеси он наносил не более 2–3 ударов. С увеличением же скорости укладки количество ударов по месту становилось еще меньше. А

этого, как показал практический опыт и исследования, явно мало для эффективного уплотнения смеси. Вот почему старые модели укладчиков с подобным трамбуемым брусом и со статической выглаживающей плитой (вибрационная несколько повышает плотность смеси) не могли обеспечить коэффициент уплотнения выше 0,83–0,85.

Увеличение размера трамбуемого "носика" или башмака до 22–28 мм с одновременным повышением частоты ударов до 1700–1800 в минуту позволило возрасти количеству ударов по месту до 10–12 на скорости укладки 3 м/мин и до 6–8 на скорости 5 м/мин. Но ожидаемого роста плотности не получилось потому, что с таким "носиком" возросла площадь контакта бруса со смесью и понизилось его статическое контактное давление, а вместе с ним упало контактное давление удара. Нужно было или существенно (до 3 раз) утяжелять брус, или возвращаться к меньшим размерам подошвы его ударной части. Было выбрано второе решение, и теперь размер «а» (рис. 3.14) составляет около 12–15 мм. Затем был увеличен ход трамбуемого бруса до 3–4 мм (для тонких слоев смеси) и до 6–8, а в некоторых случаях до 9–12 мм (толстые слои)¹.

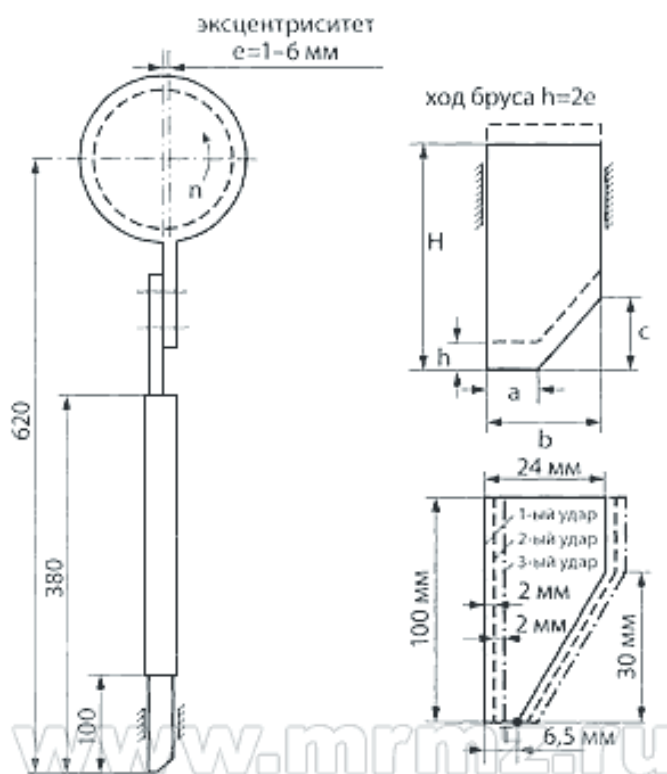


Рис.3.14. Схема трамбуемого бруса асфальтоукладчика и геометрия его ножа с размерами

¹ Источник: Статья: Каталог-справочник "Дорожная техника 2007" авторы статьи Костельов М.П., Пахаренко Д.В., Бринкс З.К. Как правильно выбрать асфальтоукладчик. (<http://www.mrmz.ru/article/v69/article1.htm>).

Выглаживающая плита стала вибрационной, что облегчило процесс выравнивания поверхности покрытия и несколько повысило качество уплотнения. Укладчик с более совершенным трамбующим брусом и выглаживающей виброплитой способен предварительно уплотнять горячие асфальтобетонные смеси до 0,89–0,90 (пластичные песчаные и малощебенистые) и даже до 0,92–0,93 (жесткие многощебенистые).

Немецкие фирмы ABG и Voegle предприняли независимые и, главное, успешные попытки дальнейшего усовершенствования уплотняющей части рабочего органа. В частности, ABG лет 25 назад вместо одного трамбующего бруса стала устанавливать два (рис. 3.15) и готова была монтировать и большее их количество. Однако возникла проблема надлежащего выравнивания поверхности хорошо уплотненного и сильно упрочненного слоя следом идущей выглаживающей плитой. Фирма Voegle подобную задачу решила иначе. К существующему на многих укладчиках стандартному набору из одинарного трамбующего бруса и выглаживающей виброплиты добавлены две прессующие планки, создающие периодические импульсные нагрузки с частотой 50–70 Гц и давлением в гидросистеме нагружения 50–150 бар.

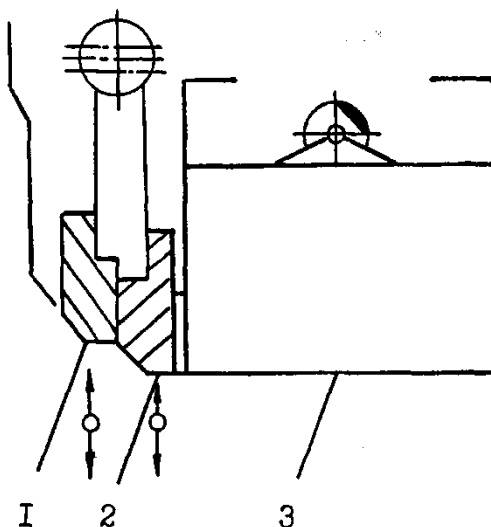


Рис. 3.15. Рабочий орган укладчика фирмы IR-ABG с двойным трамбующим брусом: 1 – трамбующий брус предварительного уплотнения; 2 – трамбующий брус высокого уплотнения; 3 – выглаживающая виброплита

Многие фирмы, выпускающие асфальтоукладчики, в том числе ABG и Voegle, практикуют разработку различных типов, моделей и вариантов рабочих органов, которыми по желанию заказчика можно комплектовать один и тот же тракторный модуль и, наоборот, один и тот же рабочий орган можно навешивать на разные тракторные модули. В частности, Voegle разработала новое поколение рабочих органов типа AB (Absolutely the Best - абсолютно лучший) и SB (Standard the Best - стандартный улучшенный) с

шириной раздвижки гидравликой (только АВ) от 2–3 до 3,2–6,0 м, а за счет механического присоединения отдельных секций - до 8–13 и даже 16 м. Каждый из трех рабочих органов (АВ500–2, АВ600 и SB250) можно монтировать на 6–8 моделей укладчиков. Эти рабочие органы, по желанию заказчика, комплектуются различным сочетанием трамбуемого бруса, выглаживающей виброплиты и прессующих планок.

Укладчик с повышенной степенью уплотнения может быть несколько дороже его аналога с более простым рабочим органом, и это зачастую служит решающим аргументом в выборе российским дорожником второго варианта. А между тем, именно укладчик с новым рабочим органом лучше в технологическом плане отвечает российским более холодным погодным условиям устройства качественных покрытий из горячих асфальтобетонных смесей. К тому же такой укладчик существенно смягчает влияние на конечный результат уплотнения имеющихся дорожных катков, плохо еще отвечающих современному уровню уплотняющей техники и технологии ведения работ.

При наличии подобного протестированного укладчика количество катков за ним можно сокращать. Но полностью отказываться от их услуг нельзя. Даже в случае стабильной реализации укладчиком 100 % плотности хотя бы один статический каток нужен для закрепления достигнутого уплотнения и повышения структурной прочности асфальтобетона за счет усиления распора его частиц с одновременным закреплением этого распора повышающейся клеящей способностью битума при понижении его температуры. Работу такого катка следует считать не только полезной, но и необходимой. И потом не нужно забывать, что требуемое по нормам уплотнение асфальтобетонных смесей только укладчиком ни одна фирма-производитель в мире пока не гарантирует. Так что катки всегда должны будут работать за укладчиком. Сегодня успешные и передовые дорожники добиваются более высокого качества (1,0–1,02), что в принципе правильно и разумно для повышения срока службы покрытия. А достигается это путем выбора укладчика с наиболее эффективным рабочим органом и непрерывной после него укаткой грамотно подобранными вибрационными и статическими катками вплоть до понижения температуры асфальтобетона до минимально допустимой (60–70°C). Экономить на уплотнении нецелесообразно и не всегда оправданно.

Рабочая скорость вместе с шириной и толщиной слоя укладки смеси определяет производительность укладчика. Его технические возможности быстро двигаться в рабочем режиме могут быть достаточно широкими. А вот практическая потребность дорожной отрасли не всегда совпадает с этими возможностями.

В Европе, где сеть АБЗ по своей производительности была всегда менее приспособленной к высоким темпам устройства покрытий, средняя скорость укладки до сих пор не превышает 6–7 м/мин (в России она около 2–3 м/мин).

Поэтому производительность труда на этой операции в Германии, Франции, Италии и других европейских странах минимум в 2 раза ниже, а стоимость укладки 1 т смеси почти в 2 раза выше, чем в США. При этом следует отметить, что дорожная отрасль США по официальной статистике последних лет ежегодно укладывала до 450 млн т асфальтобетонных смесей, европейские страны – примерно в 1,5–2 раза, а в России – до 7–8 раз меньше.

Выбирая потребный укладчик, российский дорожник должен учитывать свои возможности обеспечить его необходимым количеством смеси с АБЗ.

Для обеспечения качества строительства асфальтобетонного покрытия необходимо периодически регулировать положение трамбуемого бруса в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Установка трамбуемого бруса по отношению к плите в вертикальной плоскости считается правильной, если его нож в крайнем нижнем положении будет ниже основания плиты на 0,4 мм. Если этот допуск более 0,4 мм, то плита не будет выглаживать поверхность покрытия и на ней останутся следы от трамбуемого бруса. Если нож трамбуемого бруса выше основания плиты, то происходит налипание смеси к плите и образование трещин на поверхности покрытия. Регулируют положение трамбуемого бруса изменением количества прокладок под подшипниками эксцентрикового вала.

В горизонтальной плоскости регулируют зазор между ножом трамбуемого бруса и торцом плиты. Его величина должна находиться в пределах 0,5–1,0 мм. Регулируют установку трамбуемого бруса отжимным болтом.

Виброплита оказывает уплотняющее воздействие на асфальтобетонную смесь и в основном формирует текстуру поверхности укладываемого слоя. Регуляторами толщины слоя можно задавать плите определенный угол атаки. Для увеличения толщины укладываемого покрытия плиту необходимо наклонить назад, т. е. увеличить угол атаки.

Поперечный уклон дорожного покрытия задается регулятором поперечного профиля, который позволяет изменять угол между левой и правой половинами выглаживающей плиты.

Выглаживающая плита оснащается нагревателями, которые предназначены для ее обогрева в начале работы асфальтоукладчика. Очень важно, чтобы основание плиты имело такую же температуру, как и асфальтобетонная смесь, находящаяся под ней. В противном случае слой смеси будет прилипать к основанию плиты и «разрываться». Продолжительность нагрева плиты зависит от температуры воздуха. Необходимо следить за тем, чтобы не произошло перегрева плиты, так как это приведет к необратимому ее деформированию. После прогрева плиты в процессе укладки смеси нагреватели отключают.

Перед укладкой асфальтобетонной смеси асфальтоукладчик подготавливают к работе. Вначале устанавливают вибрационную (выглаживающую) плиту в рабочее положение. Для этого под нее укладывают шаблон, толщина которого на 10–15% больше проектной толщины покрытия. С помощью

регулирующих винтов плиту опускают так, чтобы между ней и шаблоном не оставалось просветов. Зафиксировав положение винтов, шаблон убирают. Затем осматривают другие органы асфальтоукладчика, для чего поднимают боковые стенки приемного бункера, осматривают винтовой конвейер и трамбуемый брус, устанавливают шиберные заслонки в положение, соответствующее толщине укладываемого слоя.

Укладывать асфальтобетонные смеси следует на всю ширину покрытия или на отдельных полосах, ширина которых кратна ширине покрытия. В последнем случае, уложив одну полосу, переходят на соседнюю, пока чрезмерно не остыла кромка ранее уложенной полосы.

Для обеспечения качества укладки асфальтобетонной смеси необходимо периодически проверять и регулировать элементы уплотняющего оборудования (табл. 3.21). Проверки 1 и 2 проводят один раз в сезон, проверку 3 – при отклонении поперечного уклона покрытия от проектного.

Сменная эксплуатационная производительность асфальтоукладчика, т/смену, определяется по формуле

$$\Pi = 60 T_{\text{см}} k_{\text{в}} B h \nu \rho, \quad (10.1)$$

где $T_{\text{см}}$ – продолжительность смены, ч; $k_{\text{в}}$ – коэффициент использования машины по времени; h – толщина укладываемого слоя, м; B – ширина укладываемой полосы, м; ρ – требуемая плотность асфальтобетонной смеси, т/м³; ν – рабочая скорость укладчика, м/мин.

Таблица 3.21

Технические характеристики к регулировкам рабочего оборудования асфальтоукладчика

Проверяемая величина	Технические требования	Метод проверки, оборудование и инструмент	Примечание
1-я проверка			
Зазор между трамбуемым брусом и торцом плиты	Зазор должен находиться в пределах 0,5–1,0 мм	Регулирование производится отжимным болтом. Зазор проверяют щупом	Если брус отодвинется от торца плиты на величину более 1 мм, то это пространство будет заполняться смесью, что приведет к интенсивному износу плиты и бруса. При зазоре менее 1 мм увеличивается нагрузка на ременную передачу
2-я проверка			
Опускание ножа трамбуемого	Трамбующий брус должен опускаться	Регулировка производится	Если нож бруса не будет опускаться ниже

бруса относительно основания плиты	ниже основания плиты на 0,4 мм	сменой прокладок под подшипниками эксцентрикового вала	основания плиты, то она будет быстро изнашиваться. Если трамбующий брус будет установлен слишком низко по отношению к плите, то смесь будет накапливаться на плите за трамбующим брусом
3-я проверка			
Угол между левой и правой половинами плиты	Величина угла должна соответствовать проектному значению	Регулировка производится с помощью устройства по установке поперечного профиля. Угол проверяют шаблоном	

Автоматическая стабилизация положения рабочих органов асфальтоукладчика. Автоматическая система управления положением рабочих органов (плиты и трамбующего бруса) предназначена для получения ровного слоя покрытия в продольном направлении с заданным углом поперечного уклона. При этом повышается качество укладки смеси и увеличивается производительность асфальтоукладчика.

При движении асфальтоукладчика по неровному основанию возникает перекося корпуса машины в продольном и поперечном направлениях и соответственно углов наклона плиты. Система автоматизации по сигналам, полученным от датчиков с помощью гидравлических исполнительных механизмов, изменяет положение передних шарниров лонжеронов таким образом, что происходит восстановление углов наклона выглаживающей плиты.

По кинематической схеме асфальтоукладчика положение рабочих органов при автоматическом управлении определяется двумя гидроцилиндрами привода (левым и правым) лонжеронов. Поэтому для автоматической стабилизации рабочих органов одновременно в схему работы должны быть включены два датчика. В зависимости от условий работы асфальтоукладчика это могут быть либо два датчика продольного профиля, либо один датчик продольного профиля, устанавливаемый с правой или левой стороны машины, и датчик угла, устанавливаемый на балке поперечного профиля.

При работе с автоматизированным асфальтоукладчиком устанавливают базу для следящей системы – копирующую струну, которая служит указателем уровня и направления движения асфальтоукладчика. Она также является исходной базой для установки и регулирования рабочих органов асфальтоукладчика перед началом работ.

Тщательное выполнение всех операций по установке копирных струн – важнейшее условие обеспечения проектной толщины и профиля асфальтобетонного покрытия. Эти работы выполняет отдельное звено рабочих, которыми руководит инженер-геодезист.

В начале и конце захватки устанавливают нивелировочные рейки 2 (рис. 3.16), затем через каждые 15 м в створе – все промежуточные рейки.

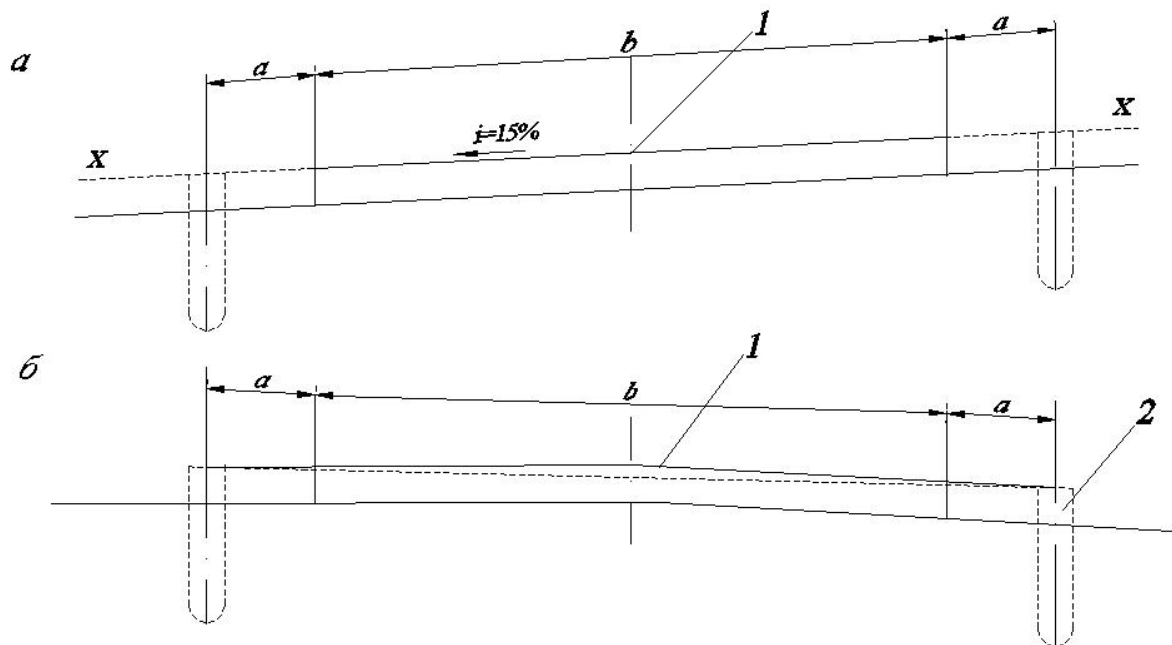


Рис. 3.16. Схема установки нивелировочных реек: *а* – при односкатном поперечном профиле; *б* – то же, при двускатном; 1 – покрытие; 2 – нивелировочные рейки; *х-х* – плоскость, проходящая через поверхность покрытия и нивелировочных реек; *а* – расстояние от нивелировочной рейки до кромки покрытия; *б* – ширина покрытия

Для определения уровня покрытия, как в поперечном, так и в продольном направлениях ведут высотную разбивку (выставляют рейки 2 под нивелир и закрепляют). При окончательной установке верх рейки должен находиться в одной плоскости с поверхностью покрытия. Рейки обозначают линии копирных струн в плане и служат реперами, от которых измеряют высоту *А* установки струны (рис. 3.17).

После этого устанавливают стойки 1, на них надевают трубки 8, в которых выполнены два отверстия: одно для стойки, другое для поперечной штанги. В прорези 7 на конце штанги проходит струна. Положение прорези над рейками по высоте измеряют шаблоном, а совмещение прорезей со створом реек проверяют теодолитом.

Затем натягивают копирные струны. Для этого устанавливают натяжной барабан и закрепляют на якоре перед первой стойкой на расстоянии 10–12 м и 300 мм в сторону от линии нивелировочных реек 3.

