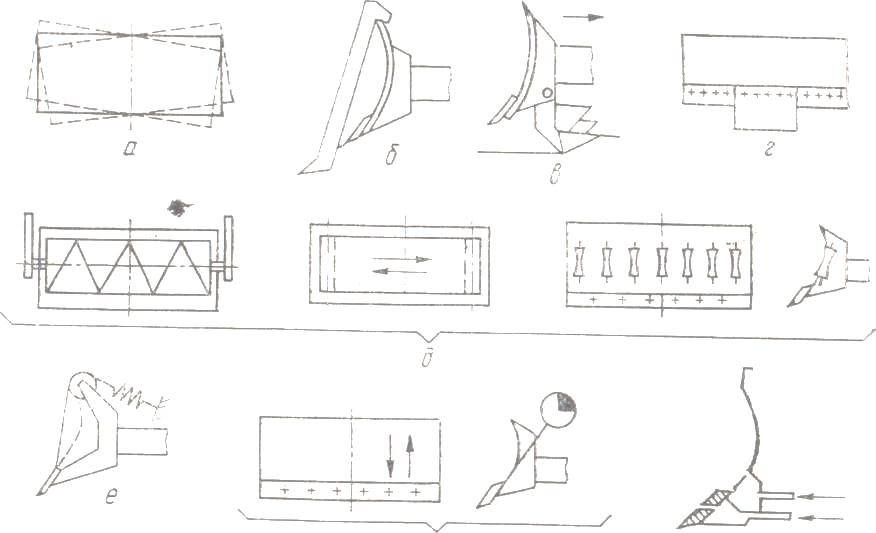
**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

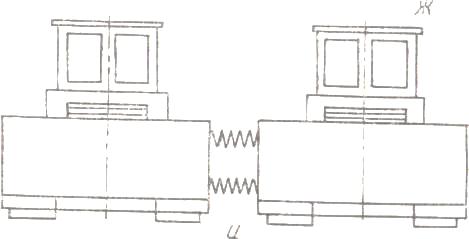
Повышение эффективности бульдозерных, рыхлительных, экс­каваторных и скреперных работ достигается совершенствовани­ем конструкций строительных машин, созданием оборудования с использованием новых методов воздействия на грунт, а также совершенствованием технологии ведения работ.

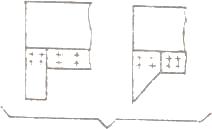
Бульдозерные работы. Эффективность бульдозерного оборудо­вания повышается при использовании накопительных открылков (неуправляемые и управляемые), создании соответствующей формы отвалов в плане (сферическая и полусферическая), при­менении адаптируемого отвала, обеспечивающего изменение уг­лов резания, опрокидывания, кривизны, конфигурации режущего ножа и т. п.

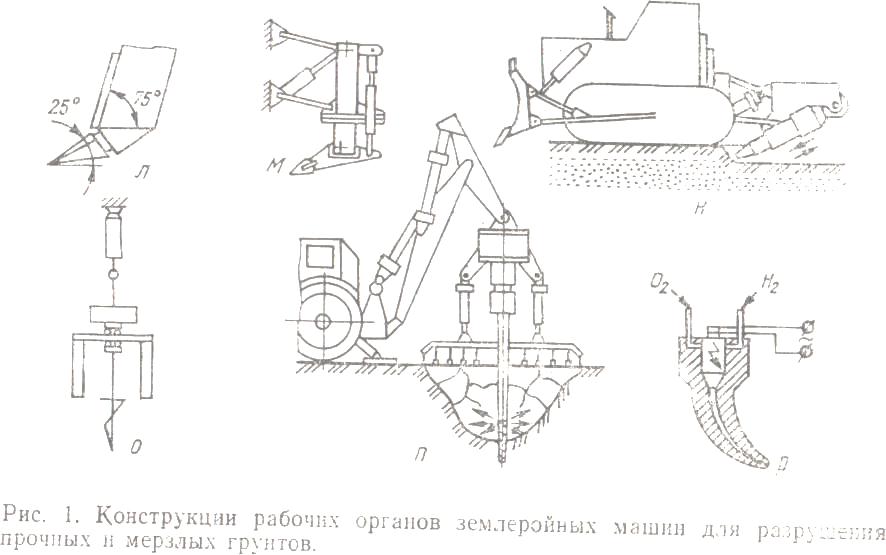
Для повышения производительности бульдозеров при работе на прочных грунтах III и IV категорий рекомендуется использо­вать на определенном участке длины режущей кромки отвала принцип концентрации усилий. Наиболее эффективным решени­ем является обеспечение перекоса отвала в поперечной плоскос­ти (рис. 1, а), составляющего в среднем 12... 18°. При этом про­изводительность бульдозера возрастает в 1,4... 1,5 раза.

В некоторых конструкциях предусматривают управляемые рыхлительные зубья, расположенные с лобовой или тыльной сто­рон отвала либо по бокам отвала (рис. 1, б, в). Такой отвал хо­рошо внедряется в грунт и выполняет при необходимости рыхле­ние грунта.









Повышенной накопительной способностью обладают отвалы с выступающим средним ножом (рис. *I, г).* По способности на­капливать и удерживать призму волочения оборудование высту­пающего среднего ножа аналогично действию открылков к отва­лам, но отличается большой прочностью и надежностью в рабо­те. Исследования, проведенные на экспериментальных образцах в полевых условиях, показали, что применение выступающего управляемого ножа на бульдозерах обеспечивает повышение производительности на 10...30 % и более, снижение энергоемкос­ти процесса копания на 15...30 и металлоемкости оборудования на 10... 15 %, а также расширение области применения бульдозе­ров за счет разработки более прочных и подмороженных грун­тов IV—V категории прочности.

Для перемещения грунта рекомендуется использовать отвалы ковшового типа и с двухножевой системой копания, передний нож у которых вынесен вперед из-под призмы волочения.

Эффективность оборудования может быть повышена при соз­дании рабочих органов с дополнительными интенсификаторами. Расширение области применения и улучшение перемещения грунта в сторону могут быть достигнуты за счет установки пе­ред отвалом шнека, ленточного транспортера (реверсивного), ро­ликовых элементов и гибкой лобовой поверхности (рис. 1, *д, е).* Снижение сопротивления грунтов резанию, копанию достигается также наложением механических колебаний на отвал, режущий нож и зубья (рис. 1, *ж).*

Существенный эффект достигается при оснащении бульдозе­ров интенсификаторами, обеспечивающими газовую смазку по­верхности отвала, контактирующей с грунтом, и разрушение грунта импульсным газовым потоком высокого давления. В пер­вом случае реализуется возможность копания грунта с большой толщиной стружки за счет уменьшения сил трения грунта по от­валу (рис. 1, з), во втором — разрушения и перемещения мате­риала энергией сжатых газов.

Интенсифицируют бульдозерные работы также за счет приме­нения более эффективной технологии выполнения земляных ра­бот. Применение траншейной схемы разработки позволяет уве­личить производительность на 15...20 %. Повышению эффектив­ности бульдозерных работ способствует агрегатирование буль­дозеров, заключающееся в сдвоенной схеме копания и переме­щения грунта (рис. 1, *и).*

Широко применяется метод перемещения грунта с промежу­точным накоплением; перемещение грунта на 100 м можно вы­полнить за один цикл. Если допустимые потери грунта на 100 м составляют 1 м3, то из 2 м3 грунт к месту отсыпки будет достав­лен 1 м3. Используя метод перемещения грунта в начале за че­тыре рейса на 50 м, а затем за три еще на 50 м, производитель­ность бульдозера увеличится до 30 %•

**Рыхлительные работы.** Распространены способы разработки мерзлых грунтов, основанные на их предохранении от промер- зания или за счет оттаивания. Оттаивание мерзлых грунтов осу­ществляется с помощью использования электрической энергии, пара, воды, а также огневым способом. Для этих методов оттаи­вания характерны высокая стоимость, сложность подготовитель­ных работ и значительная продолжительность самого процесса.