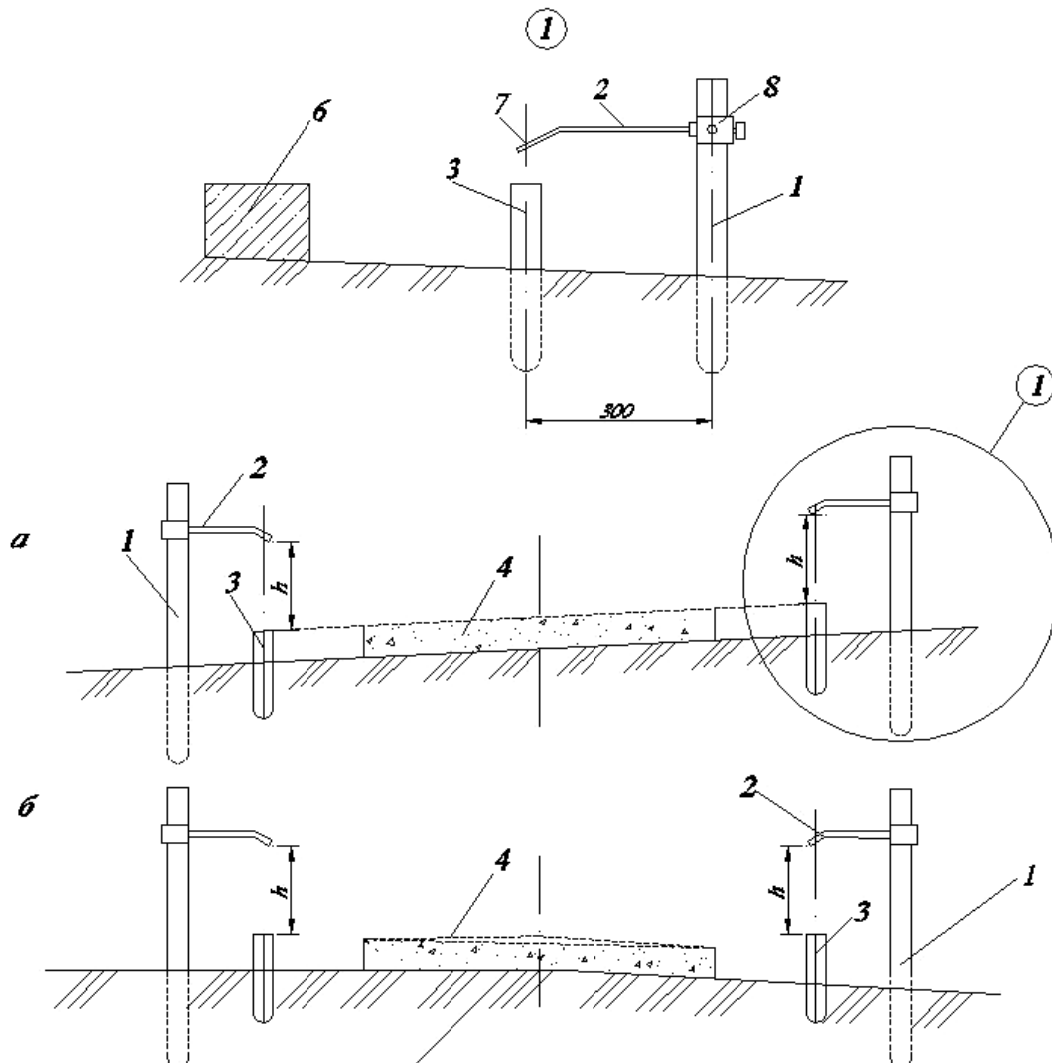


Рис. 3.17. Расположение копирных струн: *а* – при односкатном поперечном профиле; *б* – то же, при двускатном; 1 – металлические стойки; 2 – штанги; 3 – рейка; 4 – верх покрытия; 5 – линия, проходящая через край кромки покрытия; 6 – покрытие; 7 – прорезь для струны; 8 – трубочина (1 – узел закрепления стойки)

Натягивают копирную струну вручную, насколько это возможно, и прикрепляют ее к барабану. На нем оставляют запас струны 10–12 м. После этого струну натягивают барабаном и вставляют ее в прорези поперечных штанг. Струна должна лежать в прорезях свободно и не выпадать из них.

Чтобы струна проходила на одинаковой высоте от реек, установленных под отметку, регулируют ее положение в продольном профиле с помощью деревянного шаблона. Затем проверяют положение струны в плане.

Для соблюдения требуемого профиля покрытия копирную струну устанавливают с двух сторон покрытия. Однако при укладке второй полосы эту струну может заменить готовое покрытие, по которому скользит рычаг преобразователя системы автоматического управления.

При использовании асфальтоукладчиков без системы автоматического управления для соблюдения требуемого профиля и отметок непосредственно перед укладкой выставляют контрольные маяки из асфальтобетонной смеси, слегка уплотненной; толщина маяков должна быть равна толщине укладываемого слоя в неуплотненном состоянии. Если асфальтоукладчик не оборудован скользящими формами, то для упора укладываемой смеси устанавливают бруссы, которые укрепляют со стороны обочины металлическими анкерами.

Соединение асфальтобетонных полос. При строительстве асфальтобетонных покрытий встречается два типа соединения полос: поперечный стык, когда укладку полосы прерывают более чем на час; продольный стык, который выполняют при укладке продольных смежных полос, т. е. одна полоса примыкает к ранее уложенной.

Поперечные стыки. При прекращении укладки асфальтобетонной смеси на достаточно длительный период необходимо подготовить конец уложенной полосы к устройству поперечного стыка для последующего ее продолжения. Такой стык можно сделать несколькими способами. Выбор способа зависит от того, будет или нет осуществляться по уложенной полосе движение транспорта в период между окончанием и возобновлением строительства.

Если движения через конец уложенной асфальтобетонной полосы не будет, то его можно подготовить к соединению в простой стык с новой полосой. Если движение будет, то необходимо устраивать клиновой стык.

Место устройства стыка определяется временем, когда количество смеси в винтовой камере уменьшается настолько, что снижается давление смеси на плиту, и она в результате этого постепенно опускается, уменьшая толщину укладываемого слоя. На практике обычно стремятся выработать всю смесь, находящуюся в приемном бункере, и в конце полосы устраивают стык. В этом случае толщина укладываемого слоя будет отличаться от проектной.

Чаще устраивают простой стык. Для этого по всей ширине уложенной полосы делают вручную вертикальный срез в конце полосы. При этом необходимо не повредить покрытие, которое остается до линии стыка. Смесь, отделенную после линии стыка, отправляют в переработку.

Укатку уложенной полосы до линии стыка производят обычным способом. Причем необходимо, чтобы катки уплотняли смесь непосредственно до линии стыка. Чтобы качественно выполнить эту операцию в конце полосы, нужно положить доски для схода катка. Толщина досок должна быть равна толщине уплотненного слоя. Доски должны быть достаточно широкими и длинными, чтобы на них мог полностью расположиться валец катка.

Если по уложенному слою будет осуществляться движение транспорта, то его кромку необходимо подготовить к устройству поперечного клинового стыка. В этом случае можно вырабатывать всю смесь, находящуюся в приемном бункере.

По линии поперечного стыка смещают асфальтобетонную смесь в сторону от уложенного слоя таким образом, чтобы сформировать вертикальную кромку уложенной полосы. Затем на основание укладывают бумагу, к поверхности которой не прилипает смесь. Полоса бумаги должна быть достаточно широкой (800–1200 мм), чтобы в дальнейшем при уплотнении асфальтобетонного клина не произошло сдвига смеси по бумаге. Как только уложили бумагу, на нее лопатой набрасывают ранее отодвинутую смесь и формируют из нее клиновой скат с помощью шаблона и граблей (рис. 3.18).

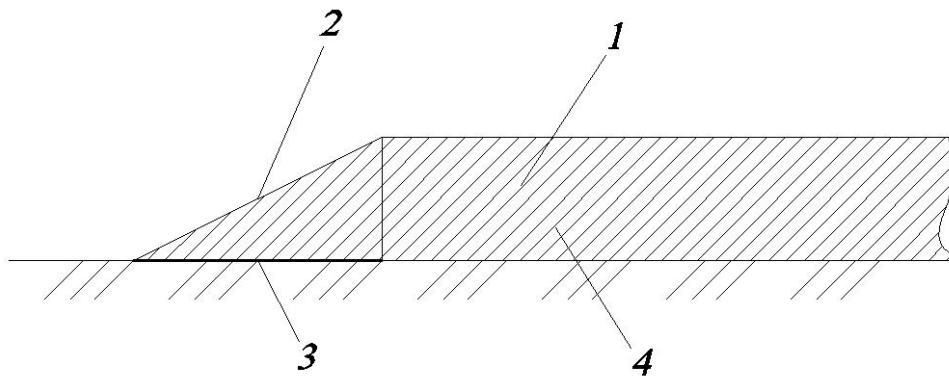


Рис. 3.18. Клиновой стык: 1 – асфальтобетонная полоса; 2 – поперечный клин; 3 – бумага; 4 – дорожное основание

Поперечный клиновой стык можно создать с помощью доски, имеющей ту же толщину, что и уплотненный асфальтобетонный слой. В этом случае лопатой удаляют смесь по линии поперечного стыка. Со стороны уложенной полосы формируют вертикальную кромку, к которой укладывают вплотную доску. Затем удаленную ранее смесь подсыпают лопатой к доске (в продолжение доски) и формируют из нее клиновидный скат от верхней кромки доски к основанию. Таким образом, транспорт будет наезжать на кромку конца полосы, затем двигаться по доске и спускаться по клиновидному скату. Чтобы движущийся транспорт не выбивал доску из покрытия, она должна быть ровной.

Удаление ската. Если на месте поперечного соединения устроен клиновой стык, то до начала работ по продолжению укладки смеси необходимо удалить созданный скат. Клиновой стык, выполненный с помощью специальной бумаги, не имеет сцепления с основанием и легко удаляется. На стыке остается вертикальная стенка уплотненной полосы. Если клиновой стык был выполнен с помощью доски и асфальтобетонного ската, то последний частично соединяется с поверхностью основания. Чтобы вскрыть такой клиновой слой, необходимо механическое усилие. После удаления асфальтобетонного ската доску снимают, а на стыке остается вертикальная уплотненная кромка ранее уложенной полосы.

Продольные стыки. Срезание кромки для продольного соединения полос. В некоторых случаях для создания качественного продольного стыка необходимо предварительно срезать недоуплотненную часть кромки ранее уложенной асфальтобетонной полосы на расстояние 30–50 мм. Эту операцию выполняют фрезой или режущим диском, прикрепленным, например, к автогрейдеру. После этого нужно обработать горячим битумом образовавшуюся вертикальную поверхность продольного стыка.

Качественного соединения продольных полос можно достичь и без срезания кромки ранее уложенной полосы. Правильное перекрытие полосы, разравнивание и уплотнение смеси вдоль продольного стыка обеспечивает надлежащее качество соединения полос.

Перекрытие полосы. Основным фактором, определяющим создание качественного продольного стыка, является правильное перекрытие новым слоем ранее уложенной полосы. Для этого на ранее уложенную полосу заводят трамбуемый брус и виброплиту на 40–50 мм. Такое перекрытие обеспечивает укладку достаточного количества смеси по линии стыка, что позволяет осуществить качественное уплотнение стыка.

Разравнивание смеси на стыке. Если перекрытие новым асфальтобетонным слоем составляет не более 20–30 мм, то разравнивание смеси на стыке заключается в создании «валика» путем сдвига смеси с ранее уложенной полосы в область стыка. В результате над стыком будет несколько

больше смеси, которая впоследствии будет уплотнена катками. Когда перекрытие будет сделано на большую величину, тогда смеси над стыком окажется больше требуемого количества, что не позволит уплотнить стык в уровень с поверхностью ранее уложенной полосы. Избыток смеси необходимо удалить. Снятую смесь недопустимо разбрасывать по поверхности свежеложенного слоя, так как это изменит его текстуру, а следовательно, транспортно-эксплуатационные показатели. На качество соединения соседних полос оказывает влияние и недостаточное количество смеси над стыком. В этом случае не удастся достичь требуемой плотности в месте соединения.

Чтобы обеспечить требуемое уплотнение смеси, необходимо, чтобы ее уровень над стыком превышал поверхность соседней полосы на величину, равную 2–3 мм на 10 мм толщины укладываемого слоя.

Целесообразно уплотнение стыка начинать с «горячей» полосы с небольшим наездом на «холодную» полосу на расстояние 150–200 мм. В этом случае основное уплотняющее воздействие оказывается на смесь, находящуюся в области стыка. Под этим воздействием смесь подается в сторону стыка до тех пор, пока уровень только что уложенной полосы не сровняется с уровнем соседней. Продольный стык уплотняется эффективнее, чем, если бы каток двигался по «холодной» полосе.

Параллельная укладка полос. При параллельной укладке полос двумя асфальтоукладчиками на качество их продольного соединения оказывает влияние величина перекрытия, которая должна быть не более 30 мм.

В этом случае смесь над стыком не разравнивают. Однако процесс укатки имеет свои характерные особенности. Катки, уплотняющие первую полосу, не должны приближаться к кромке продольного стыка на расстояние меньше чем 150–200 мм. После укладки второй полосы катки, работающие на ней, уплотняют продольный стык с обеих сторон. Такая укладка полос позволяет получить однородное по плотности асфальтобетонное покрытие по всей ширине.

Уплотнение асфальтобетонного слоя. Уплотнение – операция, в процессе которой, асфальтобетонная смесь деформируется сложным образом, приобретая определенную плотность.

Асфальтобетонные смеси следует уплотнять непосредственно после укладки, начиная с той максимально возможной температуры, при которой она не сдвигается под воздействием катков. Особенно это важно при устройстве тонких слоев и в неблагоприятных погодных условиях, так как с повышением начальной температуры смеси увеличивается время ее уплотнения. Толстые слои дольше сохраняют рациональную температуру по условиям их уплотнения. Требуемое качество работ по уплотнению асфальтобетонной смеси может быть обеспечено только при выполнении минимально необходимой общей работы катков (число проходов) и при соблюдении рационального температурного режима смеси на каждом этапе уплотнения: предварительном, промежуточном и заключительном.

На смеси с высокой температурой каток будет «тонуть», образуя волны и трещины, а укатка остывшей смеси будет не только бесполезной, но может оказаться вредной из-за возможных разрушений щебня.

На эффективность уплотнения оказывает влияние соотношение толщины укладываемого слоя и максимального размера зерен заполнителя смеси. Если толщина слоя меньше двух максимальных размеров зерен смеси, то достичь требуемой плотности практически невозможно. Кроме того, поверхность слоя будет иметь неоднородную текстуру вследствие того, что выравнивающая плита асфальтоукладчика будет «тащить» за собой крупные зерна, образуя при этом продольные борозды.

Тип уплотняющего оборудования оказывает принципиальное влияние на степень уплотнения смеси. В практике строительства применяют три типа уплотняющего оборудования: катки статического действия с гладкими вальцами и на пневматических шинах, катки вибрационного действия (виброкатки).

Катки статического действия. Широкое распространение получили самоходные гладковальцовые катки статического действия, которые просты по конструкции и надежны в эксплуатации. Они классифицируются по массе: на легкие – 5–6 т; средние – до 8 т и тяжелые – более 10 т.

Важный фактор качества уплотнения слоя – назначение рациональных режимов работы катка: скорости движения и количества проходов по одному следу.

Чем быстрее движется каток, тем меньше времени он оказывает давление на смесь. В результате в ней могут не полностью развиваться вязкопластичные деформации, определяющие величину изменения плотности после прохода катка.

Катки статического действия должны двигаться со скоростью 1,5–5 км/ч. При выполнении первых проходов принимается минимальная скорость движения 1,5–2,0 км/ч, на промежуточном этапе уплотнения – 3–5 км/ч и на заключительном – 2–3 км/ч.

Синхронность работы асфальтоукладчика и катков обеспечивают изменением скорости укатки или числа проходов катка по одному следу в рекомендуемом диапазоне. Требуемое количество проходов зависит от типа смеси, ее температуры и толщины укладываемого слоя. Чтобы уточнить требуемое число проходов катка по одному следу, необходимо произвести пробную укатку слоя.

Катки на пневматических шинах чаще применяются на промежуточном этапе уплотнения асфальтобетонного слоя, иногда на предварительном и заключительном этапах. Уплотняющее воздействие катка на слой зависит от нагрузки на колесо, давления в шине и ее жесткости. Изменяя давление в шине, можно регулировать величину контактных давлений в зависимости от температурного состояния асфальтобетонной смеси и степени ее уплотнения.

Катки вибрационного действия (виброкатки). Эти катки могут работать в трех режимах: в режиме статического воздействия на уплотняемый материал (вибраторы отключены), в режиме комплексного воздействия (один валец оказывает на материал статическое воздействие, а второй – вибрационное) и в вибрационном режиме (вибраторы на обоих вальцах включены).

Виброкатки оказывают на уплотняемую смесь статическое и вибрационное воздействие. Статическое действие определяется массой, проходящей на валец, а вибрационное – величиной возмущающей силы, обусловленной вращением эксцентриков.

Эффективность уплотнения определяется колеблющейся массой вальца, амплитудой и частотой колебания.

Обычно величина амплитуды составляет 0,2–0,8 мм, а частота колебаний 25–58 Гц. Величина амплитуды колебания зависит от толщины уплотняемого слоя. При уплотнении тонких слоев (40–60 мм) рекомендуется работать на малых амплитудах. С увеличением толщины слоя амплитуду колебания следует повышать.

Частоту колебания вибровальца назначают с учетом типа уплотняемой смеси, ее температуры и скорости движения катка. С ростом содержания

щебня в асфальтобетонной смеси, а также рабочей скорости виброкатка рекомендуется увеличивать частоту колебания вальца.

При использовании асфальтоукладчиков с трамбующим брусом и виброплитой (типов ДС-155, ДС-48, ДС-113, ДС-114) рекомендуется уплотнять смеси высокоплотного и плотного асфальтобетонов типов А и Б, а также пористого и высокопористого с содержанием щебня свыше 40% сначала гладковальцовым катком массой 10–13 т, катком на пневматических шинах массой 16 т или вибрационным катком массой 6–8 т (4–6 проходов), а затем гладковальцовым катком массой 11–18 т (4–6 проходов); смеси плотного асфальтобетона типов В, Г и Д.

Высокопористого песчаного, пористого и высокопористого с содержанием щебня менее 40% сначала гладковальцовым катком массой 6–8 т или вибрационным катком массой 6–8 т с выключенным вибратором (2–3 прохода), а затем гладковальцовым катком массой 10–13 т (6–8 проходов), катком на пневматических шинах массой 16 т или вибрационным катком массой 6–8 т с выключенным вибратором (4–6 проходов) и окончательно – гладковальцовым катком массой 11–18 т (3–4 прохода).

При использовании асфальтоукладчиков с трамбующим брусом и пассивной выравнивающей плитой (типов ДС-126А, ДС-143) следует уплотнять смеси плотного асфальтобетона типов В, Г и Д, а также пористого и высокопористого асфальтобетонов с содержанием щебня менее 40% и высокопористого песчаного сначала гладковальцовым катком массой 6–8 т или вибрационным катком массой 6–8 т с выключенным вибратором (2–3 прохода), затем катком на пневматических шинах массой 16 т (6–10 проходов) или гладковальцовым катком массой 10–13 т (8–10 проходов), или вибрационным катком массой 6–8 т с выключенным вибратором (3–4 прохода) и окончательно – гладковальцовым катком массой 11–18 т (4–8 проходов).

Уплотнение асфальтобетонной смеси должно выполняться при рациональном температурном режиме. При укладке полосы из смеси типов А и Б первые проходы катка необходимо производить сразу же за асфальтоукладчиком.

Смеси типов В, Г и Д начинают уплотнять с некоторым перерывом, продолжительность которого определяется способностью слоя смеси выдерживать уплотняющую нагрузку не сдвигаясь.

Для достижения однородной плотности смеси по всей ширине асфальтобетонной полосы применяют такую схему укатки, которая обеспечивает равномерное распределение уплотняющих воздействий по ее ширине (рис. 3.19). При этом необходимо соблюдать равную величину перекрытия проходов катка.

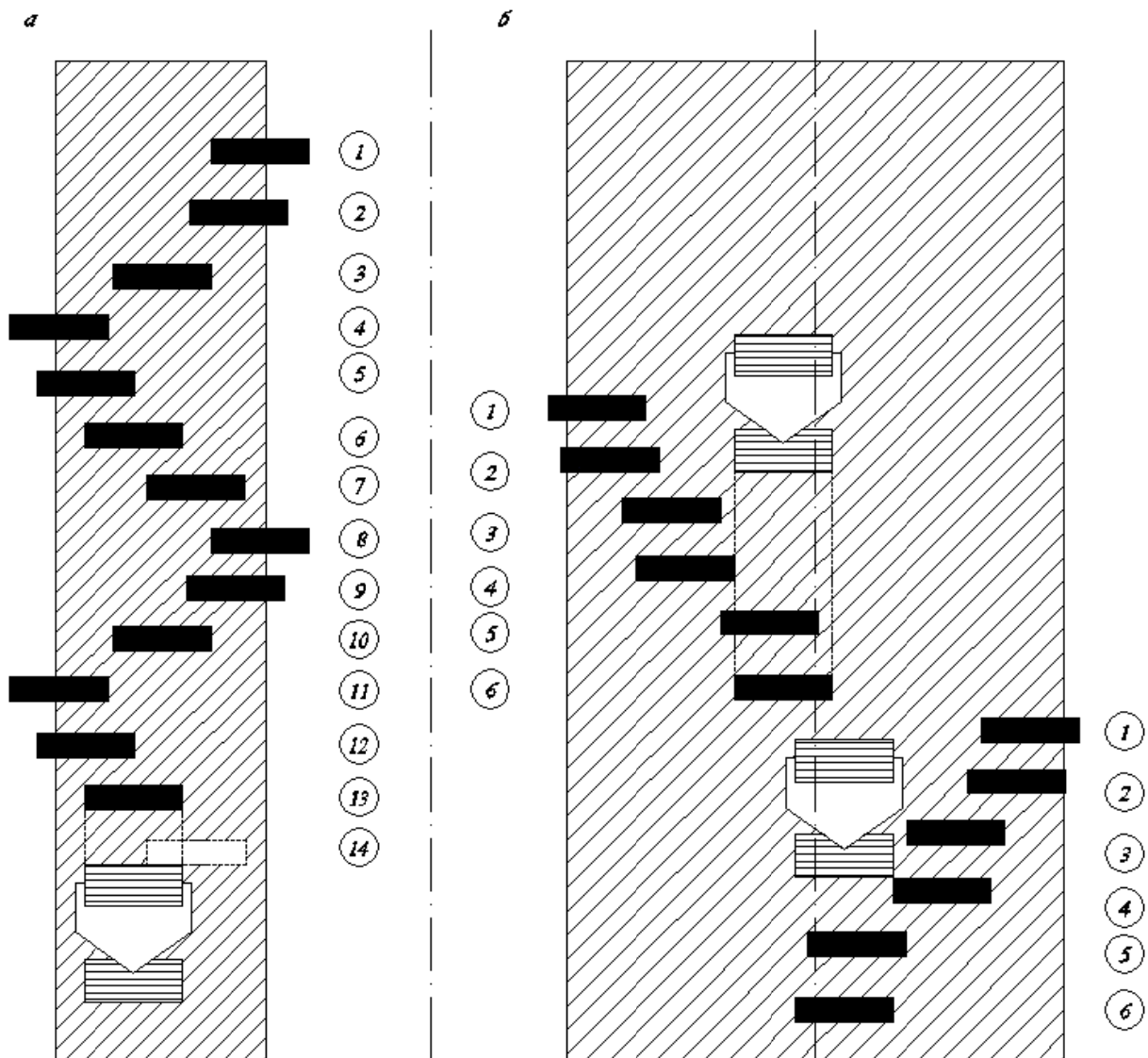


Рис. 3.19. Схема уплотнения асфальтобетонной смеси катками: *a* – при работе одним асфальтоукладчиком; *б* – двумя асфальтоукладчиками или одним на всю ширину покрытия; цифры в кружочках обозначают номера проходов катка; заштрихованная часть – уложенное покрытие

Сменную эксплуатационную производительность катка, $\text{м}^2/\text{смену}$, определяют по формуле

$$\Pi_{\text{см}}^{\text{э}} = T_{\text{см}} B V_{\text{р}} k_{\text{в}} / n, \quad (3.25)$$

где $T_{\text{см}}$ – продолжительность рабочей смены, ч; B – ширина вальца (ширина укатываемой полосы за один проход катка), м; $V_{\text{р}}$ – рабочая скорость катка, м/ч; $k_{\text{в}}$ – коэффициент использования машины по времени; n – количество проходов катка по следу.

Дефекты при строительстве асфальтобетонных слоев и их причины. На качество готового асфальтобетонного покрытия влияет множество факторов. Вся технологическая цепочка и любое ее звено влияют на конечное качество асфальто-бетонного покрытия. На рис. 3.20 показаны основные источники дефектов.

Дефекты покрытия связанные с качеством проектирования и качеством основания автомобильной дороги в рамках данном подразделе не рассматриваются.

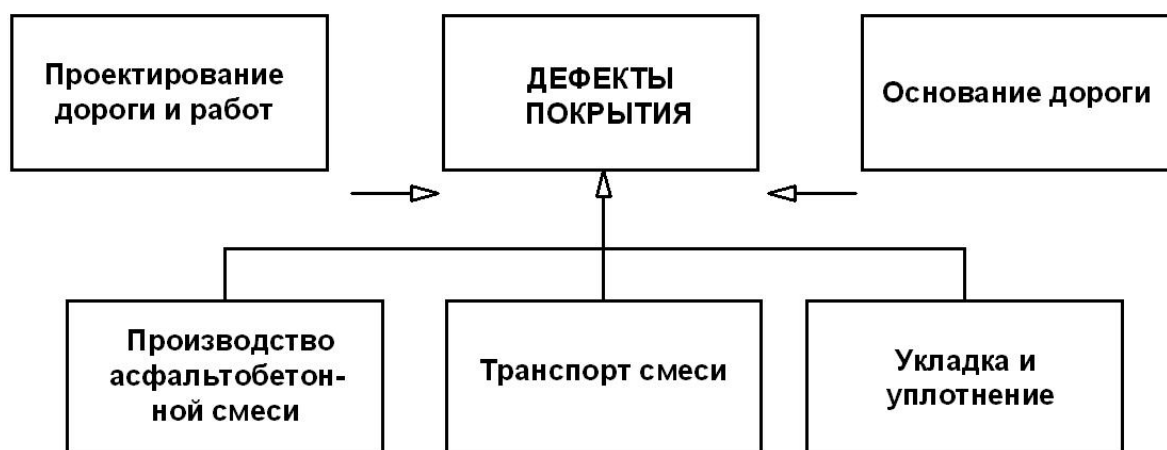


Рис. 3.20. Источники дефектов асфальтобетонного покрытия

При этом можно выделить отдельные составляющие технологической цепочки, значимо влияющие на качество готового покрытия:

Производство асфальтобетонной смеси:

- качество компонентов смеси;
- точность проектирования рецептуры смеси;
- точность соблюдения технологических параметров;
- точность контроля параметров;
- эффективность системы управления производством и качеством продукции;
- условия и сроки хранения готовой смеси на АБЗ.

Транспорт смеси от АБЗ до места укладки:

- время доставки;
- условия окружающей среды;
- ритмичность поставок.

Укладка и уплотнение асфальтобетонной смеси:

- точность соблюдения технологических параметров;
- эффективность системы управления;
- точность контроля параметров;
- условия окружающей среды;

- ритмичность поставок.

Процесс формирования свойств асфальтобетонной смеси и асфальтобетона представлен на рис. 3.21.

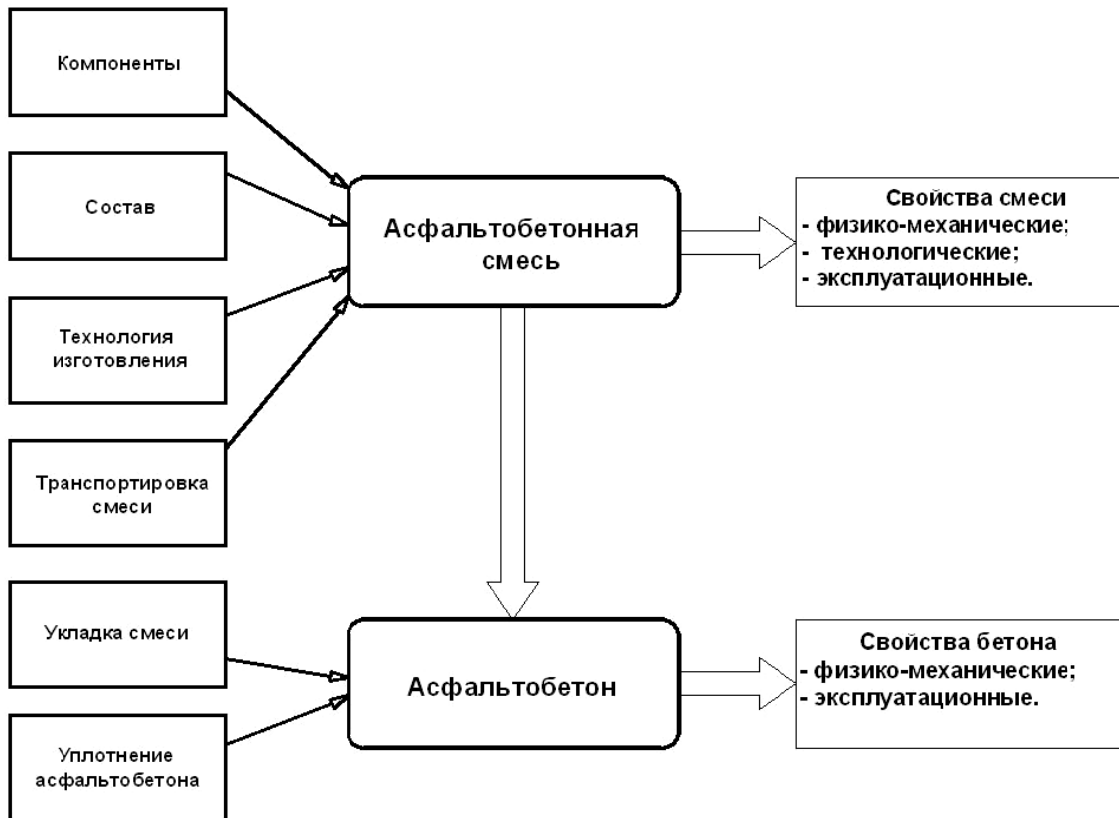


Рис. 3.21. Формирование свойств асфальтобетонной смеси и асфальтобетона

Как видно из анализа на свойства асфальтобетонного покрытия влияют.

- О свойства компонентов смеси;
- О технологические процессы:
 - производства асфальтобетона;
 - транспортировки асфальтобетонной смеси от асфальтобетонного завода до места ее укладки;
 - укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси и формирования асфальтобетона;
- О технология содержания автомобильной дороги;
- О технологических процессов контроля параметров на всех этапах создания и эксплуатации покрытия;
- О качество системы автоматического управления производством;
- О качество проектов всех видов работ и проектирования состава асфальтобетона.

Основные дефекты готового асфальтобетонного покрытия. Для ряда дефектов готового асфальтобетонного покрытия причины их возникновения хорошо известны. Другие дефекты являются следствием совокупного влияния нескольких разнородных факторов. Для некоторых дефектов вообще затруднительно идентифицировать причину [4].

В работе [4] представлен широкий список дефектов готового асфальтобетонного покрытия:

- волнистая поверхность (короткие волны);
- волнистая поверхность (длинные волны);
- разрыв покрытия по всей ширине;
- разрыв покрытия в середине;
- разрыв покрытия по краям;
- неравномерная структура покрытия;
- следы от выглаживающей плиты асфальтоукладчика;
- неровность покрытия;
- поверхностные тени;
- недостаточное предварительное уплотнение;
- некачественный продольный стык;
- некачественный поперечный стык;
- продольные и поперечные трещины;
- сдвиг покрытия при уплотнении катком;
- «жирные» пятна на поверхности покрытия;
- следы катка;
- недостаточное уплотнение покрытия.

Этот список может быть дополнен, например, следующими видами дефектов [4]:

- колейность;
- низкотемпературное растрескивание;
- усталостные разрушения; истирание;
- коррозия.

Дефекты, представленные выше, проявляются в основном в виде видимых (без применения инструментальных методов) признаков. Кроме таких дефектов на практике могут быть проведены соответствующие испытания, в ходе которых определяются характеристики покрытия.

Эффективность содержания автомагистралей в большой мере зависит от объективности и качества показателей, характеризующих состояние дорог. В свою очередь, повышение качества принимаемых решений сопровождается развитием способов сбора объективной информации в том же направлении. При обследовании сети автомобильных дорог необходимо иметь специализированные надежные приборы, которые позволяют в максимальной степени воспроизводить результаты измерений, допускают неразрушающие методы испытаний, высокопроизводительны, не требуют многочисленного персонала, особой предосторожности и сигнализации, не создают

дополнительных трудностей для движения, имеют приспособления для автоматического сбора переработки и предоставления информации. Существующие в России способы и оборудование для контроля состояния автомобильных дорог хорошо известны специалистам и описаны в работе [4].

Неоднозначность связей «причина – следствие» существенно снижает возможность эффективного использования этих оценок для оперативного управления технологическим процессом на АБЗ. С другой стороны эти оценки являются самой оперативной оценкой и не требуют для своей реализации никаких инструментальных средств. В этой ситуации именно простота получения результатов способствует внедрению этих методов оценки в систему управления технологическим процессом на АБЗ.

Технологический контроль и приемка асфальтобетонных покрытий. Каждое организационное звено, участвующее в производственном процессе, должно контролировать правильность реализации запланированных действий.

На стадии входного контроля проверяют соответствие составляющих асфальтобетонную смесь материалов (щебня, песка, минерального порошка, битума) государственным стандартам, подбирают состав смеси и других материалов собственного производства. Определяют их физико-механические показатели. Входной контроль выполняют производственные лаборатории предприятия.

В процессе строительства ведут непрерывный контроль за всеми элементами дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием, проверяя ровность, плотность и чистоту основания, правильность установки боковых упоров или направляющих струн при автоматизированной укладке асфальтобетонных слоев.

Операционный контроль осуществляют в процессе выполнения и по завершении технологических операций. Он должен обеспечивать своевременное выявление дефектов, а также причин, их вызывающих. В результате получают информацию о качественных показателях, на основании которой разрабатывают и реализуют меры по предупреждению и устранению выявленных дефектов.

Выходной контроль выполняют для проверки свойств готовой продукции, оценки ее качества. Последнее оценивают по степени отклонения фактически измеренной величины от требуемой, определяемой входным параметром.

Схема управления качеством охватывает все технологические процессы: приготовление, транспортирование, укладку и уплотнение асфальтобетонной смеси. В процессе приготовления смеси контролируют количество составляющих компонентов, температуру минеральных материалов после сушки и нагрева в сушильном барабане, вяжущего в резервуаре. Определяют температуру готовой смеси и физико-механические свойства асфальтобетона в результате испытания образцов.

Качество продукции оценивают по однородности контролируемого параметра. Так, значения коэффициента вариации C_v при контроле температуры

готовой смеси не должны превышать 0,14, прочности при сжатии 0,17, водонасыщения 0,354, при этом отклонение количества составляющих компонентов от нормативных значений не должны превышать, %: для щебня – 3, песка – 3, минерального порошка – 1,5, битума – 1. Коэффициенты вариации установлены лишь приближенно и требуют проверки и уточнения в различных производственных условиях.

На месте укладки асфальтобетонной смеси постоянно производят контроль температуры, количества укладываемой смеси, толщины слоя, поперечного уклона, ровности, плотности, прочности, однородности асфальтобетонного покрытия по прочности и плотности.

Требуемые геометрические размеры асфальтобетонного покрытия обеспечиваются настройкой рабочих органов асфальтоукладчиков, при этом ширина покрытия не должна отличаться от проектной более чем на 10 %, а поперечный уклон – более чем на 5%. Требуемые физико-механические свойства достигаются в процессе уплотнения соблюдением технологической последовательности выполнения этой операции. К операционным методам контроля относят акустические и радиационные, а также вакуумирование.

ГЛАВА 4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И КОМПЛЕКТОВАНИЕ МАШИН ДЛЯ РЕМОНТА И СОДЕРЖАНИЯ ПРИОБЪЕКТНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

4.1. Машины для содержания капитальных покрытий

В зависимости от времени года различают летнее и зимнее содержание дорог. При летнем содержании проводят комплекс мероприятий, включающий уборку мусора и грязи с покрытия, увлажнение, обеспыливание покрытия, нанесение линий разметки. В состав мероприятий зимнего содержания покрытий входят работы по удалению с покрытия снега и по борьбе с гололедом. Средства механизации, используемые для содержания покрытий, по назначению делятся на две группы:

для летнего содержания покрытий – поливочно-моечные, подметально-уборочные, вакуумно-уборочные машины-пылесосы, а также маркировочные машины и оборудование для разметки покрытий и окраски обстановки;

для зимнего содержания покрытий – снегоочистители, снегопогрузчики, машины для теплового, ветрового, механического и химического воздействия на гололед (аэродромные уборочные машины).

Машины для содержания покрытий, как правило, самоходные, их монтируют на базе автомобилей или колесных тракторов.

В зависимости от продолжительности использования в течение года различают сезонные (например, снегоочистители, снегопогрузчики) и универсальные, применяемые круглый год (подметально-уборочные) ма-

шины. В комплект универсальных машин входит дополнительное навесное и прицепное оборудование.

Средства механизации для летнего содержания дорог и аэродромов. Поливочно-моечные машины предназначены для увлажнения и мойки твердых покрытий всех типов, а также для поливки зеленых насаждений. Кроме того, поливочно-моечные машины могут быть использованы при тушении пожаров. В зимнее время поливочно-моечные машины оснащают плужно-щеточным оборудованием и используют для снегоуборочных работ.

По назначению поливочно-моечные машины разделяют на специализированные поливочные и моечные и наиболее распространенные универсальные поливочно-моечные.

Полливочно-моечные машины базируются на автомобильных шасси, а также на грузовых полуприцепах и прицепах. По типу насосной установки поливочно-моечные машины можно разделить на машины с низким (до 1,0 МПа) и с высоким (более 1,0 МПа) давлением воды. Повышенное давление воды при мойке дорожных покрытий позволяет уменьшить расход воды на единицу площади покрытия вследствие более высокой кинетической энергии водяных струй, однако требует дополнительных конструктивных мер, предупреждающих преждевременное дробление этих струй и их аэродинамическое торможение.

Полливочно-моечные машины оборудованы сменными рабочими органами в виде щелевых поливочных и моечных насадок. Поливочные насадки обычно устанавливают симметрично относительно продольной оси машины, повернутыми вверх под углом 15–20 град. и более к горизонту, и разворачивают в стороны на угол 10 град.

Моечные насадки обычно устанавливают повернутыми вниз под углом 10–12° к горизонту и несимметрично повернутыми вправо относительно продольной оси машины для перемещения смываемых загрязнений с проезжей части дороги в сторону дорожного лотка, откуда загрязнения удаляются с помощью подметально-уборочных машин.

В последнее время на поливочно-моечных машинах применяют принципиально новый вид рабочего органа – водяное сопло для мойки дорожных лотков. Такое сопло позволяет создать при движении машины вдоль лотка перемещающийся водяной вал. Накапливающийся избыток воды с мусором периодически уходит в сточные колодцы ливневой канализации.

Дополнительное оборудование поливочно-моечных машин включает передний косоустановленный отвал снегоочистителя, цилиндрическую подметальную щетку со стальным или синтетическим ворсом. Некоторые зарубежные модели поливочно-моечных машин оборудованы водосгонным косоустановленным ножом, что улучшает качество очистки сильно загрязненных поверхностей и позволяет уменьшить удельный расход воды. Дополнительным также является оборудование для поливки зеленых

насаждений и тушения пожаров. Рабочее оборудование поливочно-моечной машины содержит сварную цистерну с верхней горловиной и нижним центральным клапаном с механическим, гидравлическим и электрогидравлическим управлением из кабины водителя для перекрытия подачи воды к насосу. Центральный клапан оборудован сетчатым фильтром. Центробежный водяной насос с приводом от коробки отбора мощности устанавливают на раме автомобиля. Сечение трубопроводов должно обеспечивать скорость воды не менее 0,2–0,3 м/с при минимальных местных сопротивлениях. Поливочные и моечные насадки имеют шарнирное или конусное крепление для установки под необходимыми углами во взаимно перпендикулярных плоскостях.

Полivочно-моечная машина состоит из цистерны с системой всасывания и подачи воды к распределительным насадкам, трансмиссии, включающей коробку отбора мощности, конический редуктор и цепную передачу; гидравлической системы управления рабочими процессами; дополнительного снегоочистительного оборудования. Цистерна овальной формы сварена из листового проката. Сверху в передней части цистерны расположен люк, обеспечивающий доступ внутрь для ее очистки, обслуживания и ремонта. Внутри цистерны расположены контрольная трубка, трубопровод, фильтр и ряд других элементов системы подачи воды. Для гашения инерции воды при резком изменении скорости движения машины в цистерне установлены специальные волнорезы. Цистерна наполняется из водопроводной сети через заливную трубу, расположенную с правой стороны машины. Для наполнения цистерны на заливную трубу надевают гофрированный резиновый рукав; в транспортном и рабочем положении на его место устанавливают заглушку.

Часовая эксплуатационная производительность поливочно-моечной машины при выполнении основных видов работ, м²/ч,

$$P_0 = 60 V_{\text{ц}} k_{\text{в}} / T_{\text{ц}} q, \quad (4.1)$$

где $V_{\text{ц}}$ – вместимость цистерны, м³; $k_{\text{в}}$ – коэффициент использования машины по времени; $T_{\text{ц}}$ – продолжительность рабочего цикла машины, мин; q – удельный расход воды, л/м² (при мойке $q = 1$ л/м², при увлажнении $q = 0,25$ л/м²).

Продолжительность рабочего цикла, мин,

$$T_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad (4.2)$$

где t_1 – продолжительность розлива одной цистерны при мойке или увлажнении покрытия, мин; t_2 – продолжительность наполнения цистерны, мин; t_3 – продолжительность переездов от места работы к месту заполнения цистерны и обратно с учетом потерь на маневрирование, мин; t_4 – время, необходимое для

выполнения вспомогательных операций (монтажа и демонтажа оборудования, подготовки машины к работе). Продолжительность розлива одной цистерны, мин,

$$t_1 = V_{\text{ц}} k_{\text{р.м}} / 60qBv, \quad (4.3)$$

где $k_{\text{р.м}}$ – коэффициент, характеризующий равномерность движения машины во время работы (при проведении моечных работ $k_{\text{р.м}} = 1$, при увлажнении $k_{\text{р.м}} = 1,2$); B – ширина захвата, м (при мойке $B = 5\text{--}8$ м, при увлажнении $B = 14\text{--}18$ м); v – рабочая скорость машины, м/с.