Конструкция машин для разрушения прочных и мерзлых грун­тов зависит от принятого способа разрушения: механического, газодинамического, гидравлического, электрофизического или хи­мического.

В строительстве получил распространение механический спо­соб разрушения мерзлых и прочных грунтов, основанный на кон­центрированном воздействии на грунт рабочего инструмента клинообразной формы под действием статических или динамиче­ских нагрузок. Этот способ эффективный при выполнении боль­ших объемов земляных работ. Разрушение мерзлых и прочных грунтов механическими способами осуществляется различными органами. Для этого используются: перекос бульдозерного отва­ла; выступающие на отвале средние ножи, позволяющие скон­центрировать усилие внедрения на небольшом участке ножа; подвижные управляемые средние ножи или подвижные средние части отвалов; отвалы, оборудованные специальными угловыми ножами для лучшего внедрения в грунт; рабочие органы с нало­жением на режущие зубья механических колебаний.

Эффективным устройством для разрушения мерзлых грунтов, устанавливаемым на бульдозерном оборудовании, является вы­ступающий средний нож (ВСН) (рис. *I, г).* При работе бульдо­зера с ВСН улучшается внедрение ножа в грунт, повышается устойчивость в процессе движения при копании и улучшаются условия набора призмы волочения. Аналогичный эффект может быть получен при использовании составных отвалов с выдвиж­ной средней частью, обеспечивающей механическую регулиров­ку выдвижения режущей кромки центрального ножа относитель­но основной режущей кромки в зависимости от свойств разра­батываемого грунта. Выдвижение средней части ножа осущест­вляется гидроцилиндрами управления, установленными на тыль­ной стороне отвала. Оптимальные условия копания достигаются при ширине выступающего ножа 0,25...0,30 ширины отвала.

В ряде строительных организаций [[1]](#footnote-1) Московской, Горьковской, Ростовской областей, Крыма, Казахстана и Узбекистана изготовлено и испытано оборудование ВСН к отвалам бульдозеров ДЗ-29А (Д-535), ДЗ-42 (Д-606), Д3-53 (Д-686), ДЗ-54 (Д-687А). Испытания в различных климатических зонах на грунтах различной прочности показали, что применение буль­дозеров с ВСН повышает техническую производительность на 15...30 % при снижении часового расхода топлива на 5...7 %. Из­готовление ВСН осуществляется в условиях трестов, управлений механизации, дорожно-строительных управлений и передвижных механизированных колоннах, имеющих ремонтно-механические мастерские.

Установка специальных угловых ножей на бульдозерных от­валах при наличии перекоса также способствует хорошему вне­дрению рабочего органа в мерзлый и прочный грунт (рис. 1, к). В отечественной и зарубежной практике широко используются объемные угловые ножи (прямоугольные, скошенные, фигурные) и выполненные из высокопрочной стали штамповкой или литьем. В условиях эксплуатационных организаций дорожного строи­тельства изготовление ножей можно осуществить ковкой или сваркой с поверхностным упрочнением. В трестах Днепрострой- механизация, Днепроспецэкскавация, Днепроспецстрой при веде­нии дорожного строительства применяются рыхлительные зубья, смонтированные на бульдозерных отвалах. В зависимости от на­правления движения базового трактора при рыхлении различа­ют зубья переднего и заднего рыхления. Зубья заднего рыхления обеспечивают разрушение прочных и мерзлых грунтов при дви­жении базового трактора задним ходом. Производительность землеройных машин с зубьями заднего рыхления может быть повышена на 25...30 % за счет холостого хода базового трактора.

В Мировском СУ треста Днепроспецэкскавация опробована конструкция рыхлителя, спроектированная с учетом изменения прочности грунта по глубине массива. При этом зуб имеет пе­ременный угол рыхления, что обеспечивает разрушение наиболее прочной части массива грунта путем отрыва (рис. 1, л). Перед­няя грань нижней части стойки зуба наклонена к горизонту под углом 75°. Производительность таких рыхлителей возрастает на 25...30 %, при этом снижаются динамические нагрузки на базо­вую машину.

Представляет интерес конструкция рыхлительного оборудова­ния с регулируемым углом рыхления, внедряемая на Челябин­ском заводе им. Колющенко (рис. 1, м). По мере износа нако­нечника зуба с помощью гидроцилиндра управления можно под­держивать постоянный угол рыхления. Такой рыхлитель обеспе­чивает фронт работ шести — восьми скреперам ДЗ-20 и двум экс­каваторам ЭО-4121 (Э-652), а также может быть использован для подготовки корыта под дорожное основание. Активизация рабочего органа рыхлителя достигается за счет использования вибровозбудителя, смонтированного на зубе. Привод вибровоз­будителей осуществляется от вала отбора мощности двигателя базового трактора.

Хорошие результаты были получены при работе гидро- и пневмомолотов, позволяющих получать направленный ударный им­пульс, передаваемый на разрабатываемый грунтовой массив (рис. 1, и).

В тресте Мосинжстроймеханизация № 1 несколько лет эксплу­атируется навесной экскаваторный рыхлитель, представляющий собой пневмомолот конструкции ИГД-СО АН СССР, с энергией удара 1000 Н и частотой 570 уд/мин. Молот имеет зажимное устройство для крепления на ковше. Сжатый воздух к пневмомолоту подводится по гибкому шлангу от компрессора производитель­ностью 10 м3/мин. При монтаже такого рыхлителя на экскаватор не требуются существенные переделки конструкции базовой машины.

Снижение энергоемкости разработки мерзлого грунта обеспе­чивается рабочими органами машин, разрушающими грунт при доминировании деформации отрыва, например машин с винтоклиновым рабочим органом активного действия (рис. 1, с). Кон­струкция мерзлоторыхлителей разработана к тракторам «Бела­русь», Т-100, экскаваторам ЭО-2621 и др. Рабочий орган состоит из штанги и винтовой лопасти с постоянным шагом и заходной конической и рабочей цилиндрическими частями. Он расположен между клиньями и может свободно вращаться. Угол подъема винтовой лопасти рабочего винта по длине — переменный. Ее нижняя часть наклонена к горизонту под углом 60...70°; а верх­няя — 19—21°. Коническая заходная часть лопасти и большой угол наклона ее к горизонту обеспечивают сравнительно легкое внедрение рабочего винта в грунт. Малый угол наклона к гори­зонту цилиндрической части лопасти позволяет создать макси­мальное осевое усилие при завинчивании рабочего винта в грунт. Привод рабочего винта осуществляется от гидродвигателя с большим моментом, включенного в гидросистему экскаватора или трактора через добавочную секцию распределителя. Анало­гичную конструкцию имеет винтоклиновый рабочий орган к трак­тору Т-100М (Т-130). Средняя эксплуатационная производитель­ность при длительной работе составляет: при сколе в забой 30... 40 м3/ч, при рыхлении траншеи шириной 1 м и глубиной 1,5 м — 37,5 м3/ч.

Повысить эффективность рыхлительного оборудования винто­вого типа можно, используя энергию сжатого газа. Отличитель­ная особенность такого оборудования в том, что оно внедряется в грунт завинчиванием, а разрушение грунта производится за счет энергии сжатого газа (рис. 1, га). В результате экспериментальных исследовании рекомендуются следующие значения ос­новных параметров рыхлителя: энергоемкость процесса разруше­ния в средних грунтовых условиях 1700 до 1000 кДж/м3 (при Суд= 120...160), избыточное давление воздуха 12,0...15,0 МПа, а в супесчаных грунтах —4,0...16,0 МПа.

При больших объемах работ в определенных грунтовых усло­виях эффективно могут применяться рыхлители газодинамиче­ского действия с воздействием на грунт энергии сжатого газа (рис. 1, р). Производительность такого рыхлителя увеличивается в 2—3 раза.

Для разработки траншей большой протяженности применяют­ся роторные многоковшовые экскаваторы. Нарезание щелей в мерзлом грунте для подготовки его к экскавации обычными зем­леройными машинами целесообразно при ограниченных объемах работ производить дискофрезерными и баровыми машинами.

Роторные экскаваторы типа ЭР (ЭТР), выпускаемые серийно, способны разрабатывать мерзлый грунт с глубиной промерзания до 0,2 м. Такие экскаваторы можно оснащать усиленным рабо­чим органом (РОУ) конструкции СКБ Газстроймаша, разраба­тывающие грунты глубиной промерзания до 0,7 м при скорости копания 50... 100 м/ч.

Дискофрезерные машины предназначены для проходки узких траншей (шириной до 150 мм и глубиной до 1,2 м) и нарезания блоков в мерзлых грунтах для последующей разработки их дру­гими землеройными машинами. Такие машины на базе гусенич­ных тракторов изготавливаются во многих организациях. В тре­сте Мосинжстроймеханизация № 2 создана и внедрена земле­ройная дискофрезная машина ДФМ-230 на базе трактора Т-100 МГП. Рабочий орган машины представляет собой дисковую фре­зу с расположенными по ее окружностям режущими зубьями и двумя рейками, воспринимающими вращение от приводных звез­дочек. Машина обеспечивает при диаметре фрезы 2600 мм прорезание щели до 1500 мм. Большой опыт использования дискофрезерных машин накоплен в тресте Днепростроймеханизация.

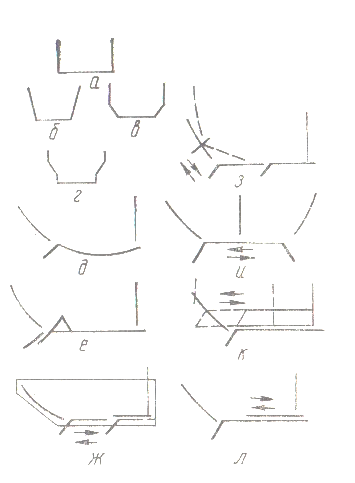
Машина послойного фрезерования ДП-31АХЛ предназначена для механизации планировочных работ, отрывки траншей под внутриквартальные дороги и рельсовые пути в мерзлом грунте, разрушения асфальтобетонных покрытий и уборки разрушенного материала. Эффективная работа машины обеспечивается при температуре грунта до 10°С прочностью по плотномеру ДорНИИ до 250 ударов и крупности каменистых включений до 50 мм (при их содержании до 20 %).

Машина состоит из базового трактора Т-130.1 Г-1 с бульдо­зерным оборудованием, рабочего органа фрезерного типа, сило­вой передачи для привода рабочего органа, навесного устройст­ва, гидропривода подъема и опускания рабочего органа, гидро­механического ходоуменьшителя, системы управления и противо­веса. Навесное устройство выполнено по схеме четырехзвенного шарнирного механизма.

**Скреперные работы**. Для таких работ характерно использо­вание энергоемких агрегатов, а также увеличение рабочих и транспортных скоростей. Мощность двигателей тягачей достига­ет 1000 кВт, скорость движения тягача на колесном ходу 50... 70 км/ч, на гусеничном — 17...20. Увеличиваются габаритные раз­меры оборудования, создаются крупные агрегаты со средней вме­стимостью ковшей 25...40 м3 (на колесном ходу) и 25 м3 (на гу­сеничном).

Для повышения эффективности скреперных работ применяют винтошнековые загружатели, обеспечивающие самозагрузку; двухмоторные дизель-электрические и гидравлические приводы; самоходные скреперы с гидроуправляемой сцепкой и толкающей амортизованной плитой; нормализованные и стандартизованные узлы и агрегаты трансмиссии, мосты, гидрооборудование и др.; легированные и низколегированные стали, обеспечивающие снижение металлоемкости и повы­шение надежности при исполь­зовании скреперов на скальных грунтах. Совершенствуются конструкции ковшей и ножевой системы, методы загрузки и разгрузки ковша (рис. 2, 3), создаются комфортные и без­опасные условия работы води­теля. На рис. 2 приведены ос­новные конструктивные реше­ния, направленные на интенси­фикацию процесса заполнения скреперного ковша грунтом. Грунтоперемещающее устройство ковша скрепера в виде гребкопого захвата 1, управляемого цилиндрами 2, представляет наи­более простой метод улучшения продвижения грунта в ковш (рис. 3, а). Установка внутри ковша 1 одного или нескольких шнеков 2 позволяет существенно улучшить процесс заполнения ковша грунтом (рис. 3, б). Роторное загрузочное устройство 1 в комплексе с грунтоперемещающим устройством в виде шнека 2 интенсифицирует процесс заполнения ковша грунтом (рис. 3, в). Такое устройство хорошо работает только на легких сыпучих грунтах. Рабочие элементы и их привод составляют 15...25 % массы всего скрепера.

Для повышения эффективности и снижения энергоемкости про­цесса наполнения скреперных ковшей применяются двух- и трех- секционные телескопические ковши (рис. 3, *г).* Первоначально заполняется емкость внутреннего малого ковша 1, затем он ото­двигается и идет заполнение среднего ковша *2,* а потом запол­няется основной ковш 3. Этот принцип используется также в ков­шах с подвижным днищем. Подвижное днище 1 установлено на основном днище ***2*** и перемещается совместно с задней



Рис**.** 2. Конструктивные схемы неко­торых видов скреперного оборудова­ния:

*а* — ковш традиционной конструкции; *б, в*, *г* — ковши с наклонными боковыми стенками;*д* ***—*** скрепер с изогнутым днищем; *е* — скрепер с направляющей грунтового потока; *ж* — скрепер с подвижным днищем; *з* — скрепер с двухножевой системой ко­пания; *и* — скрепер двухстороннего дейст­вия; *к, л* — скреперы телескопической конструкции.

загрузоч­ной стенкой ***3*** (рис. 3, ***д)*** применение подвижного днища по сравнению с традиционным ковшом уменьшает удельную силу тяги на 15—25 %, а энергоемкость процесса копания при одина­ковой вместимости ковшей — на 20...35 %. Однако при снижении усилия наполнения ковша существенно увеличивается длина те­лескопических конструкций и грузоперемещающих устройств в виде подвижного днища, а также металлоемкость скрепера. Ши­рокое применение получили элеваторные системы и устройство заполнения (рис. З, є). Наклонный элеватор 1 захватывает скребками вырезаемый грунт и перемещает его внутрь ковша 2.