Продолжительность наполнения цистерны водой, мин,

$$t_2 = V_{\text{ц}} t_{\text{ц}} / 1000, \quad (4.4)$$

где $t_{\text{ц}}$ – продолжительность закачки 1 м^3 воды в цистерну, мин.

Подметально-уборочные машины предназначены для удаления загрязнений с твердых дорожных и аэродромных покрытий, очистки городских территорий от пыли, грязи и мелкого мусора. Загрязнения на дорожном покрытии увеличивают проскальзывание колес автомобильного транспорта, особенно в сырую погоду. Качественная очистка дорожных покрытий может повысить коэффициент сцепления колес с дорогой на 12–15 % и среднюю скорость движения транспорта.

Подметальные машины отделяют и перемещают смет без его подборки косоустановленной цилиндрической щеткой в сторону от направления движения машины, поэтому их используют преимущественно для уборки загородных дорог, внутренних территорий и для уборки снега в зимний период.

Более высокое качество очистки обеспечивают вакуумно-уборочные машины, оснащенные вакуумным подборщиком и пневматической системой транспортирования смета в бункер–накопитель, и вакуумно-подметальные машины, на которых вакуумный подборщик используют в комбинации с подметальными щетками. По качеству очистки вакуумно-подметальные машины имеют преимущество, так как щетки эффективно подают смет в вакуумный подборщик. Однако вакуумно-уборочные машины могут работать на более высоких скоростях с большей производительностью, поскольку скорость их движения не ограничена максимальной скоростью взаимодействия ворса щеток с дорогой. Мощные вакуумно-уборочные машины применяют для летней очистки аэродромов наряду со струйными уборочными машинами, оснащенными газоструйным соплом и аналогичным по конструкции газоструйным снегоочистителем. Общим недостатком машин с вакуумным подборщиком или газоструйным соплом является высокая энергоемкость рабочего процесса.

Рабочие органы подметально-уборочных машин бывают с цилиндрическими, коническими (лотковые) и ленточными щетками. Цилиндрические щетки диаметром окружности вращения до 1 м имеют горизонтальную ось вращения. Конические (лотковые) щетки с расположением ворса по образующей поверхности конуса с углом при вершине примерно 60 град. и осью вращения, наклоненной под углом 5–7 град. к вертикали, предназначены для направленного отброса смета. Наименее распространены вследствие малой надежности и эффективности ленточные щетки в виде бесконечной цепи с закрепленными на ней щеточными секциями, которые одновременно с отделением смета от дороги транспортируют его в бункер.

На малогабаритных машинах для уборки тротуаров, особенно с навесным и прицепным рабочим оборудованием, используют одноступенчатую систему транспортирования смета в бункер непосредственно ворсом щетки – прямым забросом, если бункер расположен позади щетки (рис. 4.1) – обратным забросом «через себя». Для этих способов характерна малая вместимость бункера (до 1 м³). Кроме того, последний способ требует более высокой окружной скорости щетки и компенсации износа ворса. Наиболее широко используют многоступенчатое механическое транспортирование смета с параллельным оси вращения цилиндрической щетки винтовым подборщиком и цепочно-скребковым конвейером. Недостаток такой системы заключается в ее низкой надежности и большой металлоемкости.

Перспективным является механическое транспортирование смета в бункер промежуточным лопастным метателем. При щеточно-вакуумном (пневматическом) транспортировании вспомогательная цилиндрическая щетка уменьшенного диаметра подает смет в вакуумный подборщик; на машинах может быть также установлен промежуточный конвейер. В струйно-вакуумном подборщике щеточный ворс заменен сдувающими соплами, воздушные потоки которых обеспечивают отрыв загрязнений от дорожного покрытия и перемещение их к всасывающему трубопроводу. Отделение крупного смета в бункере обеспечивается гравитационным способом. Пылеватые частицы задерживаются тканевыми фильтрами с устройствами для их периодической регенерации встряхиванием, вибрацией, обратной продувкой и др. При струйно-вакуумной системе транспортирования через фильтр в атмосферу выбрасывается не более 20–25% воздуха, остальная его часть без очистки от пыли подается в сдувающие сопла, частично замыкая систему циркуляции воздуха.

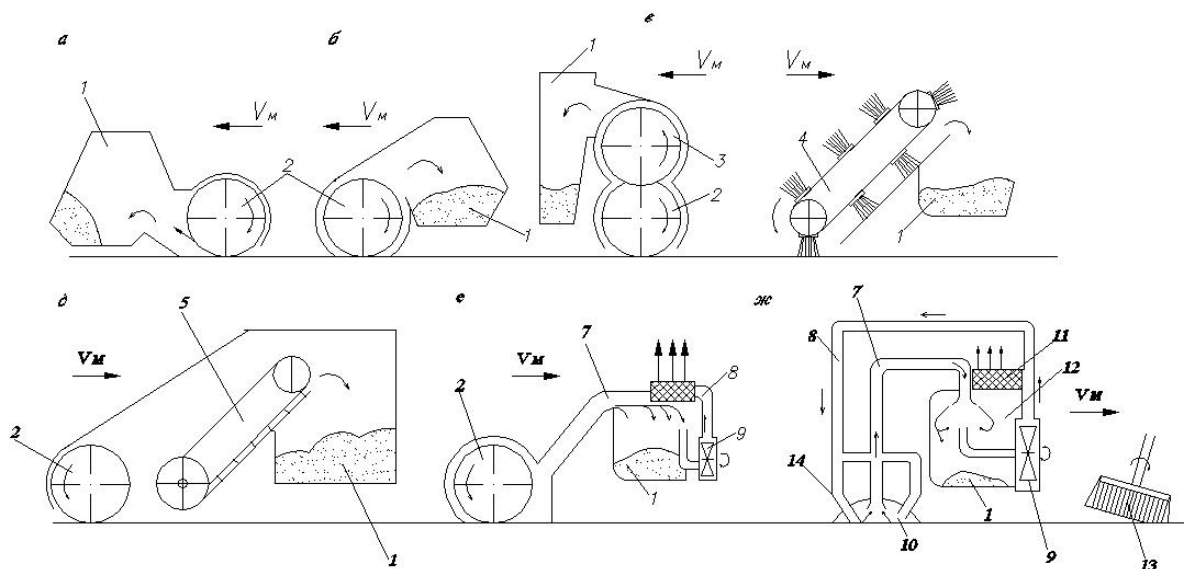


Рис. 4.1. Схемы рабочего оборудования подметально-уборочных машин: *а* – с прямым забросом смета; *б* – с обратным забросом смета; *в* – с забросом смета лопастным метателем; *г* – с забросом смета ленточной щеткой; *д* – с винтовым и цепочно-скребковым конвейерами; *е* – со щеточно-вакуумным подборщиком и гравитационным отделением смета; *ж* – со струйно-вакуумным подборщиком и инерционным отделением смета; 1 – бункер; 2 – цилиндрическая щетка; 3 – лопастной метатель; 4 – ленточная щетка; 5 – скребковый конвейер; 6 – винтовой конвейер; 7 – всасывающий трубопровод; 8 – напорный трубопровод; 9 – вакуумный вентилятор; 10 – вакуумный подборщик; 11 – фильтр; 12 – циклон; 13 – коническая щетка; 14 – сдувающие сопла

Различают следующие способы разгрузки подметально-уборочных машин: гравитационный, когда смет высыпается из бункера под действием собственного веса при открытии люка или задвижек; самосвальный – поворотом бункера или контейнера; принудительный – эжектированием вбок или назад с помощью подвижной стенки – выталкивателя с механическим или гидравлическим приводом. При небольшой вместимости бункера (до 2–3 м³) целесообразна разгрузка смета непосредственно на обслуживаемом участке, поэтому некоторые машины оборудуют сменными стандартными контейнерами, а также механизмами выгрузки смета в контейнеры или приемный бункер мусоровоза. В качестве дополнительного оборудования подметально-уборочных машин используют выносной вакуумный подборщик для уборки опавших листьев и загрязнений из труднодоступных мест, электромагнитный брус для подбора металлического мусора на шоссе́йных дорогах и аэродромах и др.

По способу обеспыливания воздушной среды при подметании различают влажное обеспыливание путем мелкодисперсного разбрызгивания воды под давлением 0,2–0,3 МПа через форсунки перед подметальными щетками и пневматическое обеспыливание, совмещенное с вакуумной системой транспортирования смета. Норма расхода воды при влажном обеспыливании 0,02–0,025 кг на 1 м² поверхности дороги; при увеличении расхода смет прилипает

к щетке и дорожному покрытию и снижается качество подметания. Перспективным является термовлажное обеспыливание подачей водяного пара в зоны интенсивного пылеобразования.

В качестве базовых машин для монтажа подметально-уборочного оборудования применяют маневренные автомобили малой и средней грузоподъемности, самоходные шасси, колесные тракторы и одно- или двухосные прицепы.

Техническая часовая производительность подметально-уборочной машины, $\text{м}^2/\text{ч}$,

$$\Pi_T = 60(B - b)v, \quad (4.5)$$

где B – ширина полосы захвата, м ($B = 2,0\text{--}2,8$ м); b – ширина перекрытия полос при смежных проходах, м; v – рабочая скорость движения машины, м/мин ($v = 83,3\text{--}383,3$).

При расчете эксплуатационной производительности необходимо учитывать потери времени на подготовку оборудования машины к работе:

$$\Pi_э = 60(B - b)vk_в. \quad (4.6)$$

Коэффициент использования машины по времени:

$$k_в = (t_p + t_з + t_о + t_{п} + t_{вс})/t_p, \quad (4.7)$$

где t_p – продолжительность рабочего цикла машины, численно равная времени заполнения бункеров, мин; $t_з$, – продолжительность заполнения бака для воды, мин; $t_о$ – продолжительность опорожнения бункера, мин; $t_{п}$ – продолжительность переездов машины к месту заполнения водой, опорожнения бункера и обратно, мин; $t_{вс}$ – время на вспомогательные операции по подготовке машины к работе, мин.

Производительность подметально-уборочной машины с вакуумно-пневматической системой обеспыливания рассчитывают аналогично, но при этом из расчетных формул исключают величины, связанные с работой системы увлажнения.

Маркировочные машины предназначены для нанесения линий разметки дорожных и аэродромных покрытий, обозначения взлетно-посадочных полос, рулевых дорожек, мест стоянок и перронов, а также для окраски элементов обстановки. Маркировочные машины применяют для разметки предварительно очищенных, сухих асфальто- и цементнобетонных покрытий в условиях умеренного климата при температуре воздуха от 5 до 40°C.

Выпускают маркировочные прицепные, используемые при малых объемах работ, и самоходные, смонтированные на колесном тракторном или автомобильном шасси, машины.

По типу разметочных материалов и способу нанесения разметки наиболее распространены машины, работающие на лакокрасочных и термопластичных материалах. Основной принцип действия таких машин заключается в распылении красящего материала форсункой (краскораспылителем) под действием сжатого воздуха. Сжатый воздух подается компрессором в ресивер, из которого через масловлагоотделитель по системе трубопроводов и распределительные краны поступает в баки для краски, в бак для растворителя, к форсунке, а также к выносному пистолету-краскораспределителю. Машины для нанесения, разметки термопластичной массой работают следующим образом. Материал для нанесения разметочных линий разогревается в специальных котлах до температуры текучести и самотеком поступает к рабочему органу. Рабочий орган (маркер, расположенный под платформой машины с левой стороны) предназначен для нанесения термопластика на покрытия. Он представляет собой небольшую емкость с заслонкой, открываемой гидроцилиндром. Для обеспечения установленной температуры термопластика в полых стенках маркера циркулирует индустриальное масло, разогретое в котлах газовой системой подогрева. Остальное оборудование маркировочных машин не зависит от способа нанесения разметочного состава на покрытие, поэтому принципиальных конструктивных различий не имеет.

Для ориентирования маркировочной машины при движении ее по заранее размеченной линии служит визирное устройство, устанавливаемое на бампере автомобиля. Визирное устройство состоит из двух телескопических штанг, опорного колеса и визира. Телескопическое соединение штанг позволяет устанавливать опорное колесо с визиром в любой точке, удобной для водителя. В транспортном положении визирное устройство поднимают и закрепляют на бампере. Обслуживающий персонал самоходных маркировочных машин состоит из двух человек: водителя и оператора. Рабочее место оператора расположено в задней части автомобильной платформы и оборудовано пультом, на котором смонтированы контрольно-измерительные приборы и органы управления маркером.

Процесс разметки осуществляется автоматически. Блок автоматического управления форсунками или заслонкой маркера расположен на пульте оператора и позволяет набирать любую из типовых программ разметки. Подъем рабочего оборудования в транспортное и опускание в рабочее положение происходит с помощью гидро- или пневмоцилиндра, укрепленного на раме автомобиля.

Производительность маркировочных машин определяется рабочей скоростью движения автомобиля при нанесении разметочных линий ($V = 0,556\text{--}6,944$ м/с) и зависит от характера разметки, состава разметочного материала и способа нанесения его на покрытие.

Средства механизации для зимнего содержания дорог и аэродромов. Снегоочистители – машины, применяемые при зимнем

содержании покрытий дорог и аэродромов и предназначенные для удаления свежеснежавшего и уплотненного снега. Специальное оборудование снегоочистителей, применяемых при содержании аэродромных покрытий, монтируют на базе автомобилей или колесных тракторов, а также на специальных шасси.

Снегоочистители в зависимости от типа рабочего органа бывают плужные с пассивным и роторные – с активным рабочим органом (рис. 4.2).

Плужные снегоочистители используют при расчистке покрытия от свежеснежавшего или малоуплотненного снега при толщине снежного покрова до 0,3 м и плотности до $0,35 \text{ г/см}^3$. По типу рабочего органа различают одно- и двухотвальные плужные снегоочистители. Специальное оборудование плужного снегоочистителя состоит из одно- или двухотвального рабочего органа, рамы, опорного устройства и механизма подъема и опускания плуга.

Рабочий орган плужного снегоочистителя представляет собой отвальную поверхность, выполненную из стального листа, с ножами-лемехами, укрепленными в нижней части. Рабочий орган навешивается на раму, укрепляемую на бампере базовой машины. Рама одноотвального снегоочистителя обеспечивает возможность поворота рабочего органа на угол 35–40 град. к оси машины.

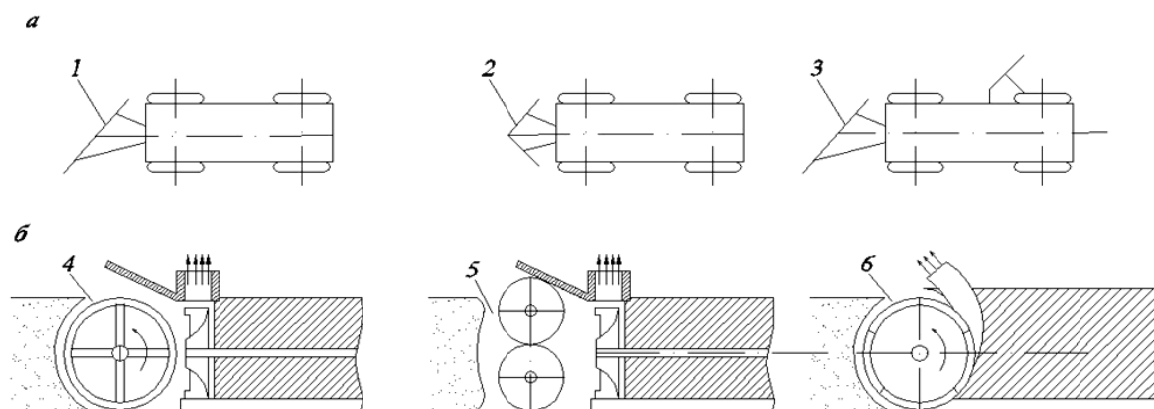


Рис. 4.2. Схемы снегоочистителей: *а* – с пассивным рабочим органом; *б* – с активным рабочим органом; 1 – одноотвальным; 2 – двухотвальный; 3 – одноотвальный с боковым крылом; 4 – фрезерно-роторный; 5 – винтороторный; 6 – комбинированный

Роторные снегоочистители предназначены для расчистки твердых покрытий от больших масс уплотненного снега, удаления снежных валов с погрузкой снега в транспортные средства. В отличие от плужных роторные снегоочистители имеют активный рабочий орган, с помощью которого вырезают снег из общего массива и отбрасывают его в сторону на большое расстояние. Высота слоя снега, убираемого роторным снегоочистителем, составляет 1,3–1,5 м в зависимости от конструкции машины при плотности снега до $0,5 \text{ г/см}^3$. В зависимости от конструкции рабочего органа различают

винтороторные и фрезернороторные снегоочистители (рис. 4.3). Наибольшее распространение получили винтороторные снегоочистители, предназначенные для очистки дорог и аэродромов от снега путем роторного разгона и перемещения по баллистической траектории за пределы очищаемой поверхности или через направляющий аппарат в кузов транспортного средства. Главный параметр роторных снегоочистителей – производительность, по которой их разделяют на легкие (производительность до 200 т/ч), средние (до 1000 т/ч) и тяжелые (более 1000 т/ч); средняя ширина захвата роторных снегоочистителей 2,5–3,2 м; толщина разрабатываемого снежного покрова до 1,2–2 м; дальность отбрасывания снега дорожными снегоочистителями 18–20, аэродромными – 50–60 м; рабочая скорость снегоочистителей 0,3–5 км/ч.

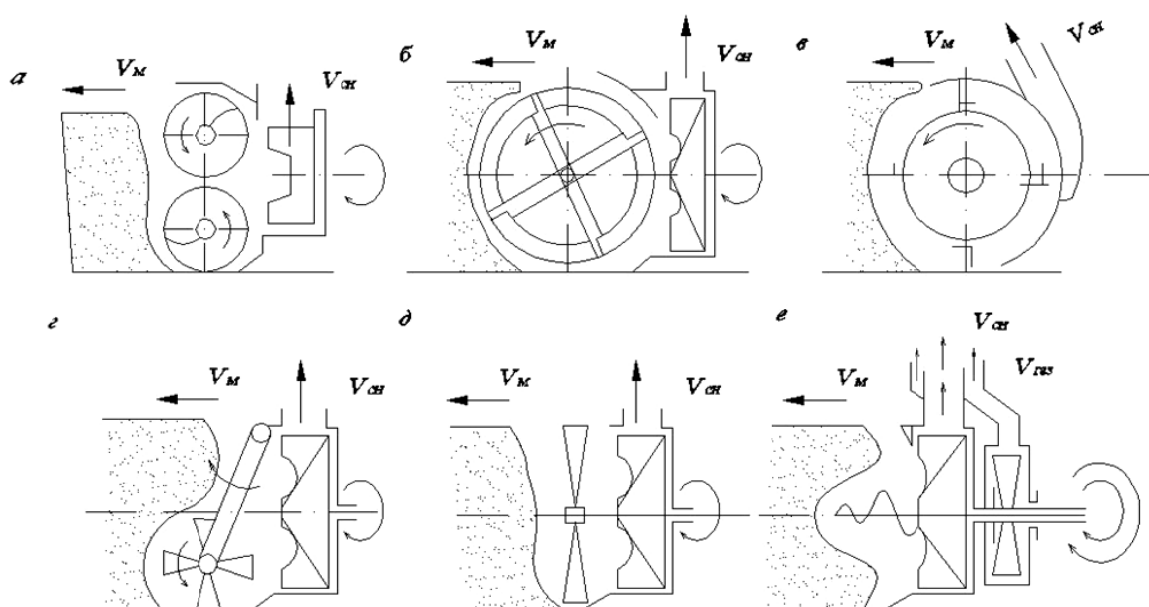


Рис. 4.3. Рабочие органы роторных снегоочистителей: *а* – винтороторный; *б* – с ленточной фрезой; *в* – с барабанной фрезой; *г* – с рыхлящим валом; *д* – с пропеллером; *е* – с выступающим винтовым конвейером и газоструйной интенсификацией отбрасывания снега; V_M ; $V_{сн}$; $V_{газ}$ – соответственно направление движения машины, снега, струи газа

Для разработки снега средней плотности ($\rho_{сн} = 200\text{--}300 \text{ кг/м}^3$) применяют винтороторные снегоочистители с двумя винтовыми питателями и более, расположенными в вертикальной плоскости, параллельной оси движения машины. Винтовые конвейеры транспортируют снег к середине рабочего органа и забрасывают его в расположенный с тыльной стороны роторно-лопастной метатель. Винтовые конвейеры питателя могут быть установлены как горизонтально, так и под углом к поверхности дороги. Снег большой плотности ($\rho_{сн} > 300 \text{ кг/м}^3$) целесообразно разрабатывать фрезернороторными снегоочистителями или фрезерными совмещенного действия, у

которых достаточно высокая окружная скорость фрезы обеспечивает одновременно выброс снега через направляющий патрубок в заданном направлении без использования отдельного лопастного ротора. Фрезерный питатель выполнен в виде трех- или четырехзаходной фрезы ленточного (пустотелой) или барабанного типа, когда винтовые лопасти фрезы жестко закреплены на барабане.