Представляет интерес загрузочное устройство в виде ротор­ного метателя 1, расположенного у режущего ножа 2 (рис. 3, ж). При работе стружка грунта захватывается лопатками ротора и забрасывается внутрь ковша. Элеваторные устройства и роторные метатели позволяют заполнить грунтом ковш практически неограниченной длины и вместимости без применения толкача. Вместимость ковша скрепера в этом случае ограничивается только транспортным режимом груженого скрепера. Скреперы, оснащенные такими загрузочными механизмами, имеют недо­статки: повышение металлоемкости на 10...20 % и стоимости на 16...25 %, увеличение непроизводительных затрат энергии, необ­ходимой на перемещение загрузочных механизмов вместе с ков­шом в транспортном режиме, ограниченная надежность и нали­чие быстроизнашивающихся элементов.

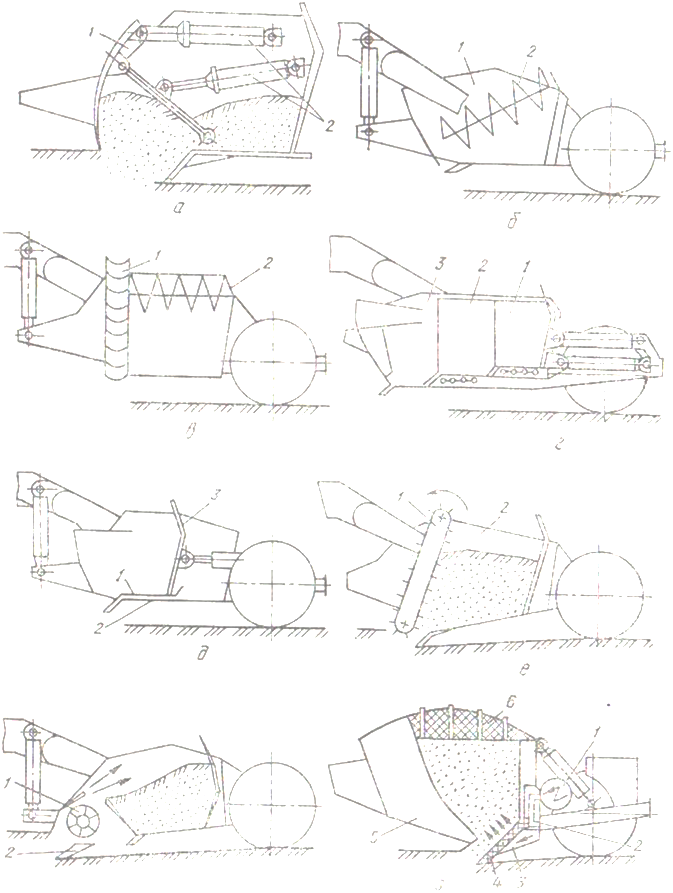


Рис.3. Рабочие органы скреперов интенсифицирующего действия.

Скрепер с интенсификаторами взрывного действия (рис. 3, з) оборудован устройством для загрузки грунта в виде расположен­ной в задней части ковша камеры сгорания 1, соединенной рас­пределительным механизмом 2 с выхлопной камерой 3, укреп­ленной на ноже 4 ковша 5. Грунт, расположенный над решеткой выхлопной камеры, подхватывается потоком газа и отбрасыва­ется в ковш. Во избежание перелета грунта через края, ковш за­крыт сверху решеткой 6.

На стадии теоретических и экспериментальных исследований находятся предложения по использованию ультразвуковых коле­баний, электроосмоса, методов термомеханического воздей­ствия.

Возможные схемы совершенствования режущих ножей скрепе­ров приведены на рис. 4. Применение выступающего среднего ножа прямоугольной формы облегчает вырезание грунта и улуч­шает наполнение ковша скре­пера грунтом. Нож треугольной формы углом вперед хоро­шо внедряется в грунт, однако при этом разваливается струж­ка, в результате чего возра­стают потери грунта и ухудша­ется наполнение ковша. Приме­нение изогнутых ножей также облегчает врезание ковша и за­полнение его грунтом. При этом ширина стружки зависит от заглубления ковша в грунт.

Режущие лезвия с зубьями обеспечивают предварительное рыхление грунта и позволяют разрабатывать более тяжелые грунты с наличием каменистых включений; применение их на сыпучих грунтах малоэффективно. Шарнирное крепление разрыхляющих зубьев эффективно при использовании на грунтах, имеющих каменистые включения. Совковые ножи используют как сменное или стандартное режу­щее оборудование под углом к направлению движения, позво­ляют реализовать принцип косого резания. При этом крайние ножи могут быть повернуты относительно среднего ножа углом вперед или углом назад.

Изменение угла резания в процессе копания существенно вли­яет на сопротивление резанию и наполнению ковша. На завер­шающих этапах процесса наполнения ковша угол резания дол­жен быть больше чем на начальных.

**Экскаваторные работы.** Совершенствование ковшового обору­дования экскаваторов как в нашей стране, так и за рубежом, ведется по традиционной технологической схеме взаимодейст­вия рабочего органа с грунтом и при использовании новых струк­турных схем.

К первому направлению относятся разработки, заключающие­ся в модернизации режущих ножей, зубьев, кромок. Наибольшее распространение получили конструкции, в которых совершенст­вуются режущие элементы в виде зубьев. Это наиболее простые системы, обеспечивающие легкое внедрение ковша в грунт и от­деление грунта от массива (рис. 5, *а).*

В ковшах конструкции ЦНИИС режущая кромка сделана вы­пуклой формы в плане и

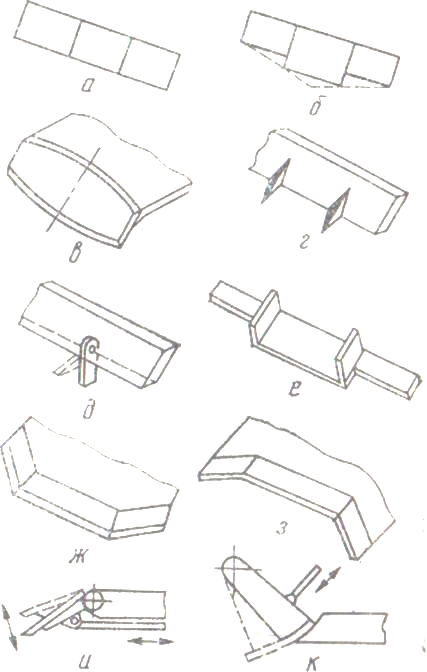


Рис. 4. Возможные схемы совершен­ствования ножей скреперов: *а* — сплошной прямолинейный нож; *б* — выступающий прямолинейный нож; *в —* полукруглый нож;*г. д* ***—*** нож с рыхлящи­ми зубьями;*е* ***—*** нож **с** направляющими фунтового потока; *ж, з* — ножи изогнутой формы; *и, к* — ножи управляемой формы.

полукруглой в поперечном сечении. При взаимодействии кромки с разрабатываемой средой обеспечивает­ся концентрация усилий в средней ее части (рис. 5, б). Наличие полукруглой режущей кромки способствует уменьшению сопро­тивления резанию и перемещению грунта в ковше, что, в свою очередь, снижает сопротивление грунта копанию. В трестах Днепроспецэкскавация, Донбассэкекавация, Днепростроймеханизация и других для облегчения внедрения в грунт полукруглых ре­жущих кромок их оснащают зубьями.

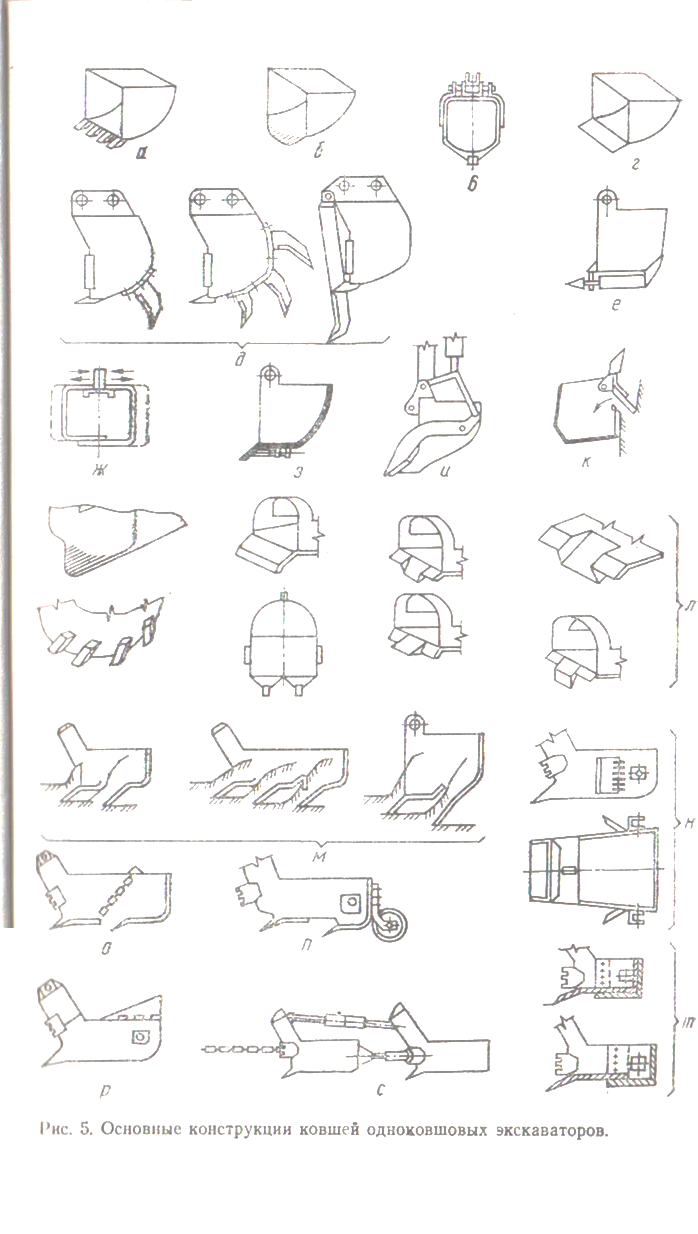
На грунтах с каменистыми включениями эффективность та­ких ковшей снижается. Здесь необходимо использовать ковши конструкции КИСИ с режущей кромкой треугольной формы, в вершине которой расположен режущий зуб. Повышение эффек­тивности разработки прочных грунтов достигается за счет боко­вого разрушения (рис. 5, *в).*

Рассмотренными выше конструкциями режущих кромок эф­фективно выполнять работы, связанные с зачисткой дна тран­шей и котлованов, планировкой оснований площадок невозмож­но. Поверхности дна траншей и котлованов, открытые ковша­ми с полукруглой и треугольной режущей кромкой, имеют вол­нообразный профиль с высотой неровностей до 30 см, что требу­ет доработки вручную до 15 % общего объема работ. Поэтому для завершающих операций на ковше устанавливают прямоли­нейную режущую кромку (рис. 5, *г)* или применяют специальное приспособление с откидным зачистным ножом (рис. 5, и). Управ­ление зачистным ножом осуществляется с помощью двух пневмоцилиндров, смонтированных по бокам ковша. Такое зачистное устройство разработано конструкторско-экспериментальным от­делом НИИпромстроя (г. Уфа) совместно с трестом Строймеха- низация-2 Главбашстроя и внедрено на экскаваторах ЭО-3322А (Э-302Б), ЭО-4121 (Э-652).

В Днепропетровском филиале НИИСП Госстроя Украины со­здано рабочее оборудование с параллелограммным спрямляющим механизмом Чебышева, установленным между стрелой и руко­ятью. Оборудование позволяет осуществлять экскавацию грунта при работе гидроцилиндров стрелы, рукояти, ковша, а также осу­ществлять зачистные работы. Его недостатком является ограни­ченная длина прямолинейного участка движения режущей кром­ки, равная 1 м.

Для ковшей экскаваторов типа прямая лопата, работающих в забоях, характерно наличие холостого хода рабочего оборудо­вания при движении ковша, например опускании. Для эффектив­ного использования обратного хода ДИСИ предложен ковш, вы­полняющий срез грунта из забоя при его опускании за счет на­личия шарнирно установленного ножа двухстороннего действия (рис. 5, *к*).

Работы, связанные с разработкой различных по ширине тран­шей, обусловили создание ковшей регулируемой ширины без за­мены оборудования (рис. 5, ж).



Совершенствование ковшового оборудования предусматривает передачу части энергии непосредственно ковшу, например ков­ши, оснащенные пневматическими молотами и предназначенные для разработки прочных, скальных, мерзлых и вечномерзлых грунтов (рис. 5, в).

Для разрушения прочных и мерзлых грунтов ковшами экска­ваторов применяют легкосъемные зубья рыхлителей, монтируе­мые на тыльной стороне ковша или спереди основных зубьев (рис. 5, *д*).

Эффективным способом снижения сопротивления грунта копа­нию путем устранения внешнего и внутреннего трения, действую­щих внутри и на стенках ковша, является применение смазки по­верхностей ковша экскаватора сжатым газом (рис. 5, *з*).

Большое распространение получили различные конфигурации режущих кромок (рис. 5, л): узкая полукруглая, прямолинейная с траекторным смещением режущих элементов, комбинационные сочетания режущих элементов.

Такие недостатки конструкции ковшей, как большое сопротив­ление грунтов копанию, плохая внедряемость в грунт, например при прямолинейной режущей кромке, плохая зачистка дна тран­шей ковшами с полукруглой кромкой и т. п. устранены в ков­шах с двухножевой системой копания (рис. 5, м, н, о, п).

Применяются ковши драглайнов с надставкой для увеличения вместимости (рис. 5, р), с регулируемой вместимостью за счет их соединения (рис. 5, е), а также ковши раздвижные (рис. 5, т).

Повышению эффективности экскаваторных работ способству­ем совершенствование технологии их ведения (повышение коэф­фициента наполнения ковша, снижение налипаемости ковшей и улучшение их разгрузки, сокращение длительности цикла, организация и правильный выбор забоя и т. п.).

**СОГЛАСОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

К основным показателям, определяющим условия эксплуата­ции машин для земляных работ и имеющим вероятностный ха­рактер, относятся физико-механические и прочностные свойства грунта (тип, сцепление, угол трения) и параметр, определяющие рельеф местности, а для грузоподъемных кранов также парамет­ры строительного объекта (объем работ, координаты мест адре­сования грузов, дальность транспортирования грунта). От их значения зависит эффективность использования машины. Для статического моделирования необходимо установить вероят­ность основных показателей в результате анализа соответству­ющих условий эксплуатации.

При формировании соответст­вующих экономико-математи­ческих моделей для последую­щей оптимизации рабочих про­цессом землеройных машин учитываются характеристики свойств грунтов, а характери­стики грузов, вылетов, высот, грузовых моментов и т. п.— при определении параметров модернизированных грузоподъ­емных кранов.