По типу трансмиссии снегоочистители изготавливают с однодвигательным приводом, когда двигатель базовой машины или специальный двигатель, установленный на грузовой платформе базового автомобиля, используют одновременно для движения машины и привода рабочего органа, а также с двухдвигательным приводом отдельно ходового устройства и рабочего органа.

В качестве дополнительного оборудования роторных снегоочистителей применяют направляющий аппарат выброса снега для погрузки его в городских условиях в транспортные средства, регуляторы окружных скоростей питателя и метательного аппарата, устройства для обрушения верхнего свода снежного забоя при большой толщине снежного покрова и лидерного разрушения снежного забоя при повышенной прочности снега. Энергоемкость рабочего процесса питателя и метательного аппарата можно снизить применением систем газовой смазки поверхностей трения снега о рабочие органы. Например, путем газовой смазки поверхности неподвижного кожуха метателя можно на 20–40% уменьшить энергоемкость привода лопастного ротора.

В качестве источника газа используют воздуходувку, которая может быть установлена соосно лопастному ротору, но имеет более высокую частоту вращения. Эксплуатационная производительность роторного снегоочистителя, т/ч,

$$P_{\Sigma} = 3,6 H v_m \rho_{\text{сн}} k_b, \quad (4.8)$$

где H – толщина снежного покрова, м; k_b – коэффициент использования машины по времени.

При проектировании роторных снегоочистителей должно соблюдаться соотношение

$$P_{\text{тех}} \leq P_{\text{пит}} \leq P_{\text{мт}}, \quad (4.9)$$

где $P_{\text{пит}}$, $P_{\text{мт}}$ – производительность соответственно питателя и метательного аппарата, т/ч.

Ширину захвата рабочего органа роторного снегоочистителя принимают больше ширины базовой машины на 0,15–0,2 м в каждую сторону.

4.2. Средства механизации для ремонта покрытий автомобильных дорог

Машины для восстановления и ремонта асфальтобетонных покрытий. Эти машины выполняют операции по фрезерованию покрытия, удалению старого материала, созданию нового слоя поверхности покрытия. Асфальтобетонные покрытия восстанавливают в основном двумя методами. Первый метод заключается в полной замене старого материала покрытия новым. Метод предусматривает выполнение следующих операций: разогрев покрытия, фрезерование поверхности, удаление изношенной части покрытия, восстановление поверхности путем укладки новой порции асфальтобетонной смеси, уплотнение. Материал, удаляемый с ремонтируемого участка, после соответствующей переработки используют повторно при ремонте дорог местного значения. Второй метод имеет наибольшее распространение и заключается в обогащении старого материала покрытия новым. Метод предусматривает выполнение следующих операций: разогрев покрытия, рыхление ремонтируемого слоя (фрезерование), добавление новой порции смеси, при необходимости перемешивание старой и новой смесей, планировка и уплотнение поверхности покрытия. Метод регенерации асфальтобетонной смеси путем перемешивания применяют тогда, когда технология допускает использование материала старого покрытия повторно с обогащением его новым материалом.

В группу машин для восстановления асфальтобетонных покрытий входят разогреватели, фрезерные машины, разогреватели-планировщики и разогреватели-терморемонтеры.

Разогреватели бетонных покрытий с устройствами инфракрасного излучения монтируют на базе автомобилей, колесных тракторов и специальных шасси. Основные преимущества использования инфракрасных нагревателей: предохранение от выгорания органического связующего материала из верхнего слоя асфальтобетонного покрытия; сокращение продолжительности разогрева благодаря малому термическому сопротивлению пограничного слоя, излучаемому потоку теплоты. Энергия излучения поглощается непосредственно поверхностью и глубинными слоями асфальтобетонного покрытия, причем излучения проникают тем глубже, чем меньше длина их волн.

Режим инфракрасного разогрева состоит из двух периодов: разогрева поверхности покрытия до температуры не менее 180°C и дальнейшего регулируемого нагрева покрытия по всей его толщине (при неизменной температуре на поверхности покрытия) до температуры 60–80°C на стыке покрытия с основанием. Ремонтируемый участок дорожного покрытия разогревают с помощью блока горелок, устанавливаемых над поверхностью

покрытия на расстоянии 100–200 мм для создания плотности теплового потока.

Газовые нагреватели инфракрасного излучения имеют простое устройство и обслуживание, широкое регулирование мощности излучения путем изменения давления газа, подводимого к смесителю горелки. Их недостатки заключаются в возможном задувании пламени при ветре скоростью более 6–8 м/с, небольшом сроке службы, необходимости дополнительных мероприятий по технике безопасности. Основным элементом асфальтозагретелей – газовая горелка инфракрасного излучения с керамическим и металлическим излучателями. Газовоздушная смесь сгорает на поверхности излучателя в тонком слое, передавая ему основную часть теплоты продуктов сгорания. Излучатель раскаляется до температуры 850–900°C и становится источником инфракрасного (теплового) излучения. Металлические излучатели по сравнению с керамическими имеют более низкую чувствительность к механическим воздействиям, низкую стоимость, высокий срок службы.

Загретели с электрическими нагревателями более долговечны, менее чувствительны к воздействиям ветра и отрицательной температуры окружающего воздуха. В качестве электрических нагревателей применяют кварцевые инфракрасные излучатели и трубчатые металлические типа ТЭН. Эти нагреватели обладают рассеянным излучением, поэтому для создания направленного лучистого потока их помещают в рефлектирующее устройство. При текущем ремонте асфальтобетонных покрытий дорог используют асфальтозагретели инфракрасного излучения с газовыми излучателями.

Терморемонтеры выполняют одновременно полный комплекс технологических операций по разогреву и рыхлению асфальтобетона, добавлению новой смеси с перемешиванием со старой смесью или без перемешивания и профилированию с предварительным уплотнением. Оборудование монтируют на специальном шасси. Такая машина работает в двух режимах. Режим без перемешивания смеси в смесителе включает следующие операции: нагрев ремонтируемого участка асфальтобетонного покрытия, рыхление разогретого слоя, распределение, планирование и выравнивание размельченной старой асфальтобетонной смеси, добавление новой асфальтобетонной смеси, распределение новой асфальтобетонной смеси, предварительное уплотнение старой и новой смесей. При перемешивании смеси в смесителе предусматривается выполнение следующих операций: нагрев асфальтобетонного покрытия, рыхление разогретого слоя, сбор размельченной старой асфальтобетонной смеси в смеситель, добавление в смеситель новой асфальтобетонной смеси, перемешивание старой и новой смесей в смесителе, распределение и профилирование восстановленной асфальтобетонной смеси, предварительное ее уплотнение.

Технологическое назначение машины предусматривает наличие следующих основных рабочих органов: газового оборудования, рыхлителя,

подборщика, переднего бункера, транспортирующего, смесительного и распределительного устройств. Газовое оборудование включает в себя емкость для газа, испаритель, систему газопроводов, инфракрасные излучатели (горелки), регулирующую и контрольную аппаратуру, и устройство для разжигания горелок. Газовое оборудование обеспечивает разогрев асфальтобетонного покрытия до 60°C на глубине 30–40 мм при температуре на поверхности не выше 180°C и обогрев отдельных узлов и агрегатов машины для предотвращения остывания новой и восстанавливаемой асфальтобетонной смеси. Вместимость емкости для газа 6 м^3 . Поверхностная плотность теплового потока инфракрасных излучателей не менее $10\text{--}16\text{ кВт/м}^2$. Горелки объединены в секции и блоки с подачей газа отдельно в каждую секцию. Высота установки блока горелок в рабочем положении над поверхностью покрытия регулируется в пределах 50–250 мм.

Рыхлитель обеспечивает разрыхление нагретого асфальтобетонного покрытия до кусков размером не более 50 мм. Глубина рыхления разогретого покрытия 40 мм. Рабочая ширина рыхлителя 2,5; 3,1; 3,6; 3,85 м. Конструкция рыхлителя позволяет осуществлять пропуск люков колодцев. В качестве рыхлителя может быть использована фреза.

Подборщик материала отвального типа предназначен для сбора взрыхленной асфальтобетонной смеси и подачи ее в смесительное устройство при работе в режиме перемешивания. Одновременно подборщик обеспечивает профилирование поверхности покрытия. Рабочая ширина подборщика равна ширине рыхлителя.

Транспортирующее устройство (конвейер) предназначено для перемещения новой асфальтобетонной смеси от приемного бункера к смесительному устройству или в зону распределения восстановленной смеси. Устройство регулирует нормы подачи новой смеси. Во избежание охлаждения пространство, в котором перемещается новая смесь, обогревается инфракрасными излучателями.

В смесительном устройстве с двумя лопастными валами перемешиваются восстановленная и новая асфальтобетонная смеси. Работа обеспечивается на всех режимах движения машины при любом соотношении компонентов. Смеситель обогревается инфракрасными излучателями.

Распределительное устройство предназначено для распределения асфальтобетонной смеси на ширину ремонтируемой полосы покрытия. Оно обеспечивает автоматическое выдерживание заданной толщины и профиля распределяемого слоя по всей ширине ремонтируемой полосы. Рабочая ширина устройства 2,5; 3,1; 3,6; 3,85 м.

Вибротрамбующая плита предназначена для предварительного уплотнения уложенной смеси. Частота колебаний бруса $1500\text{--}3500\text{ мин}^{-1}$. Предусмотрен обогрев поверхности плиты газовыми горелками. Рабочая ширина уплотняемой полосы равна ширине распределителя. Трансмиссия и ходовое устройство обеспечивают перемещение машины с рабочей скоростью до 3

м/мин и транспортной до 7 км/ч. При максимальной скорости 3 м/мин, максимальной глубине разогретого покрытия 40 мм расход новой смеси достигает 40 кг/м².

Машины для фрезерования асфальтобетонных покрытий – дорожные фрезы применяют при ремонте, которым предусмотрено удаление материала из ремонтируемых участков покрытия. Машина для фрезерования разогретых асфальтобетонных покрытий смонтирована на пневмоколесном тягаче и перемещается к месту работы своим ходом со скоростью до 30 км/ч, при этом фрезы находятся в транспортном положении. Подготовка к работе заключается в опускании фрезы в рабочее положение, причем резцы не должны касаться поверхности покрытия, а рабочий орган необходимо устанавливать на опорные ролики.

Машина следует за разогревателем на расстоянии не более 15 м. Глубину фрезерования регулируют с помощью регулировочных винтов опорных роликов. Первоначальное заглубление фрезы производят на месте. В процессе работы регулирование глубины не требует остановки машины. Допускается перекося фрезы в направлении, поперечном движению машины, в пределах 10°. Удаленную массу вывозят на асфальтобетонные заводы, где используют вторично.

Асфальторазагреватели используют только для разогрева асфальтобетонного покрытия до требуемой температуры. Их монтируют на шасси автомобиля грузоподъемностью 3–5 т. Они работают в комплекте с фрезерными агрегатами. Для обработки участков асфальтобетонных покрытий на асфальторазагревателях установлены газовые горелки инфракрасного излучения. При необходимости возможна добавка новой асфальтобетонной смеси. Затем уложенная смесь уплотняется. Такие машины используют для сопряжения полос ранее сооруженного покрытия с новым, а также для проведения текущего ремонта малых и средних карт дорожного покрытия.

Машины для заделки трещин и ремонта швов. Машинами для заделки трещин и ремонта швов обеспечивают очистку трещин от грязи, продувку их сжатым воздухом, просушку, грунтовку стенок и заполнение их мастикой. Окончательная операция – посыпка обработанной поверхности песком или высевами щебня. Эти машины бывают ручными, перемещаемыми на тележке, прицепными и самоходными. Для разделки трещин применяют ручной механизированный инструмент – пневмолоты, пневмомолотки, перфораторы и электромолотки. Машины для заделки трещин в дорожных покрытиях монтируют на шасси стандартных автомобилей. Они состоят из цистерны для битума, двух бункеров для песка, механизма поворота бункера, системы розлива битума, пневмо-, топливо- и гидросистем, специальной кабины, левого, правого, боковых и заднего ящиков и электрооборудования.

Для разрушения покрытий применяют ручной механизированный инструмент и специальное оборудование, смонтированное на автомобилях,

прицепах, тракторах и специальном шасси. Оборудование для работ по замене бордюрного камня монтируют на тягачах и одноковшовых экскаваторах.

Широко используют кирковщики, которые взламывают асфальтобетонное покрытие на всю его толщину при движении машины вперед. Для взламывания асфальто- и цементобетонных покрытий применяют также автобетоноломы на автомобильном шасси и гидромолоты на экскаваторном шасси.

Автобетонолом представляет собой пневмомолот с компрессорной станцией, установленной на поворотной платформе, которая смонтирована на неподвижной раме и прикреплена к лонжеронам базового шасси. На ней расположены также механизмы поворота и управления, пневмолинии, сиденье оператора. На раме закреплен пневмомолот двойного действия с ударным наконечником, имеющий энергию удара 6 кДж при частоте 40 ударов в минуту. Рабочее оборудование может поворачиваться на 180 град. и обрабатывать полосу покрытия шириной 3,7 м.

Гидромолот состоит из неподвижной рамы и каретки с поворотной рамой, на которой размещены ударный механизм и гидропривод. Ударная часть массой 200 кг перемещается гидроцилиндром. Гидромолот оснащен гидроаккумулятором и гидроамортизатором. Энергия удара 10–20 кДж, частота удара в минуту колеблется соответственно в пределах 180–100.

Для срезания старого асфальтобетонного покрытия можно также использовать фрезерные машины для разрушения мерзлых высокопрочных грунтов.

4.3. Прогнозирование эффективности комплексной механизации

Классификация методов прогнозирования. Для дальнейшего качественного развития строительства необходимо иметь ясное представление тенденций эффективного развития комплексной механизации строительства. Это тем более важно в настоящее время, когда основное внимание уделяется интенсивным методам ведения хозяйства.

Прогнозирование эффективности средств механизации должно включать в себя всесторонний ретроспективный анализ и изучение тенденций развития технических средств строительства.

Раскрытие диалектики развития тех или иных средств механизации строительства, выявление их внутренних противоречий, рассмотрение различных сторон объекта прогнозирования с сопряженными системами - все это требует знания и свободного владения не одним каким-либо методом прогнозирования, а их совокупностью.

Чем короче продолжительность прогнозируемого периода, тем уже масштаб прогноза, тем больше должна быть проведена детализация его содержания, тем жестче нормативный характер и, следовательно, тем шире область приложения количественных методов. Успех прогноза часто зависит от правильности выбора метода прогнозирования, так как каждый из них имеет свою предпочтительную область использования.

Цель прогноза состоит в том, чтобы, оценивая возможные варианты, определить наиболее эффективные направления развития и оценить возможные последствия. Прогноз – это вероятностное суждение о состоянии средств механизации, механизированного процесса, комплекта или комплекса машин к определенному моменту времени.

Выделяют исследовательское (поисковое) и нормативное прогнозирование. Поисковое прогнозирование заключается в анализе объективных тенденций развития средств механизации строительства. Оно основано на использовании принципа инерционности параметров средств механизации, механизруемых процессов. Нормативное прогнозирование идет от желаемого будущего к настоящему и исследует те средства механизации, механизруемые процессы, которые должны быть приняты во внимание, чтобы достичь желаемой цели.

Задача нормативного прогнозирования – представить модель достижения целей на основе построения иерархической структуры, называемой графом, или деревом целей, и выбрать оптимальную стратегию действий для достижения будущей цели.

Характер прогнозирования развития средств механизации строительства преимущественно поисковый (исследовательский). В зависимости от характера источника информации все метода прогнозирования могут быть разделены на два класса: эвристический и фактографический.

Эвристические методы прогнозирования основаны на логических и методических правилах исследования. Фактографические методы опираются на фактический материал, на конкретные данные, строго характеризующие изменение во времени признаков объекта прогнозирования. В свою очередь, эвристические методы подразделяются на интуитивные и аналитические, а фактографические – на статистические и опережающие.

В настоящее время интуитивные методы получают все большее распространение в практике прогнозирования, поскольку сбор и обобщение мнений экспертов, обладающих необходимыми знаниями о средствах механизации строительства, позволяют получить довольно надёжную информацию, а в ряде случаев и единственную возможную.

Хорошо зарекомендовали себя коллективные методы экспертных оценок. Хотя информация, получаемая от специалистов; занимающихся данной проблемой, выражает субъективные мнения, последние являются всегда отражением объективно действующих факторов, связей, реальных отношений.

Эксперты могут давать как верную, так и ошибочную информацию, поэтому требования к экспертам как особого рода деятельности специалистам должны быть достаточно высокими.

В последнее время все большее распространение находит метод мозговой атаки, который при правильно проведенном сеансе мозговой атаки позволяет сгенерировать в 5...10 раз больше идей для решения той или иной проблемы. Суть метода заключается в следующем: формируется группа лиц для решения конкретной проблемы. Вводится правило, запрещающее критиковать любую идею, какой бы «дикой» она ни казалась. Ставится задача высказать максимальное число идей, при этом приветствуется комбинирование ранее высказанных идей и их усовершенствование. Все высказанные идеи фиксируются, и в конце им дается оценка.

Аналитические методы прогнозирования базируются в основном на математическом моделировании и чаще всего применяются для нормативного прогнозирования. Они позволяют установить количественные связи между отдельными параметрами объекта прогнозирования..

Здесь открывается возможность прогнозирования будущего состояния средств механизации при изменении принципов работы, условий использования и других изменений соотношений между отдельными машинами комплекта, комплекса.

Статистические методы прогнозирования основываются на построении и анализе эмпирических временных рядов характеристик средств механизации строительства, например, на прогнозировании эксплуатационных затрат на эксплуатацию парка машин, комплекса машин с увеличением их возрастного состава.

Опережающие методы основаны на анализе патентной информации, научных разработок и др.

На практике редко используют какой-либо один метод прогнозирования, обычно используют совокупность методов в самых различных сочетаниях, так как у каждого метода имеются свои преимущества и недостатки, свои области эффективного использования.

Выбор метода прогнозирования зависит от многих факторов, среди которых можно выделить основные: цель прогноза, время упреждения прогноза, специфика прогнозируемого объекта, процесса, системы, достоверность и полнота исходной информации, ограничения по времени, ресурсам, сложности.

В последнее время с усложнением систем все большее распространение находят эвристические методы и, в частности, интуитивные, особенно на ранних этапах проектирования, формирования сложных систем, процессов.

Оценки на основе интуиции обычно принято называть экспертными, а лиц, выполняющих такую работу – экспертами. Целью экспертных оценок в ходе комплексной механизации и автоматизации являются:

- выявление и оценка насущных проблем и альтернативных вариантов их решения;

- выявление и оценка последствий от принятых решений;
- выбор окончательных решений при наличии нескольких компромиссных ситуаций, многокритериальности решаемых задач с учетом неформализованных или неформализуемых факторов.

Не каждый специалист может быть экспертом. Он должен обладать определенными способностями:

- видеть или формулировать насущные проблемы и альтернативные пути их решения;

- решать проблемы, метод решения которых полностью или частично неизвестен;

- предсказывать или предчувствовать будущие состояния создаваемого механизированного процесса, системы;

- противопоставлять предубеждениям и массовым мнениям, имеющим определенную инерцию, свое собственное, независимое;

- видеть проблему с различных точек зрения, предвидеть последствия.

Помимо этого он должен обладать глубокими знаниями в исследуемой области и Широкой эрудицией в смежных областях.

Очевидно, что найти такого эксперта – задача практически безнадежная, поэтому в реальной жизни подбираются специалисты, известные своими научными трудами, разработками, решением аналогичных проблем.

Экспертная оценка средств механизации. В процессе решения задач комплексной механизации строительства часто требуется оценить степень актуальности той или иной проблемы, того или иного направления исследований и разработок средств механизации и др. Во всех этих случаях приходится прибегать к мнению экспертов, используя специфические приемы формализации и обработки полученной информации. В настоящее время разработано много методов экспертной оценки. В основе большинства из них лежит анкета (опросный лист или таблица), с помощью которой осуществляется сбор необходимой информации. Рассмотрим один из таких методов экспертной оценки.

Постановка задачи «выбор критерия оптимизации. В настоящее время интенсивно разрабатываются различные виды сменного оборудования для базовой машины при выполнении различных работ в строительстве. Требуется определить относительную важность разработки того или иного вида оборудования на основе экспертного опроса и обобщения мнений группы экспертов.

Выявление основных особенностей, взаимосвязей и количественных закономерностей. Практика экспертного опроса показала, что его успех существенно зависит от числа оцениваемых объектов (машин, видов сменного оборудования, комплектов машин и т.п.). Чем больше объектов подлежит оценке, тем большей совокупности объектов

эксперты присваивают одинаковую важность. С увеличением числа оцениваемых объектов эксперты становятся все более безразличными в своих суждениях. Учитывая это, примем число различных видов сменного оборудования равное шести (табл. 4.1).

Минимальное число экспертов должно быть не менее числа оцениваемых объектов, в нашей задаче не менее шести экспертов.