*Вероятные типы грунтов* в разрабатываемой 2...3-метровой поверхностной толще по­род определяют по результа­там анализа по грунто- и почвоведению (рис. 6). Данные, характеризующие свойства грунтов, представляют в виде таблиц и гистограмм. На оси среднеквадратичное отклонение 187,4 кН-м, моду — 157 кН-м, а для кирпичных соответственно 257,6; 126,6; 234,4 кН-м.

Время, в течение которого происходит нагружение крана, в среднем составляет 14,48 с, среднеквадратичное отклонение — 11,98, мода — 7,43 (табл. 4).

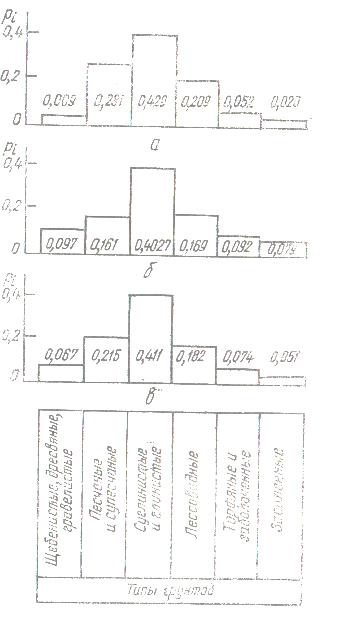
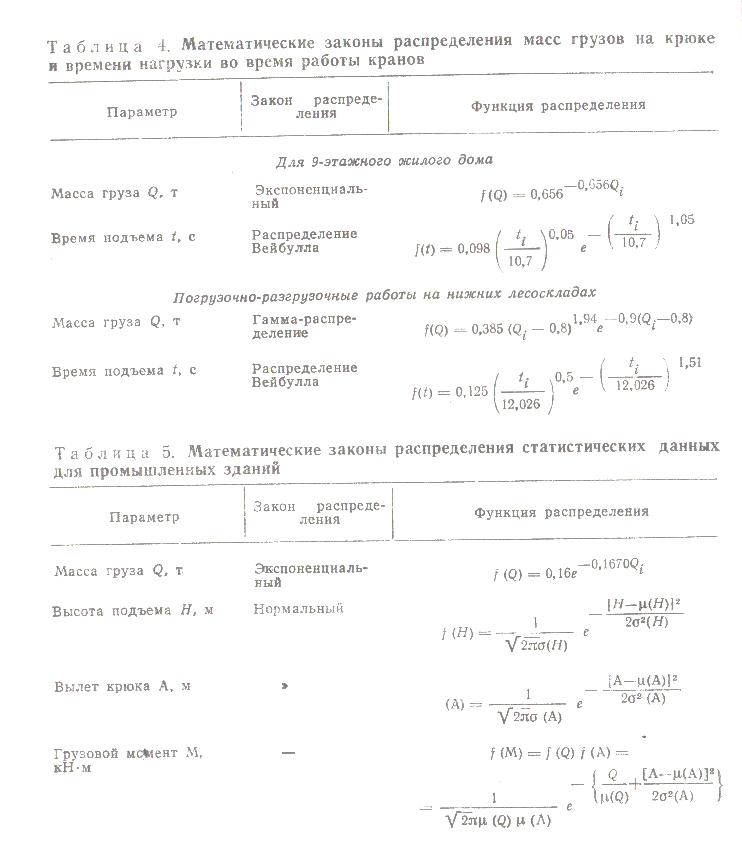


Рис 6. Гистограммы вероятности появления грунтов различного типа *в*, *б*., ссср.

а - по европейской части; б — по азиатской части; *в* — по территории в целом.



В промышленном строительстве в основном возводятся одно­этажные, многопролетные здания из сборного железобетона, па­раметры которых достаточно достоверно аппроксимируются ма­тематическими законами (табл. 5).

Масса поднимаемых грузов при ведении строительно-монтаж­ных работ находится в пределах 4,5...7,5 т. При этом масса бо­лее 90 % грузов не превышает 10 т. Математическое ожидание массы грузов, поднимаемых стреловыми самоходными кранами, составляет 6,4 т, а их совокупность практически находится в пре­делах 12 т (90 % всех грузов).

Требуемая высота подъема грузов для башенных и стреловых самоходных кранов достаточно большая и достигает 40 м (96 %) при математическом ожидании 24,6 м, а для стреловых самоход­ных 25 м (87 %) с математическим ожиданием 17,64 м.

Вылеты, на которых монтируются грузы, находятся в пределах 30 м (90 %) при математическом ожидании 18,2 м. В распреде­лении вылетов всей совокупности грузов происходит явно выра­женное группирование по трем разрядам, один из которых нахо­дится в интервале 25...30 м, что соответствует расстоянию к ближней и дальней стенкам здания. Для грузов, монтируемых только стреловыми кранами, такое группирование не наблюдает­ся, при этом математическое ожидание вылета составляет 10,6 м, а грузы монтируются с вылетом, не превышающим 15 м (95 %).

Количественные характеристики требуемого парка монтажных кранов, которые могут быть использованы в качестве ориентиро­вочных данных, приведены в табл. 6.

Таблица 6. Вероятность требуемых грузовых моментов



Выбирая значения параметров модернизируемой строительной машины, следует ориентироваться на наиболее вероятные значе­ния параметров условий эксплуатации.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРЕЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ КРАНА И БУЛЬДОЗЕРА**

Стреловые краны. Приступая к модернизации крана, необходимо учитывать рекомендации по выбору его параметров: мини­мальной длины стрелы, координат корневого шарнира стрелы, минимальной ширины проезжей части при перебазировке крана, требуемой высоты подъема, превышения головки стрелы над зда­нием и др.

Требуемые параметры рабочего оборудования стреловых кра­нов определяют с учетом допустимого зазора 1,5 м между здани­ем и стрелой и приближения груза к стреле.

Высота подъема конструкции

,

где Lc — длина стрелы, м; *а* — угол наклона стрелы, град; *hc —* расстояние от основания крана до оси пяты стрелы; I — высота (длина) конструкции, м.

Минимальная длина стрелы (без учета зазора между стрелой и зданием) для обслуживания зданий высотой Н3 или подачи конструкций на заданный монтажный уровень

где 1К — расстояние от наружной стены здания до наиболее уда­ленного места установки конструкции, м;

При оборудовании крана гуськом минимальная длина стрелы

где l1 = lГ—l2; lГ =lk cos ß; lГ — длина гуська, м; ß — угол наклона гуська к горизонту, град; l2 — расстояние от оси гуська до на­ружной стены; 1К — расстояние от наружной стены до оси, про­ходящей через крюк, м.

Основные параметры стрелового крана и место его установ­ки (минимальная длина стрелы Lmin, расстояние пяты стрелы до передней стенки здания R и превышение головки стрелы ∆h над зданием) определяют (рис. 8) по формулам:

где *h* — высота от пяты до вершины здания; *b* — ширина здания или расстояние, на которое необходимо подать груз внутрь зда­ния; *Н* — условная высота здания с учетом зазора *АВ; -* монтажный параметр.

Зная высоту монтируемого объекта и его ширину, можно рас­четным путем получить необходимые значения.