Максимальная величина определяется потенциально возможным числом экспертов. Примем в нашей задаче число экспертов равное 20. Наиболее предпочтительной экспертной анкетой является таблица, заполнение которой не отнимает более 30 мин. В общем случае эксперт должен быть способным формулировать неочевидные проблемы, видеть проблему с разных сторон, решать творческие задачи, делать интуитивные выводы, чувствовать перспективу, противостоять предубеждениям и массовым мнениям.

Таблица 4.1

Номер эксперта К	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	Номер эксперта К	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
1	100	40	60	30	20	35	11	100	70	30	80	50	40
2	100	75	100	40	50	80	12	100	40	70	50	90	20
3	100	60	80	30	20	70	13	100	50	80	60	80	100
4	100	40	60	10	20	50	14	100	70	60	30	20	10
5	100	50	70	80	30	50	15	100	80	90	30	20	50
6	100	20	40	80	70	60	16	100	100	80	50	40	70
7	100	40	80	50	60	20	17	100	70	50	20	40	80
8	100	70	80	50	45	65	18	100	20	80	60	50	40
9	100	60	90	20	20	50	19	100	60	90	20	30	80
10	100	80	60	40	20	55	20	100	70	60	80	30	95

Показателем обобщенного, мнения может служить среднее статистическое значение оценки определенного объекта, определяемое в баллах или в виде весовых коэффициентов.

Оценка n -го объекта в баллах

$$P = \sum_{K=1}^K C_{Kn} / K,$$

где C_{Kn} – оценка K -м экспертом важности n -го вида сменного оборудования; K – число экспертов. Оценки n -го вида сменного оборудования

$$\bar{\beta} = \sum_{K=1}^K \beta_{Kn} / K,$$

где β_{kn} – нормированная оценка, данная K -м экспертом для n -го вида сменного оборудования.

Построение математической модели. Степень согласованности мнений экспертов по всем видам сменного рабочего оборудования (объекта экспертизы) оценивается коэффициентом конкордации

$$\omega = \frac{12 \sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})^2}{K^2 N (N^2 - 1) - K \sum_{k=1}^K T_k},$$

где $S_n = \sum_{k=1}^K R_{kn}$ – сумма рангов, присвоенных экспертами n -му виду сменного оборудования; R_{kn} – ранг n -го сменного оборудования, назначенный K -м экспертом;

$$\bar{S} = \sum_{n=1}^N S_n / N,$$

$$T_k = \sum_{m=1}^{M_k} (t_{km}^3 - t_{km}),$$

где t_{km} – число одинаковых рангов m -го типа в оценках K -го эксперта; M_k – число видов сменного оборудования с совпавшими рангами в оценках K -го эксперта.

Коэффициент конкордации изменяется в пределах от нуля до единицы, причем $\omega = 1$ соответствует полной согласованности мнений экспертов.

В качестве количественной оценки степени этой случайности используется уровень значимости коэффициента конкордации. Этот уровень находится по таблицам на основании сопоставления числа степеней свободы ($N - 1$) с величиной χ^2 (критерия Пирсона), вычисляемой по формуле

$$\chi^2 = \frac{12 \sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})^2}{KN(N+1) - \sum_{k=1}^K T_k(N-1)}.$$

Если найденный таким образом уровень значимости достаточно мал, то согласованность мнений экспертов, характеризуемая данным коэффициентом конкордации, неслучайна.

Исследование математической модели. Алгоритм метода экспертных оценок включает следующие основные этапы:

1) определение нормированных оценок, данных экспертами:

$$\beta_{kn} = C_{kn} / \sum_{n=1}^N C_{kn},$$

$$\beta_{11} = \frac{C_{11}}{C_{11} + C_{12} + \dots + C_{16}} = \frac{100}{100 + 40 + \dots + 35} = 0,351,$$

$$\beta_{12} = \frac{C_{12}}{C_{11} + C_{12} + \dots + C_{16}} = \frac{40}{100 + 40 + \dots + 35} = 0,140.$$

Таким же образом осуществляется нормирование оценок для остальных экспертов;

2) определение средних значений весовых коэффициентов для каждого вида оборудования

$$\bar{\beta}_n = \sum_{k=1}^K \beta_{kn} / K ,$$

$$\bar{\beta}_1 = \frac{\beta_{11} + \beta_{12} + \dots + \beta_{20,1}}{K} = \frac{0,351 + 0,225 + \dots + 0,23}{20} = 0,275 ,$$

$$\bar{\beta}_2 = \frac{\beta_{12} + \beta_{22} + \dots + \beta_{20,2}}{K} = \frac{0,140 + 0,169 + \dots + 0,161}{20} = 0,157 .$$

Таким же образом осуществляется определение средних, значений весовых коэффициентов для остальных видов оборудования (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Вид	$\bar{\beta}_n$	σ_n	v_n
1	0,275	0,039	0,141
2	0,157	0,051	0,324
3	0,192	0,046	0,239
4	0,121	0,054	0,446
5	0,107	0,052	0,483
6	0,148	0,053	0,361

3) определение среднеквадратических отклонений весовых коэффициентов

$$\sigma_n = \sqrt{\sum_{k=1}^K (\beta_{kn} - \bar{\beta}_n)^2 / K} ,$$

$$\sigma_1 = \sqrt{[\beta_{11} - \bar{\beta}_1 + \dots + \beta_{20,1} - \bar{\beta}_1] / K} = \sqrt{[(0,351 - 0,275) + \dots + (0,23 - 0,275)] / 20} = 0,039 ,$$

$$\sigma_2 = \sqrt{[\beta_{12} - \bar{\beta}_2 + \dots + \beta_{20,2} - \bar{\beta}_2] / K} = \sqrt{[(0,14 - 0,157) + \dots + (0,161 - 0,157)] / 20} = 0,051 .$$

4) определение коэффициентов вариации для каждого вида оборудования

$$v_n = \sigma_n / \bar{\beta}_n ,$$

$$v_1 = \sigma_1 / \beta_1 = 0,039 / 0,275 = 0,141 ,$$

$$v_2 = \sigma_1 / \beta_1 = 0,051 / 0,157 = 0,324 .$$

Таким же образом осуществляется определение коэффициентов вариации для остальных видов оборудования (табл. 4.2);

5) переход от таблицы оценок в баллах к матрице рангов. Процедура перехода состоит в том, что виду рабочего сменного оборудования, имеющего наибольшую оценку в баллах, присваивается первый номер (ранг), оборудованию с наименьшей оценкой – последний. Оборудованию, имеющему одинаковые оценки, назначается одинаковый ранг.

Так, для первого вида оборудования (см. табл. 4.1) вместо баллов могут быть проставлены ранги (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Номер эксперта К	R_{K1}	R_{K2}	R_{K3}	R_{K4}	R_{K5}	R_{K6}
1	1	3	2	5	6	4
2	1,5	4	1,5	6	5	3
3	1	4	2	5	6	3
4	1	4	2	6	5	4,5
5	1	4,5	2	6	5	3
6	1	6	5	2	3	4
7	1	5	2	4	3	5
8	1	3	2	5	6	4
9	1	3	2	5,5	5,5	4
10	1	2	3	5	6	4
11	1	3	6	2	4	5
12	1	5	3	4	2	6
13	1,5	6	3,5	5	3,5	1,5
14	1	2	3	4	5	6
15	1	3	2	5	6	4
16	1,5	1,5	3	5	6	4
17	1	3	4	6	5	2
18	1	6	2	3	4	5
19	1	4	2	6	5	3
20	1	4	5	3	6	2

При этом возможны два случая:

а) если сумма определенных рангов совпадает с суммой натурального ряда чисел, то определенные величины рангов изменению не подлежат. В нашей задаче для первого эксперта сумма рангов совпадает с суммой натурального ряда чисел, следовательно, ряд заносится в табл. 4.3 без изменений

$$\sum_{n=1}^N R_{1n} = 1 + 3 + 2 + 5 + 6 + 4 = \sum_{n=1}^N R_{Hi} = 1 + 3 + 2 + 5 + 6 + 4 = 21 .$$

б) если сумма определенных рангов не совпадает с суммой натурального ряда чисел, то одинаковым оценкам присваивается одинаковый ранг, равный среднему арифметическому соответствующих чисел натурального ряда. Так, у второго эксперта первый вид и третий вид оборудования оценены одинаково, по 100 баллов. В натуральном ряде чисел это будет соответствовать числам 1 и 2. Следовательно, первому и третьему виду оборудования должен быть назначен одинаковый ранг, который равен

$$R_{21} = R_{23} = (1+2)/2 = 1,5 .$$

Матрица рангов, в которой сумма рангов для каждого эксперта равна сумме натурального ряда чисел, называется нормированной. Сумма натурального ряда чисел может быть определена по формуле

$$\sum_{n=1}^N R_{Hi} N(N+1)/2 = 6(6+1)/2 = 21 .$$

б) определение суммы совпавших рангов для каждого эксперта

$$T_k = \sum_{m=1}^{M_k} (t_{km}^3 - t_{km}) ,$$

$$T_1 = (t_{11}^3 - t_{11}) = 1^3 - 1 = 0 ,$$

$$T_2 = (t_{21}^3 - t_{21}) = 2^3 - 2 = 6 ,$$

...

$$T_{13} = (t_{13,1}^3 - t_{13,1} + t_{13,2}^3 - t_{13,2}) = 2^3 - 2 + 2^3 - 2 = 12 ,$$

...

Таким же образом осуществляется определение суммы совпавших рангов для остальных экспертов;

7) определение общей суммы совпавших рангов

$$\sum_{k=1}^K (T_k) = 0+6+\dots 12+\dots 0 = 36 ,$$

8) определение суммы рангов для каждого вида сменного оборудования

$$S_n = \sum_{k=1}^K R_{kn} ,$$

$$S_1 = R_{11} + R_{21} + \dots + R_{k1} + \dots + R_{20,1} = 1 + 1,5 + \dots + 1 = 21,5 ,$$

$$S_2 = R_{12} + R_{22} + \dots + R_{k2} + \dots + R_{20,2} = 3 + 4 + \dots + 4 = 76 ,$$

...

Таким же образом осуществляется определение суммы рангов для остальных видов оборудования;

9) определение средних значений сумм рангов по всем видам сменного оборудования

$$\bar{S} = \sum_{n=1}^N S_n / N = (S_1 + S_2 + \dots + S_N) / N = (21,5 + 76 + \dots) / 6 = 70 ;$$

10) вычисление квадратичных отклонений сумм рангов от их среднего значения

$$(S_1 - \bar{S})^2 = (21,5 - 70)^2 = 2352 ,$$

$$(S_2 - \bar{S})^2 = (76 - 70)^2 = 36 ,$$

.... ;

11) определение суммы квадратичных отклонений

$$\sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})^2 = 2352 + 36 + \dots = 3600 .$$

12) определение коэффициента конкордации

$$\omega = \frac{12 \sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})^2}{K^2 N (N^2 - 1) - K \sum_{k=1}^K T_k} = \frac{12 \cdot 3600}{400 \cdot 6 \cdot (6 - 1)} = 0,519 ,$$

13) определение величины •£ критерия Пирсона

$$\chi^2 = \frac{12 \sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})^2}{KN(N+1) - \sum_{k=1}^K T_k(N-1)} = \frac{12 \cdot 3600}{20 \cdot 6(6+1) - 36(6-1)} = 51,9 ;$$

14) определение числа степеней свободы

$$m = N - 1 = 6 - 1 = 5 ;$$

15) определение табличного значения критерия Пирсона для заданного числа степеней свободы $m = 5$ и 5 % уровня значимости.

$$\chi^2_{\text{т}} = 31,41; \chi^2_{\text{т}} = 31,41 < \chi^2_{\text{расч}} = 51,9 ,$$

т.е. вероятность случайного совпадения мнений экспертов мала.

Если в процессе ранжировки для каждого эксперта использовать на каждый вид оборудования только числа натурального ряда без учета совпадения оценок по тому или иному виду оборудования (табл. 4.4), то можно пользоваться упрощенной формулой для определения коэффициента конкордации

Таблица 4.4

Номер эксперта К	R_{K1}	R_{K2}	R_{K3}	R_{K4}	R_{K5}	R_{K6}
1	1	3	2	5	6	4
2	1,5	4	1,5	6	5	3
3	1	4	2	5	6	3
4	1	4	2	6	5	4,5
5	1	4,5	2	6	5	3
6	1	6	5	2	3	4
7	1	5	2	4	3	5
8	1	3	2	5	6	4
9	1	3	2	5,5	5,5	4
10	1	2	3	5	6	4
11	1	3	6	2	4	5
12	1	5	3	4	2	6
13	1,5	6	3,5	5	3,5	1,5
14	1	2	3	4	5	6
15	1	3	2	5	6	4
16	1,5	1,5	3	5	6	4
17	1	3	4	6	5	2
18	1	6	2	3	4	5
19	1	4	2	6	5	3
20	1	4	5	3	6	2

$$\omega = 12 \sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})^2 / (K^2 N (N^2 - 1)) .$$

Сумма рангов для каждого вида сменного оборудования составит

$$S_1 = R_{1,1} + \dots + R_{K,1} + \dots + R_{20,1} = 1 + \dots + 1 + \dots + 1 = 20 ,$$

$$S_2 = R_{1,2} + \dots + R_{K,2} + \dots + R_{20,2} = 3 + \dots + 4 + \dots + 2 = 76 ,$$

...

Среднее значение сумм рангов по всем видам сменного оборудования будет равно

$$\bar{S} = (S_1 + S_2 + \dots + S_n) / 6 = (20 + 76 + 58 + 89 + 98 + 79) / 6 = 70 .$$

Квадратичные отклонения сумм рангов от их среднего значения составят

$$(S_1 - \bar{S})^2 = (20 - 70)^2 = 2500 ,$$

$$(S_2 - \bar{S})^2 = (76 - 70)^2 = 36 ,$$

...

Сумма квадратичных отклонений будет равна

$$\sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})^2 = 2500 + 36 + \dots = 3906 .$$

Коэффициент конкордации определяется по упрощенной формуле

$$\omega = 12 \sum_{n=1}^N (S_n - \bar{S})^2 / (K^2 N (N^2 - 1)) = 12 \cdot 3906 / (20^2 \cdot 6 \cdot 35) = 0,56 .$$

Расчётное значение критерия χ^2 может быть определено по следующей формуле

$$\chi^2_{\text{расч}} = K(N - 1)\omega = 20(6 - 1) = 56 . ;$$

Среднее значение сумм рангов может быть определено по более простой формуле

$$\bar{S} = K(N + 1) / 2 = 20 \cdot 7 / 2 = 70 .$$

Табличное значение критерия χ^2 для 5%-го уровня значимости при числе степеней свободы

$$m=N-1=5$$

будет равно $\chi^2_{\tau} = 31,41 < 56$.

Таким образом, табличное значение критерия Пирсона меньше расчетного, т.е. гипотезу о наличии согласия экспертов при ранжировании вариантов принимаем.

Метод экспертных оценок позволяет эффективно использовать опыт специалистов, что может сократить время и стоимость выработки прогнозируемых решений, особенно на начальных этапах.

Прогнозирование основных параметров средств механизации. Прогнозирование средств механизации строительства с использованием корреляционно-регрессионного анализа заключается в определении уравнений регрессий, отражающих статистическую связь одного показателя с другим (парная корреляция) или с группой других (множественная корреляция). Корреляционно-регрессионный анализ дает возможность на основе анализа средств механизации в прошлом, представленных в форме временных рядов, определять уравнения и затем рассчитывать по ним наиболее вероятные значения одних параметров в зависимости от других, принятых за факторы (аргументы).

Применению корреляционно-регрессионного анализа к исследованию временных рядов предшествует логический анализ исходных данных.

Корреляционный анализ оценивает тесноту связи между результативным признаком (зависимой переменной) и факторными признаками (зависимыми переменными). Регрессионный анализ определяет форму связи, определяет соответствующие параметры связи и оценивает достоверность ее существования для выбранного уравнения регрессии. Наибольшее распространение нашел метод множественной корреляции, в котором зависимая переменная y рассматривается как результат воздействия нескольких факторов (независимых переменных) $X_1 \dots X_i \dots X_m$.

При использовании метода множественной регрессии требуется произвести большой объем вычислений.

Для эффективного выполнения необходимых расчетов целесообразно использовать соответствующее программное обеспечение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новая техника и прогрессивная технология в сочетании с методами экономического обоснования направлений развития механизации характеризуют в совокупности технический уровень строительного производства.

Предусмотренное учебным изданием комплексное изучение технических и эксплуатационных вопросов современного строительного производства формируют необходимые знания для инженерной подготовки будущих специалистов. Одновременно закладываются основы решения важнейших задач капитального строительства: технического перевооружения строительных организаций; внедрение современных средств автоматизации строительных процессов; повышение отдачи активной части основных фондов организаций.

Техническое перевооружение строительного производства позволит решить главную задачу перспективного развития – повысить производительность труда за счет организации мощных машинных парков и систем машин, интенсификации процессов, мобильности машин и их автоматизации, повышения надежности, универсальности и других эксплуатационных характеристик.

Актуальная задача современного строительного комплекса - повышение технологической гибкости производства, разработка и внедрение гибких технологических систем особенно в северных и восточных районах России со сложными инженерно-геологическими условиями работ. Для ее решения необходимы системные экономические и технические знания в области научно-технического прогресса. Создание мощных универсальных машин и систем автоматизированного управления строительным процессом на базе микропроцессорного управления строительным процессом на базе микропроцессоров направлено не только на облегчение и оздоровление труда механизаторов, но и на повышение качества работ, оптимизацию эксплуатационных режимов и адаптации машин к их изменению.

Важно учитывать необходимость пропорционального развития не только машинных парков, но и эксплуатационной базы. Повышение надежности новой техники, ускорение обновления парков не снимает проблему систематического технического обслуживания и ремонта машин, обеспечения их горючим и запасными частями. Более того, режим экономии топливно-энергетических ресурсов ужесточает требования, как к конструкции машины, так и сфере ее эксплуатации.

И, наконец, важно постоянно видеть перспективу развития техники и технологии. Она зарождается в строительных организациях, учебных и научных институтах, конструкторских бюро и машиностроительных заводах, где работают выпускники различных вузов.

Список литературы

1. Большая Советская Энциклопедия. 3-е издание. – М.: Советская Энциклопедия, 1968-1979.
2. Добронравов, С.С. Строительные машины и основы автоматизации / С.С. Добронравов, В.Г. Дронов. – М.: Высш. шк., 2003. – 575 с.
3. Дорожно-строительные машины и комплексы / В.И. Баловнев и др.; Под общей редакцией В.И. Баловнева. – Москва-Омск: Изд-во СибАДИ, 2001. – 528 с.
4. Доценко, А.И. Комплексная автоматизация производства асфальто-бетонной смеси с учетом влияния факторов её транспортировки, укладки и уплотнения [Электронный ресурс]: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06. – М.: РГБ, 2006 (Из фондов Российской Государственной Библиотеки).
5. Кудрявцев, Е.М. Комплексная механизация строительства / Е.М. Кудрявцев. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2005. – 424 с.
6. Новиков, А.М. Методология / А.М. Новиков, Д.А. Новиков. – М.: СИНТЕГ, 2007. – 668 с.
7. Пермяков, В.Б. Комплексная механизация строительства / В.Б. Пермяков. – М.: Высш. шк., 2005. – 383 с.
8. Советский энциклопедический словарь. – М.: Большая российская энциклопедия, 2002.
9. Философский энциклопедический словарь. – М.: Сов. Энциклопедия, 1983.

ГЛОССАРИЙ

А

АДАПТИВНЫЕ МОДЕЛИ – математические модели, используемые в сочетании с человеко-машинными процедурами в принятии решений, в которых основываются лишь на предположении о существовании некоего обобщенного критерия задачи многокритериальной оптимизации, а необходимая дополнительная информация получается лицом принимающим решение (ЛПР) последовательно, одновременно с анализом множества альтернатив. Применение А.м. целесообразно, когда ЛПР затрудняется в оценке вклада частных критериев в интегральный критерий. А.м. выгодны тем, что в процессе выработки решения используется информация, поступающая как от ЭВМ, так и от самого ЛПР. Важным преимуществом является и то, что перед специалистом последовательно проходит развитие модели многокритериальной ситуации от начального состояния к некоторому промежуточному (или окончательному) решению, что способствует более объективной оценке возможности улучшения значений обобщенных критериев. Существуют различные подходы к построению адаптивных человеко-машинных процедур.

АДДИТИВНЫЙ КРИТЕРИЙ (критерий справедливой абсолютной уступки) – критерий оптимальности, относящийся к группе прямых априорных методов многокритериальной оптимизации, сформулированный в виде суммирования выходных параметров (критериев оценки) исследуемого объекта. В А.к. используется следующий прием свертки нескольких критериев k_{ij} в обобщенный критерий (тенденция которого может быть к $\min$ или к $\max$)

или в матричной форме – $U = K \cdot W$, где w_j — коэффициент важности (вес) j -го критерия; $U = [u(x_i)]$ — матрица-столбец критерия u ; — нормализованная критериальная матрица; $W = [w_j]$ — матрица-столбец коэффициентов веса. Принцип справедливой абсолютной уступки приводит к утверждению, что оптимальное решение означает максимизацию суммы нормированных частных критериев. Метод имеет строгое математическое обоснование. Однако введение весовых коэффициентов создает существенные трудности, один из путей преодоления которых состоит в применении экспертных оценок.