Минимальную ширину проезжей части при передвижении кра­нов (рис. 9) принимают на 1...2 м больше ширины крана:

где *R*нар — радиус, описываемый наружной наиболее удаленной точкой *О* от центра поворота крана; *RBH —* радиус, описываемый внутренней наименее удаленной точкой от центра поворота

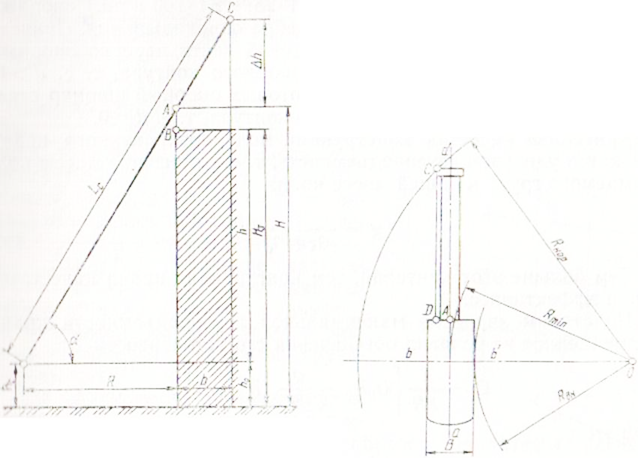
**

Рис. 8. Схема определения места установки стрелового самоходного крана у сооружаемого объекта.

Рис. 9. Схема определения ширины закругленной проезжей части при передвижении по закруглению.

*AD* —координата точки *С* относительно продольной оси крана *а - а'; СD* — координата точки *С* относительно поперечной оси крана *в* — в'; R min — минимальный радиус поворота; *В* — шири­ма крана.

Модернизация стрелового самоходного крана предусматрива­ет выбор его конструктивной схемы, определяющей взаимное расположение основных частейопорно-ходовой рамы, поворотной платформы и рабочего оборудования — стрелы (рис. 10).Из рис. 10 видно, что изменение ординаты с1 влечет за собой изменение конструктивной схемы крана и, следовательно, влияет на его параметры.

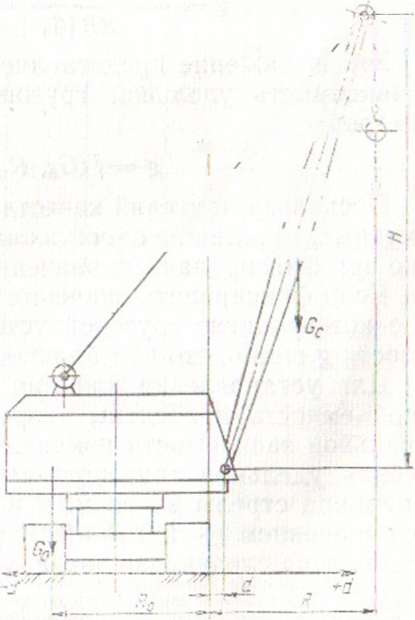


Рис. 10. Конструктивная схема стре­лового крана:

Go,Gc,Q — соответственно массы крана вез стрелового оборудования, стрелы и поднимаемого груза; R0 — расстояние от центра тяжести до ребра опрокидывании О**;** R — вылет груза от ребра опрокидывания; О —точка, определяющая ребро опрокидывания крана; Н — превышение оси головного блока стрелы над ее опорным шарниром: d — ордината, определяющая положение опорного шарнира стрелы отно­сительно ребра опрокидывания.

Во многих кранах (КС-5363; МКХ-25; СКГ-100 и др.) опорный шарнир стрелы находится вблизи ребра опрокидывания. Причем, при развороте стрелы поперек ходовой части нередко опорный шарнир стрелы оказывается вне опорного контура, т. е. d>0. Существуют краны (КС-2571), у которых опорный шарнир стре­лы расположен в глубине опорного контура, т. е. d<0.

Критерием качества конструкции модернизированного крана является удельная грузоподъемность, т. е. отношение массы под­нимаемого груза к общей массе крана

Чем больше этот критерий, тем конструкция крана качествен­нее и эффективнее.

Подставим значение максимальной грузоподъемности крана Q, найденное из условия обеспечения его устойчивости

при этом

где — масса 1 м стрелы; К — коэффициент грузовой устойчи­вости крана.

Тогда получим

.

Это выражение представляет собой общую функциональную зависимость удельной грузоподъемности крана от его пара­метров

Поскольку критерий качества является функцией многих пере­менных, то влияние одной из них на него можно установить толь­ко при фиксированных значениях остальных.

Если фиксировать значения всех параметров и изменять толь­ко коэффициент грузовой устойчивости крана *К,* то из зависи­мости g видно, что чем больше К, тем меньше g.

Для установления влияния параметра d на удельную грузо­подъемность проведены теоретические исследования функцио­нальной зависимости изменения g. При этом сравнивались зна­чения удельной грузоподъемности при перемещении опорного шарнира стрелы влево gл и вправо gп от ребра опрокидывания со значением при d=0. В результате исследований была ус­тановлена следующая зависимость:

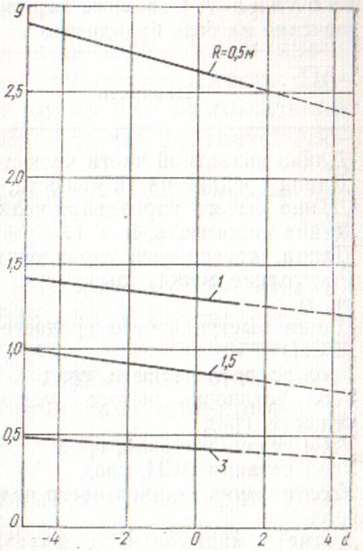


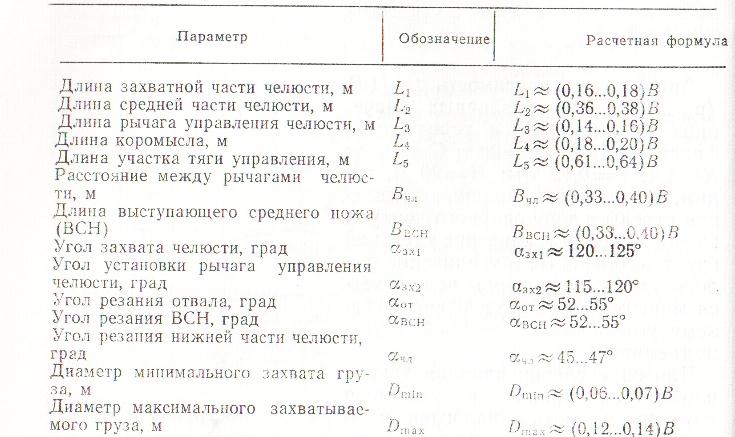
Рис. 11. Зависимость удельной грузоподъем­ности от местоположения опорного шарни­ра стрелы и вылета крюка с максималь­ным грузом.

Анализируя зависимость g=f(d) (рис. 11) при различных значе­ниях параметра R и усредненных фиксированных Go=30 т; GС=2,0 т; *К****=***1,4; q=0,12 т/м;*Н****=***20 м, ви­дим, что смещение шарнира крепле­ния стрелы в зону опорного контура влечет за собой увеличение удельной грузоподъемности, а увеличение вы­лета крюка, на котором поднимает­ся максимальный груз, ведет к рез­кому уменьшению удельной грузо­подъемности.

Для определения влияния других параметров крана на удельную грузоподъемность аналогичным образом построены зависи­мости

Для повышения удельной грузоподъемности крана опорный шарнир его стрелы следует располагать возможно дальше от реб­ра опрокидывания. Смещение опорного шарнира от ребра опро­кидывания в сторону отрицательных значений параметра d при водит к увеличению грузоподъемности кра­на от 5 до 35,% (рис. 12). Таким образом, смещение опорного шарнира стрелы стрело­вого самоходного кра­на позволяет увеличить грузоподъемность кра­на и улучшить его ка­чественный показатель.