АЛГОРИТМ – 1) совокупность предписаний, необходимая и достаточная для решения какой-либо конкретной задачи; 2) совокупность правил, определяющих эффективную процедуру решения любой задачи из некоторого заданного класса задач. Понятие А. использовалось в математике давно, но как математический объект исследуется в связи с решением ряда

проблем оснований математики с 30-х гг. XX в. Тогда же были разработаны основные понятия теории алгоритмов. В связи с развитием ЭВМ и их широким применением понятие А стало одним из центральных в прикладной математике. **АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ** — математическая модель, представленная в форме алгоритма, перерабатывающего заданный набор входных данных в заданный набор выходных данных. А.м. применяют, когда использование аналитических (расчетных) моделей затруднено либо нецелесообразно. Частным видом А.м. являются имитационные модели.

АНАЛИЗ – 1) изучение, научное исследование чего-либо, основанное на расчленении целого на составные части; 2) исследование объектов и явлений окружающего мира, основанное на изучении их внутренней структуры, закономерностей поведения или внешнего проявления их свойств. Анализ в САПР — проектная процедура или группа проектных процедур, имеющая целью получение информации о свойствах заданного проектируемого объекта; 3) функция управления, предназначенная для изучения, систематизации, обобщения и оценки достигнутых результатов. На основании данных анализа выявляются узкие места в деятельности организации, оцениваются конечные результаты производственной деятельности, обосновываются управленческие решения.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ – математическая модель, представляющая собой совокупность аналитических выражений и зависимостей, позволяющих оценивать определенные свойства моделируемого объекта. Аналитические модели могут относиться к функциональным моделям (совокупность явных зависимостей выходных величин от входных), геометрическим (совокупность уравнений поверхности и (или) линий, задающих геометрическую форму моделируемого объекта), к обеспечению программному.

АПРИОРНЫЕ МОДЕЛИ — математические модели, используемые в принятии многокритериальных решений, в которых структура и вид обобщенного критерия постулируются вначале, т.е. вся информация, позволяющая определить наилучшее решение, скрыта в формальной модели задачи.

Архиватор – программа или программный пакет, предназначенный для «сжатия» (архивации) файла или группы файлов с целью уменьшения занимаемого файлами дискового пространства.

Б

Игра называется **БЕСКОНЕЧНОЙ**, если у каждого игрока имеется бесконечное число стратегий.

В

ВЕРШИНЫ, прилегающие к одному и тому же ребру, называются **СМЕЖНЫМИ**.

ВРЕМЕННОЙ РЯД – это последовательность наблюдений, упорядоченных во времени (или пространстве).

Если какое-нибудь явление наблюдают на протяжении некоторого времени, имеет смысл представить данные в том порядке, в котором они возникали, из-за того, в частности, что последовательные наблюдения могут быть зависимыми.

Временной ряд хорошо представлять на диаграмме рассеяния. Значение ряда X откладывают по вертикальной оси, а время t - по горизонтальной. Время называют независимой переменной.

Существует два типа временных рядов:

1. Непрерывные, в которых мы имеем наблюдения в каждый момент времени, например показатели детектора лжи, электрокардиограммы. Их обозначают как наблюдение X в момент t , $X(t)$.

2. Дискретные, в которых наблюдения делаются через некоторые (обычно одинаковые) интервалы времени. Их обозначают X_i

Примеры

1. Экономические: недельные цены на акции; месячные прибыли.

2. Метеорологические: дневные осадки; скорость ветра; температура.

3 Социологические, показатели преступности (например, число арестов), показатели безработицы.

Г

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ. Под задачами геометрического программирования понимают задачи наиболее плотного расположения некоторых объектов в заданной двумерной или трехмерной области. Такие задачи встречаются в задачах раскроя материала для производства каких-то изделий и т.п. Это - еще недостаточно разработанная область математического программирования и имеющиеся здесь алгоритмы в основном ориентированы на сокращение перебора вариантов с поиском локальных минимумов.

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ИГРЫ – нахождение решения игры посредством представления данных задачи в виде геометрических фигур на координатной плоскости.

ГЕНЕРАЛЬНАЯ СОВОКУПНОСТЬ – это (как правило, лишь воображаемое) полное собрание объектов (людей, животных, растений или вещей), являющееся источником данных. Она представляет все множество статистических единиц (группу интересующих нас предметов).

Информацию о генеральной совокупности мы получаем, изучая выборки из нее; из каждой совокупности можно сделать много разных выборок. По выборке мы получаем информацию об интересующих нас параметрах совокупности.

Например, выборочное среднее дает информацию о среднем всей совокупности. Важно, чтобы перед формированием выборки исследователь

тщательно и полно определил генеральную совокупность, а также способ извлечения выборки. Выборка должна быть репрезентативной.

ГЕТЕРОСКЕДАСТИЧНОСТЬ – условие, когда дисперсии регрессионных остатков не отвечают условию гомоскедастичности.

См. гомоскедастичность дисперсии.

ГИСТОГРАММА – это способ представления данных, измеренных в интервальной шкале (как дискретных, так и непрерывных). Часто используется в разведочном анализе данных для иллюстрации основных характеристик распределения. Гистограмма делит диапазон возможных значений множества данных на классы, или группы. Каждой группе соответствует прямоугольник, длина которого равна диапазону значений в заданной группе, а площадь пропорциональна числу наблюдений в этой группе. Это означает, что прямоугольники скорее всего будут различаться по высоте.

Гистограмма годится только для числовых переменных, измеренных в номинальной шкале. Как правило она используется для больших множеств данных (>100 наблюдений), когда не хотят строить диаграммы ствол-лист.

Гистограммы помогают выявить необычные наблюдения (выбросы) и пропуски в множестве данных.

ГОМОСКЕДАСТИЧНОСТЬ – Условие постоянства дисперсий регрессионных остатков.

ГРАФ это множество точек или вершин и множество линий или ребер, соединяющих между собой все или часть этих точек.

Д

ДЕРЕВО это связный граф без циклов.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ. Для отыскания оптимального решения планируемая операция разбивается на ряд шагов (этапов) и планирование осуществляется последовательно от этапа к этапу. Однако выбор метода решения на каждом этапе производится с учетом интересов операции в целом.

З

ЗАДАЧАМИ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ является анализ и исследование явлений, возникающих в системах обслуживания. Одна из основных задач теории заключается в определении таких характеристик системы, которые обеспечивают заданное качество функционирования, например, минимум времени ожидания, минимум средней длины очереди.

И

ИГРА - математическая модель конфликтной ситуации, СТОРОНЫ, участвующие в конфликте, называются ИГРОКАМИ, а ИСХОД конфликта – ВЫИГРЫШЕМ.

К

КАНОНИЧЕСКОЙ ФОРМА ЗАДАЧИ ЛП является задачей на максимум (минимум) некоторой линейной функции F , ее система ограничений состоит только из равенств (уравнений). При этом переменные задачи $x_1, x_2, \dots, x_n$ являются неотрицательными.

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ – это модель, реализованная средствами программной среды.

Игра называется КОНЕЧНОЙ, если у каждого игрока имеется конечное число стратегий.

КОРРЕЛЯЦИЯ – Когда говорят, что две случайные переменные коррелированы, имеют в виду, как правило, что они друг с другом как-то связаны. Стандартной мерой связи переменных является коэффициент корреляции. Следует, однако, помнить, что он измеряет лишь силу линейной связи.

КОЭФФИЦИЕНТ КОРРЕЛЯЦИИ – меняется в пределах от -1 до 1, измеряет степень линейной связи двух случайных переменных. Положительное значение коэффициента корреляции означает, что с ростом одной из переменных другая также растет, с убыванием одной из них убывает и другая. Отрицательное значение означает, что с ростом одной из переменных другая убывает, с убыванием одной из них другая растет. Коэффициент корреляции, равный нулю, означает, что между нашими переменными отсутствует линейная связь.

Обратите внимание: даже если коэффициент корреляции равен 1 по абсолютной величине и, следовательно, переменные функционально связаны (линейно), ничего нельзя сказать о причинно-следственной связи между ними.

В статистической практике в ходу два коэффициента корреляции: для числовых переменных используется коэффициент корреляции Пирсона, для ранговых – коэффициент корреляции Спирмена.

КРИТЕРИЙ СОГЛАСИЯ – проверяют гипотезу о совпадении наблюдаемой эмпирической функции распределения с теоретической функцией постулируемого распределения. Критерий согласия хи-квадрат делает это путем сравнения наблюдаемых и ожидаемых частот. Критерий Колмогорова-Смирнова основывается на максимальной разности между эмпирической и постулируемой функциями распределения.

Л

Граф без цикла называется ЛЕСОМ.

ЛИНЕЙНАЯ РЕГРЕССИЯ – В линейной регрессии модельное (теоретическое, предсказанное) значение Y является линейной комбинацией значений одного или более предикторов:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k.$$

ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ состоит в нахождении экстремального значения линейной функции многих переменных при наличии линейных ограничений, связывающих эти переменные.

Вершины степени 1 в дереве называются **ЛИСТЬЯМИ**.

ЛИЧНЫЙ ХОД – это сознательный выбор игроком одного из возможных действий.

М

МАКСИМИННАЯ СТРАТЕГИЯ – стратегия игрока, при которой он стремится сделать минимальный выигрыш максимальным, т. е. получить наилучшую выгоду в наихудших условиях.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ любой задачи линейного программирования включает в себя:

- максимум или минимум целевой функции (критерий оптимальности);
- систему ограничений в форме линейных уравнений и неравенств;
- требование неотрицательности переменных.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ – наука, занимающаяся разработкой и практическим применением методов наиболее оптимального управления организационными системами.

МАТРИЧНЫЕ ИГРЫ – это игры, математические модели которых можно представить в виде матриц.

МЕДИАНА выборки - это точка, по обе стороны которой располагается одинаковое количество элементов выборки. Если объем выборки нечетен и равен $2n + 1$, то медиана равна элементу вариационного ряда с номером $n + 1$. Если объем выборки четен и равен $2n$, то медиана равна полусумме элементов вариационного ряда с номерами n и $n + 1$.

Пример

Для нечетного количества данных, скажем, 21, имеем:

Данные 96 48 27 72 39 70 7 68 99 36 95 4 6 13 34 74 65 42 28 54 69

Вариационный ряд: 4 6 7 13 27 28 34 36 39 42 48 54 65 68 69 70 72 74 95 96 99

Медиана равна 48, 10 значений ляжет выше нее, и 10 – ниже

Для четного количества данных, скажем, 20, мы имеем:

Данные: 57 55 85 24 33 49 94 2 8 51 71 30 91 6 47 50 65 43 41 7

Вариационный ряд 2 6 7 8 24 30 33 41 43 47 49 50 51 55 57 65 71 85 91 94

Медианой в данном случае является среднее двух «серединных» точек, в данном случае среднее между 47 и 49 = 48

Медиана распределения - это точка m , определяемая аналогичным условием: вероятность того, что случайная величина примет значение, не превосходящее m , равна $1/2$.

Медиана выборки является оценкой медианы распределения.

Медиана является робастной оценкой центральной тенденции.

МЕТОД НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ – это распространенный метод оценивания параметров. Ищутся оценки, минимизирующие сумму квадратов отклонений между смоделированными (предсказанными) и наблюдаемыми значениями.

МЕТОД МАКСИМАЛЬНОГО ПРАВДОПОДОБИЯ – это общий метод вычисления оценок параметров. Ищутся такие оценки, чтобы функция правдоподобия выборки, равная произведению значений функции распределения для каждого наблюдаемого значения данных, была как можно большей.

Метод максимального правдоподобия лучше работает на больших выборках, где он, как правило, дает оценки с минимальной дисперсией. На маленьких выборках оценки максимального правдоподобия часто оказываются смещенными.

МУЛЬТИКОЛЛИНЕАРНОСТЬ – два или более предиктора коллинеарны, если сильна линейная связь между ними; их можно представить в виде линейной комбинации друг друга. Мультиколлинеарность может сделать проводимые для линейной регрессии вычисления неустойчивыми, а то и невозможными, поскольку в этом случае матрицы плохо обусловлены. Кроме того она может вызвать завышенные оценки стандартных ошибок для коэффициентов при предсказывающих переменных.

МОДЕЛЬ – материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе исследования замещает объект-оригинал так, что его непосредственное изучение дает новые знания об объекте-оригинале.

МОДЕЛИРОВАНИЕ – это изучение объекта путем построения и исследования его модели, осуществляемое с определенной целью и состоит в замене эксперимента с оригиналом экспериментом на модели.

МЕТОД АППРОКСИМАЦИИ ФОГЕЛЯ – один из группы методов определения первоначального опорного плана транспортной задачи. Данный метод состоит в следующем:

1. на каждой итерации находят разности между двумя наименьшими тарифами во всех строках и столбцах, записывая их в дополнительные столбец и строку таблицы;

2. находят $\max \Delta c_{ij}$ и заполняют клетку с минимальной стоимостью в строке (столбце), которой соответствует данная разность.

МЕТОД ДВОЙНОГО ПРЕДПОЧТЕНИЯ – один из группы методов определения первоначального опорного плана транспортной задачи.

МЕТОД МИНИМАЛЬНОЙ СТОИМОСТИ – один из группы методов определения первоначального опорного плана транспортной задачи. Суть

метода заключается в том, что из всей таблицы стоимостей выбирают наименьшую, и в клетку, которая ей соответствует, помещают меньшее из чисел a_i , или b_j .

Метод потенциалов – один из методов проверки опорного плана транспортной задачи на оптимальность.

МЕТОД СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО УГЛА – один из группы методов определения первоначального опорного плана транспортной задачи.

МИНИМАКСНАЯ СТРАТЕГИЯ – стратегия игрока, при которой он стремится сделать максимальный проигрыш минимальным.

Игра называется МНОЖЕСТВЕННОЙ, если число игроков больше двух.

Н

НЕЗАВИСИМОСТЬ – Две случайные переменные независимы, если их совместная плотность распределения равна произведению отдельных (маргинальных) плотностей. Менее формально, две случайные переменные A и B независимы, если информация о значении B не влияет на распределение вероятностей значений A и наоборот. Выборка взаимно независимых случайных переменных называется независимой выборкой.

НЕЗАВИСИМАЯ ПЕРЕМЕННАЯ – Переменная, используемая для объяснения зависимой переменной.

Синонимы: предиктор, объясняющая переменная. Смотрите также зависимую переменную.

НЕЛИНЕЙНАЯ РЕГРЕССИЯ – предполагается, что зависимость отклика от предикторов является нелинейной функцией предикторов.

НЕЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ. Целевая функция и ограничения могут быть нелинейными функциями.

Игра с НУЛЕВОЙ СУММОЙ (АНТАГОНИСТИЧЕСКАЯ), если выигрыш одного из игроков равен проигрышу другого.

О

ОДНОРОДНОСТЬ – Равенство дисперсий переменной, подсчитанных в пределах разных групп. Является стандартным требованием в таких, например, методах, как регрессионный и дисперсионный анализы.

Синоним: гомоскедастичность.

Антоним: гетероскедастичность.

ОПТИМАЛЬНЫЙ ПЛАН ЗЛП – решение задачи линейного программирования, т. е. такой план, который входит в допустимую область и доставляет экстремум целевой функции.

ОСТОВНОЙ ПОДГРАФ – это граф, множество вершин которого совпадает с множеством вершин самого графа.

ОТКРЫТАЯ ТЗ – если общее количество груза в пунктах отправления и общая потребность в пунктах назначения не совпадают ($\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$)

II

Игра называется ПАРНОЙ, если в ней участвуют два игрока.

ПОДГРАФ ГРАФА – это граф, являющийся подмоделью исходного графа, т. е. подграф содержит некоторые вершины исходного графа и некоторые ребра (только те, оба конца которых входят в подграф).

ПОЛНЫМ называется ГРАФ, в котором каждые две вершины смежные.

ПЛАТЕЖНАЯ МАТРИЦА ИГРЫ – матрица размерности m на n , $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n$, (i,j) -ый элемент которой значение выигрыша (пригрыша) игроков в случае i -го хода первого игрока и j -го хода второго игрока.

ПРЕДМЕТ ТЕОРИИ ИГР принятие решений в условиях неопределенности, в условиях столкновения, конфликтных ситуациях, когда принимающий решение субъект (игрок), располагает информацией лишь о множестве возможных ситуаций, в одной из которых он в действительности находится, о множестве решений, которые он может принять, и о количественной мере того выигрыша, который он мог бы получить, выбрав в данной ситуации данную стратегию.

ПРИНЦИП ОПТИМАЛЬНОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ – каково бы ни было состояние системы в результате какого-либо числа шагов, на ближайшем шаге нужно выбирать управление так, чтобы оно в совокупности с оптимальным управлением на всех последующих шагах приводило к оптимальному выигрышу на всех оставшихся шагах, включая выигрыш на данном шаге. Простая цепь – маршрут, в котором все вершины попарно различны.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ значений данных производится путем применения одной и той же функции ко всем значениям переменной; важно то, что аргументами такой функции могут являться только значения переменных текущего наблюдения.

Распространенными примерами таких операций являются: добавление константы, умножение на константу, взятие логарифма.

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФУНКЦИЯ (production function) – отражает зависимость между количеством применяемых ресурсов и максимально возможным объемом выпускаемой продукции в единицу времени; описывает всю совокупность технически эффективных способов производства (технологий).

ПРОСТОЙ ГРАФ – это граф без кратных ребер и петель.

ПРОСТОЙ ЦИКЛ – цикл, в котором все вершины, кроме первой и последней, попарно различны.

ПУСТЫМ называется ГРАФ без ребер.

ПУТЬ В ОРИЕНТИРОВАННОМ ГРАФЕ это последовательность дуг, в которой конечная вершина всякой дуги, отличной от последней, является начальной вершиной следующей.

Р

РЕШЕНИЕ – всякий определенный набор зависящих параметров.

С

ГРАФ называется **СВЯЗНЫМ**, если любая пара его вершин связана.

СГЛАЖИВАНИЕ, ФИЛЬТРАЦИЯ – сглаживание применяется для уменьшения иррегулярности (случайных изменений) временных рядов. Распространенным методом сглаживания является сглаживание простым скользящим средним (хотя существуют и другие способы). Способ сглаживания определяется свойствами ряда и целями его обработки.

СИМПЛЕКС МЕТОД – алгоритм последовательного улучшения плана, позволяющий осуществлять переход от одного допустимого базисного решения к другому таким образом, что значение целевой функции непрерывно возрастают и за конечное число шагов находится оптимальное решение.

СЕДЛОВОЙ ТОЧКОЙ действительной функции $f(x, y)$, определённой для всех $x \in A$, $y \in B$, называется точка (x_0, y_0) , где $x \in A$, $y \in B$, если выполнены следующие условия:

1. $\forall x \in A, f(x, y_0) \leq f(x_0, y_0)$,
2. $\forall y \in B, f(x_0, y) \geq f(x_0, y_0)$.

СЛУЧАЙНЫЙ ХОД – это случайно выбранное действие игроком.

СТАНДАРТНАЯ ФОРМА ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ является задачей на максимум (минимум) линейной целевой функции. Система ограничений ее состоит из одних линейных неравенств типа « $\leq$ » или « $\geq$ ». Все переменные задачи неотрицательны.

СТАЦИОНАРНАЯ ТОЧКА – точка X^* , в которой все частные производные функции $Z = f(X)$ равны 0.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ НЕЗАВИСИМОСТЬ – отсутствие связи между переменными. Независимость двух непрерывных переменных часто ошибочно отождествляют с равенством нулю их корреляции (ковариации), однако, это верно только если они подчиняются двумерному нормальному распределению.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ – Статистический критерий состоит из следующих компонент: пара гипотез - нулевая и альтернативная, статистика критерия и уровень значимости; по ним находится критическая область.

Проверка гипотезы начинается с вычисления статистики. Если значение попадает в критическую область, мы отвергаем нулевую гипотезу и считаем

истинной ее альтернативу. В противном случае у нас нет оснований отвергнуть нулевую гипотезу.

СТАТИСТИКА – это функция элементов выборки. Дает информацию о неизвестных значениях параметров генеральной совокупности. Например, среднее выборки является, как правило, оценкой среднего совокупности, из которой была взята выборка.

Из генеральной совокупности можно сделать много разных выборок, причем значение статистики в общем случае будет меняться от выборки к выборке; другими словами, выборка является случайной, а значит, случайной величиной является и статистика. Например, выборочные средние для разных выборок из одной и той же совокупности могут различаться между собой.

Статистики обычно обозначают латинскими буквами, а оцениваемые ими параметры – греческими.

СТАЦИОНАРНЫМИ называются показатели, среднее которых можно считать неизменным; нестационарными - показатели среднее которых изменяется со временем.

Системы одновременных эконометрических уравнений являются третьим основным классом моделей, которые применяются для анализа и (или) прогноза. Эти модели описываются системами уравнений, которые могут состоять из тождеств и регрессионных уравнений, каждое из которых может, кроме объясняющих переменных, включать в себя также объясняемые переменные из других уравнений системы. Т.е. набор объясняемых переменных связан через уравнения системы.

СТЕПЕНЬ ВЕРШИНЫ – это удвоенное количество петель, находящихся у этой вершины плюс количество остальных прилегающих к ней ребер.

СТОХАСТИЧЕСКОЕ ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ. Бывает много практических ситуаций, когда коэффициенты c_i целевой функции, коэффициенты a_{ij} в матрице коэффициентов, коэффициенты ограничений b_i - являются случайными величинами. В этом случае сама целевая функция становится случайной величиной, и ограничения типа неравенств могут выполняться лишь с некоторой вероятностью. Приходится менять постановку самих задач с учётом этих эффектов и разрабатывать совершенно новые методы их решения. Соответствующий раздел получил название стохастического программирования.

СТРАТЕГИЕЙ ИГРОКА называется совокупность правил, определяющих выбор его действия при каждом личном ходе в зависимости от сложившейся ситуации.

Т

ТЕОРЕМА ОБ АКТИВНЫХ СТРАТЕГИЯХ. Если один из игроков придерживается своей оптимальной смешанной стратегии, то выигрыш

остаётся неизменным и равным цене игры v , если второй игрок не выходит за пределы своих активных стратегий.

ТЕОРИЯ ГРАФОВ. С помощью теории графов решаются многие сетевые задачи, связанные с минимальным протяжением сети, построение кольцевого маршрута и т.д.

ТЕОРИЯ ИГР пытается математически объяснить явления возникающие в конфликтных ситуациях, в условиях столкновения сторон. Такие ситуации изучаются психологией, политологией, социологией, экономикой.

ТРАНСПОРТНАЯ ЗАДАЧА – в общем виде состоит в определении оптимального плана перевозок некоторого однородного груза из m пунктов отправления $A_1, A_2, \dots, A_m$ в n пунктов назначения $B_1, B_2, \dots, B_n$.

ТРЕНД – для лучшего понимания временного ряда мы выделяем его основные характеристики. Одной из таких характеристик является тренд.

Тренд это долговременное изменение временного ряда. Это направление (тенденция к повышению или снижению) и скорость изменения временного ряда, при сделанных допущениях о других компонентах.

Х

ХОД ИГРОКА – выбор и осуществление одного из предусмотренных правилами действий.

Ц

ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ – функция в математическом программировании, для которой требуется найти экстремум.

ЦЕНА ИГРЫ – величина выигрыша игрока.

Выигрыш, соответствующий оптимальному решению, называется **ЦЕНОЙ ИГРЫ** v .

ЦЕПЬ маршрут, в котором все ребра попарно различны.

Цикл замкнутый маршрут, являющийся цепью.

ЦИКЛОМ называют замкнутую ломаную линию, все вершины которой лежат в занятых ячейках, кроме одной, расположенной в свободной клетке, подлежащей заполнению, а звенья параллельны строкам и столбцам, причем в каждой строке (столбце) лежит не более 2-х вершин.

Ч

ЧИСТЫЕ СТРАТЕГИИ – возможные ходы в распоряжении игроков.

Э

ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЕ СГЛАЖИВАНИЕ – метод сглаживания временного ряда, используемый для уменьшения иррегулярности (случайных колебаний) временного ряда, что позволяет получить более ясное

представление о лежащих в основе этого ряда закономерностях. Используется также для прогнозирования значения ряда (для 1-2 шагов) прогноза.

ЭКСТРОПОЛЯЦИЯ – Предсказание значения переменной за пределами интервала анализа. Термин применяется, как правило, при анализе временных рядов. Для коротких промежутков времени применяются количественные предсказания, интерполяции.

Количественное предсказание далекого будущего, как правило, менее полезно и применяется для указания на необходимость изменения построенной модели.

ЭЛЕМЕНТЫ РЕШЕНИЯ – параметры, совокупность которых образует решение

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Тема: Строительно-дорожные машины и оборудование

1. Дайте определение терминам: машина, механизм, деталь.
2. Какие механические передачи применяются в строительных машинах?
3. Дайте определение термину полиспаст и нарисуйте примеры одинарного и сдвоенного полиспастов.
4. Какое силовое оборудование применяется в строительных машинах?
5. Из каких элементов состоит гидравлический привод? Принцип действия гидравлического привода.
6. Из каких элементов состоит пневматический привод? Принцип действия пневматического привода.
7. Назовите виды ходового оборудования строительных машин.
8. Дайте характеристику основных показателей технико-эксплуатационных показателей строительных машин.
9. Дайте общую классификацию строительных машин по видам работ.
10. Какие машины относятся к транспортным машинам?
11. Какие машины относятся к специализированным транспортным средствам?
12. Перечислите основные виды транспортирующих машин. Для каких видов работ они применяются?
13. Какие машины относятся к группе погрузочно-разгрузочные?
14. Дайте общую характеристику грузоподъемных машин.
15. Приведите понятие терминов: домкраты; тали; лебедки.
16. Дайте характеристику строительных подъемников.
17. Опишите систему индексации строительных башенных кранов.

18. Какие системы безопасности применяются в строительных башенных кранах?
19. Перечислите основные механизмы и конструктивные элементы строительных башенных кранов.
20. Опишите систему индексации стреловых самоходных кранов.
21. Какие системы безопасности применяются в стреловых самоходных кранах?
22. Перечислите основные механизмы и конструктивные элементы стреловых самоходных кранов.
23. Какие краны, кроме башенных и самоходных стреловых, применяются в строительной отрасли?
24. Дайте характеристику основных способов разработки грунтов.
25. Назовите основные рабочие органы машин для земляных работ.
26. Как классифицируются машины для земляных работ по видам работ?
27. Дайте характеристику группы машин для подготовительных работ.
28. Приведите определения основных землеройно-транспортных машин. Как определяется их производительность?
29. Дайте общую характеристику группы землеройных машин (экскаваторов).
30. Опишите систему индексации одноковшовых и многоковшовых траншейных экскаваторов.
31. Напишите и объясните формулы производительности одноковшовых и многоковшовых экскаваторов.
32. Дайте общую характеристику машин для бестраншейной прокладки коммуникаций.
33. Как классифицируются и для каких видов работ применяются бурильно-крановые машины?
34. Дайте характеристику машин для уплотнения грунтов, дорожных оснований и покрытий. Их достоинства и недостатки.
35. Приведите общую характеристику оборудования для свайных работ.
36. Перечислите основные методы дробления и тонкого измельчения строительных материалов. Назовите основные гипотезы дробления. Как их используют при определении силовых и энергетических параметров машин для измельчения?
37. Дайте определение щековой дробилки со сложным и простым движениями щеки. Как определить основные параметры дробилки, производительность, мощность привода?
38. Приведите классификацию и дайте схемы валковых и конусных дробилок; назовите область их применения. Как определить основные параметры, производительность, мощность привода?

39. Назовите основные типы и дайте схемы роторных, молотковых дробилок, их назначение. Как определить производительность и мощность привода?
40. Назовите наиболее распространенные методы сортировки сыпучих материалов. Дайте основные конструктивные схемы; приведите методы определения основных параметров и производительности.
41. Дайте классификацию и схемы машин для приготовления цементобетонных смесей, область применения гравитационных смесителей и смесителей принудительного действия. Как определить их производительность?
42. Назовите основные группы ручных машин. Система индексации ручных машин.
43. Опишите основные группы машин для отделочных работ.
44. Дайте основные признаки и классификацию поливочно-моечных машин. Как происходит удаление загрязнений в моеющем секторе?
45. Дайте классификацию подметально-уборочных машин.
46. Назовите преимущества и недостатки систем влажного и пневматического обеспыливания.
47. Назовите основные признаки и дайте классификацию плужных снегоочистителей.
48. Дайте классификацию роторных снегоочистителей.
49. Назовите основные устройства машин для восстановления и реконструкции покрытий дорог и аэродромов, приведите пример схемы машин для восстановления асфальтобетонных покрытий, дорожных фрез.
50. Дайте определение понятий «автоматика» и «автоматизация».
51. Опишите основные положения классификации систем автоматики строительных машин.
52. Дайте общую классификацию средств автоматики.
53. Приведите характеристику применения микропроцессоров в системах автоматического управления.
54. Дайте характеристику общего состояния автоматизации в строительной отрасли.
55. Опишите основные направления систем управления рабочими процессами машин.
56. Дайте характеристику систем автоматизации бульдозеров.
57. Опишите систему автоматизации автогрейдеров.
58. Дайте характеристику системы автоматизации скреперов.
59. Назовите основные особенности автоматизации одноковшовых и многоковшовых экскаваторов.
60. Дайте характеристику систем автоматизации свайных работ.
61. Опишите системы автоматизации и контроля качества рабочего процесса уплотнения дорожно-строительных материалов.
62. Дайте характеристику систем автоматизации грузоподъемных

машин.

63. Дайте общую характеристику системы технического обслуживания и ремонта строительных машин.

64. Приведите определение понятиям «техническое обслуживание», «ремонт».

65. Какие виды ремонта и технического обслуживания предусмотрены нормативными документами? Дайте их общую характеристику.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Тема: Методы комплексной механизации строительства

1. Дайте определения понятия «Комплексная механизация строительства».

2. Что такое основной, вспомогательный и обслуживающий процессы?

3. Перечислите специфические особенности комплексной механизации в строительстве.

4. Назовите пять основных способов превращения исходных продуктов в готовое изделие, конструкцию, объект и т.д.

5. Назовите основные фазы строительного производства.

6. Перечислите основные этапы определения эффективных средств механизации.

7. Дайте определения таким понятиям как комплект, комплекс, система и парк машин.

8. Приведите примеры систем машин с регулярными и нерегулярными потоками.

9. Назовите основные структуры комплексно-механизированных процессов в строительстве.

10. Какие структуры технологических процессов наиболее часто используются в строительстве?

11. Какие виды производительностей Вы знаете для машины, комплекта и комплекса машин?

12. Как определяется себестоимость механизированных работ и приведенные затраты?

13. Как определить режим работы средств механизации?

14. Какие показатели и коэффициенты используются для оценки уровня механизации и автоматизации в строительстве?

15. Перечислите виды и средства механизации строительных работ.

16. Назовите основные состояния системы «объект-технология-комплект машин».

17. Дайте классификацию задач комплектования машин в

строительстве.

18. Назовите основные стадии развития средств механизации строительства.

19. Сформулируйте основные условия, необходимые для эффективного комплектования машин в строительстве.

20. Основные подходы и принципы решения задач комплексной механизации строительства.

21. Назовите этапы формализации процесса комплектования машин в строительстве.

22. Перечислите основные действия на этапе «Постановка задачи и выбор критерия оптимизации».

23. Какие критерии оптимизации используются в процессе механизации строительства?

24. Перечислите основные действия на этапе «Выявления основных особенностей, взаимосвязей и количественных закономерностей».

25. Перечислите основные действия на этапе «Построение математической модели».

26. Перечислите основные действия на этапе «Исследование модели». Назовите преимущества и недостатки аналитических, численных и имитационных методов исследования.

27. Какие методы используются на этапе исследования модели механизированного процесса?

28. Сформулируйте задачу оптимального комплектования машин в условиях полной определенности.

29. Дайте определение понятия "Граф возможных комплектов машин".

30. Сформулируйте принцип оптимальности Беллмана.

31. Напишите функциональное уравнение Беллмана и раскройте его содержание.

32. Изложите алгоритм оптимального комплектования машин методом динамического программирования.

33. Сформулируйте задачу комплектования машин в условиях неполной определенности с ограничениями.

34. Напишите математическую модель оптимального комплектования машин в условиях неполной определенности с ограничениями.

35. Изложите алгоритм оптимального комплектования машин симплекс-методом.

36. Сформулируйте задачу комплектования машин в условиях неполной определенности о среде.

37. Напишите математическую модель оптимального комплектования машин в условиях неполной определенности о среде.

38. Изложите алгоритм оптимального комплектования машин с использованием статистических решений.

39. Сформулируйте задачу комплектования машин в условиях полной неопределенности.
40. Напишите математические модели различных методов оптимального комплектования машин в условиях полной неопределенности (Вальда, Сэвиджа, Гурвица и Байеса Лапласа).
41. Изложите алгоритмы различных методов оптимального комплектования машин в условиях полной неопределенности.
42. Расшифруйте понятие комплектование машин как системы массового обслуживания.
43. Перечислите основные характеристики системы массового обслуживания.
44. Дайте классификацию комплектов машин как систем массового обслуживания.
45. Постройте размеченный граф состояний одноканального комплекта машин.
46. Постройте математическую модель функционирования одноканального комплекта машин.
47. Определите аналитически основные характеристики одноканального комплекта машин.
48. Напишите критерий оптимизации для определения одноканального комплекта машин.
49. Определите аналитически оптимальную структуру одноканального комплекта машин.
50. Постройте размеченный граф состояний многоканального комплекта машин.
51. Постройте математическую модель функционирования многоканального комплекта машин.
52. Определите аналитически основные характеристики многоканального комплекта машин.
53. Напишите критерий оптимизации для определения многоканального комплекта машин.
54. Определите аналитически оптимальную структуру многоканального комплекта машин.
55. Сформулируйте задачу определения оптимальной грузоподъемности автосамосвала.
56. Напишите критерий оптимизации для определения оптимальной грузоподъемности автосамосвала.
57. Как определяется сменная производительность комплекта машин экскаватор - автосамосвалы.
58. Постройте математическую модель для определения оптимальной грузоподъемности автосамосвала.
59. Определите оптимальную грузоподъемность автосамосвала, используя построенную математическую модель.

60. Сформулируйте задачу определения оптимальных параметров комплекта машин «экскаватор – автосамосвалы».
61. Напишите критерий оптимизации для определения параметров комплекта машин «экскаватор – автосамосвалы».
62. Как определяется сменная производительность комплекта машин «экскаватор – автосамосвалы».
63. Постройте математическую модель для определения параметров комплекта машин «экскаватор – автосамосвалы».
64. Определите оптимальные параметры комплекта машин «экскаватор - автосамосвалы».
65. Сформулируйте задачу определения оптимальных параметров землеройно-транспортных машин.
66. Напишите критерий оптимизации для определения параметров землеройно-транспортных машин.
67. Как определяется сменная производительность землеройно-транспортных машин.
68. Постройте математическую модель для определения параметров землеройно-транспортных машин.
69. Определите оптимальные параметры землеройно-транспортных машин.
70. Сформулируйте задачу определения оптимальной мощности толкача для скрепера.
71. Напишите критерий оптимизации для определения оптимальной мощности толкача для скрепера.
72. Постройте математическую модель для определения оптимальной мощности толкача для скрепера.
73. Определите оптимальную мощность толкача для скрепера, используя построенную математическую модель.
74. Сформулируйте задачу определения оптимальной технологии при прокладке русла канала.
75. Напишите критерий оптимизации для определения оптимальной технологии при прокладке русла канала.
76. Сформулируйте задачу определения оптимальной технологии при выполнении работ поточным методом.
77. Напишите критерий оптимизации для определения оптимальной технологии при выполнении работ поточным методом.
78. Постройте математическую модель для определения оптимальной технологии при выполнении работ поточным методом.
79. Определите оптимальную технологию при выполнении работ поточным методом.
80. Сформулируйте задачу определения оптимального распределения комплектов машин по объектам строительства и оптимального распределения однородного груза.

81. Напишите математическую модель для определения оптимального распределения комплектов машин по объектам строительства.
82. Напишите критерий оптимизации для определения основных параметров транспортного комплекта машин, включающего несколько прицепов.
83. Определите число прицепов в транспортном комплекте машин для различных схем работы.
84. Постройте математическую модель для определения оптимальной грузоподъемности прицепа и их числа.
85. Аналитически определите оптимальную грузоподъемность прицепа и их число для различных схем работы комплекта машин.
86. Напишите критерий оптимизации для определения основных параметров погрузочно-транспортного комплекта машин, включающего несколько прицепов.
87. Как определить число прицепов в погрузочно-транспортном комплекте машин для различных схем работы.
88. Постройте математическую модель для определения оптимальной грузоподъемности погрузочного средства, прицепа и их числа.
89. Аналитически определите оптимальную грузоподъемность погрузочного средства, прицепа и их число для различных схем работы комплекта машин.
90. Как изменять параметры исследования функционирования комплекта машин при использовании метода имитационного моделирования.
91. Сформулируйте задачу оптимального распределения n машин по n объектам строительства с пропорциональными затратами.
92. Напишите математическую модель для решения задачи оптимального распределения m машин по n объектам строительства.
93. Изложите алгоритм венгерского метода для решения задачи оптимального распределения m машин по n объектам строительства.
94. Сформулируйте задачу оптимального распределения m машин по n объектам строительства с пропорциональными затратами.
95. Напишите математическую модель, для решения задачи оптимального распределения m машин по n объектам строительства.
96. Изложите методы определения начального плана для решения задачи оптимального распределения m машин по n объектам строительства.
97. Изложите приближенный метод решения задачи оптимального распределения m машин по n объектам строительства.
98. Изложите точный метод решения задачи оптимального распределения m машин по n объектам строительства.
99. Сформулируйте задачу оптимального распределения объемов работ по комплектам машин с непропорциональными затратами.
100. Напишите критерий оптимизации для решения задачи оптимального распределения объемов работ по комплектам машин с

непропорциональными затратами.

101. Изложите алгоритм метода динамического программирования для решения задачи оптимального распределения объемов работ по комплектам машин с непропорциональными затратами.

102. Сформулируйте задачу для определения границ эффективного использования комплектов машин.

103. Напишите уравнения для определения границ эффективного использования комплектов машин.

104. Сформулируйте задачу для определения оптимальных областей использования средств механизации.

105. Напишите математическую модель для определения оптимальных областей использования средств механизации.

106. Сформулируйте задачу для определения оптимального использования сменного рабочего оборудования средств механизации.

107. Напишите математическую модель для определения оптимального использования сменного рабочего оборудования средств механизации.

108. Изложите алгоритм определения оптимального использования сменного рабочего оборудования средств механизации.

109. Сформулируйте задачу определения параметров функционирования комплекта машин с учетом устранения отказов и резервирования.

110. Составьте размеченный граф состояний функционирования комплектов машин с учетом устранения отказов и резервирования.

111. Напишите систему уравнений, описывающих состояние функционирования комплектов машин с учетом устранения отказов и резервирования.

112. Выполните аналитическое решение задачи определения параметров

113. функционирования комплектов машин с учетом устранения отказов и резервирования

114. Напишите имитационную модель функционирования системы обслуживания с равномерными потоками событий.

115. Сформулируйте постановку задачи определения параметров функционирования системы обслуживания парка машин.

116. Поясните процесс работы имитационной модели определения параметров функционирования системы обслуживания парка машин.

117. Сформулируйте задачу определения оптимального фронта работ.

118. Напишите критерий оптимизации для определения оптимального фронта работ.

119. Определите аналитически оптимальный фронт работ.

120. Сформулируйте задачу оптимизации системы обслуживания.

121. Напишите критерий оптимизации для определения оптимальной системы обслуживания.

122. Проведите аналитическое исследование системы обслуживания.
123. Сформулируйте задачу оптимального насыщения фронта работ комплектами машин.
124. Напишите критерий оптимизации для определения оптимального насыщения фронта работ комплектами машин.
125. Проведите аналитическое исследование для определения оптимального насыщения фронта работ комплектами машин.
126. Сформулируйте задачу оптимизации продолжительности выполнения механизированных работ.
127. Напишите критерий оптимизации для определения продолжительности выполнения механизированных работ.
128. Проведите аналитическое исследование для определения продолжительности выполнения механизированных работ.
129. Сформулируйте основные условия оптимизации парка машин.
130. Дайте классификацию задач оптимизации парка машин.
131. Сформулируйте постановку задачи оптимизации парка машин.
132. Изложите алгоритм оптимизации парка с использованием метода Фогеля.
133. Изложите алгоритм оптимизации парка с использованием метода дефекта.
134. Дайте классификацию методов прогнозирования комплексной механизации,
135. Изложите алгоритм метода экспертной оценки средств механизации.
136. Оценка продолжительности выполнения механизированных работ.
137. Прогнозирование основных параметров средств механизации.
138. Изложите алгоритм расчета параметров уравнения множественной регрессии.
139. Сформулируйте общие положения расчета экономической эффективности средств механизации строительства.
140. Расчет годового режима работы комплекта машин.
141. Расчет капитальных вложений комплекта машин.
142. Расчет текущих эксплуатационных затрат.
143. Расчет заработной платы.
144. Расчет затрат на эксплуатацию комплекта машин
145. Расчет удельных приведенных затрат.
146. Расчет годового экономического эффекта.