Бульдозеры. Методы расчета основных пара­метров бульдозеров установлены на основании теоретических и экспериментальных исследований. Основные параметры отвала бульдозера многоцелевого назначения (рис. 13) приведены в табл. 7.

Таблица 7. Основные параметры рабочего оборудования многоцелевого на­значения на базе бульдозера

Примечание: 1. В —длина отвала бульдозера. 2. Расчетные формулы приме­нимы для бульдозерного рабочего оборудования многоцелевого назначения с тяго­вым классом базовой машины Г=30...250 кН.

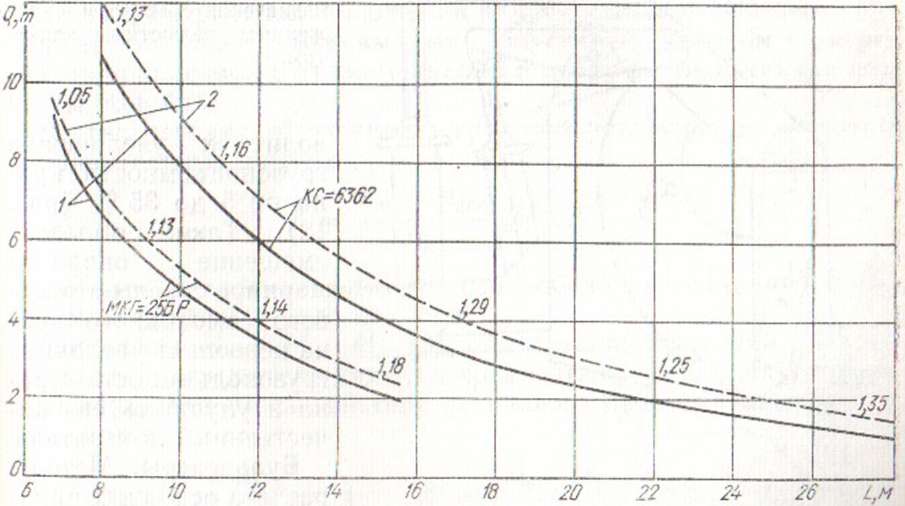


Рис. 12. Грузовые характеристики стреловых кранов МКГ-25БР; (L=33,5 м); КС-6362 (L=35 м):

*1*— паспортная грузоподъемность; 2 — грузоподъемность при удалении опорного шарнирa стрелы от ребра опрокидывания (для МКТ-2 d = -5 м, для КС-6362 d = -5.7 мм). Цифры показывают во сколько раз увеличивается грузоподъемность по сравнению с паспортной.

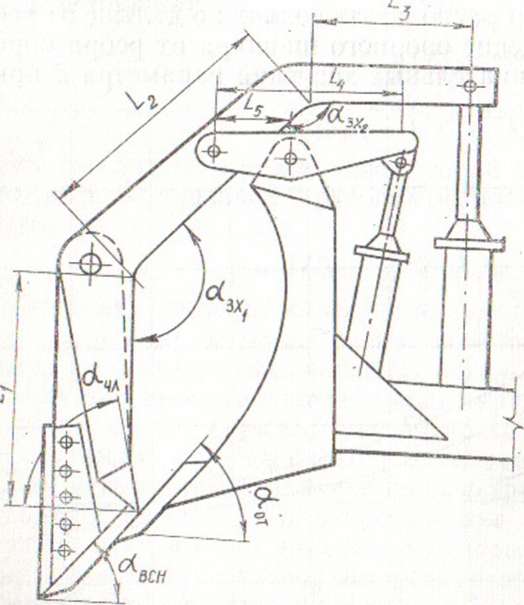


Рис. 13. К определению ра­циональных параметров бульдозера многоцелевого назначения с отвалом, снаб­женным челюстным захва­том.

**РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНЫХ ГРУЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРАНОВ**

Грузоподъемность стреловых кранов величина переменная: большому вылету соответствует меньшая грузоподъемность. По­стоянным принимается грузовой момент крана при номинальной грузоподъемности и максимальном вылете стрелы, соответствую­щем этой грузоподъемности.

Грузовые характеристики крана (графики зависимости грузо­подъемности от высоты подъема или вылета) строятся с учетом обеспечения достаточной его устойчивости от опрокидывания, определяемой по Правилам устройства и безопасной эксплуата­ции грузоподъемных кранов и ГОСТ 13556—85. В соответствии с Правилами необходимо соблюдать условия устойчивости для двух рабочих (расчетных) положений при действии только ста­тических нагрузок, а также действии статических, инерционных, центробежных и ветровых нагрузок с учетом наибольшего допус­тимого угла наклона.

В первом расчетном положении принимается, что кран уста­новлен на горизонтальной площадке, стрела направлена перпен­дикулярно к ребру опрокидывания под действием сил тяжести груза.

Коэффициент грузовой устойчивости без учета дополнитель­ных нагрузок

,

где Мкр — момент сил тяжести крана относительно ребра опрокидывания; Мгр — грузовой момент относительно того же ребра.

Во втором рабочем положении могут быть два частных слу­чая: на площадке с максимально допустимым уклоном со стре­лой, направленной в сторону уклона к ребру опрокидывания под углом 90 и 45°.

В этих случаях коэффициент грузовой устойчивости с учетом дополнительных нагрузок

где Мдоп — момент сил инерции, центробежных и ветровых с уче­том максимального угла наклона.

Обозначив *Мкр=Мо*—Мс (М0 — восстанавливающий момент крана, т. е. момент сил тяжести крана относительно ребра опро­кидывания без учета действия стрелового оборудования), полу­чим зависимости:

где М'доп, М"доп — соответственно моменты дополнительных на­грузок при расположении стрелы крана под углом 90 и 45° к реб­ру опрокидывания.

Решив эти зависимости относительно постоянной величины М0, получим

М0 = КМГР + Мс; М0 = К'Мгр + Мс + М'доп;

М0 = К"Мгр + Мс + М''доп.

Зависимости М0 представлены на рис. 14 в координатных осях Мгр и (Мс+Мдоп). Если МГР=0, то МС=М0 или Мс+Мдоп=М0; откладываем эти значения на оси ординат (точка А). Если Мс=0 или Мс+Мдоп=0, то МГР=Мо/К' и МГР=Мо/К"; от­кладываем эти значения на оси абсцисс (точки *В* и С).

Соединив точку *А* с точками *В* и С, получаем прямые *АВ* и *АС,* геометрическое место то­чек которых определяет соот­ношения между моментами грузов, стрелового оборудова­ния и дополнительных сил, при которых *К=* 1,4 (прямая *АВ)* и К =1,15 (прямая *АС).*

Для построения предельных грузовых характеристик опре­деляем восстанавливающий момент крана МО и его значе­ние в выбранном масштабе от­кладываем (точка *А)* на оси ординат (ось моментов сил- тя­жести стрелового оборудова­ния и дополнительных сил).

Значение восстанавливающего момента делим на 1,4, а затем на 1,15. Результаты откладываем (точки Б и С) в масштабе на ось абсцисс (ось грузовых моментов).

Определив момент сил тяжести стрелового оборудования при принятом вылете, наносим его значение в масштабе на ось ор­динат (точка D). Из точки D проводим горизонталь до пересече­ния с прямой *АВ* (точка *Е)* и, опустив перпендикуляр на ось абс­цисс, определяем значение грузового момента (точка *Г)* крана на данном вылете при K=1,4.

Отсюда Q=Mгр/R,

где R — вылет при соответствующем положении стрелы.

Момент дополнительных нагрузок [16]

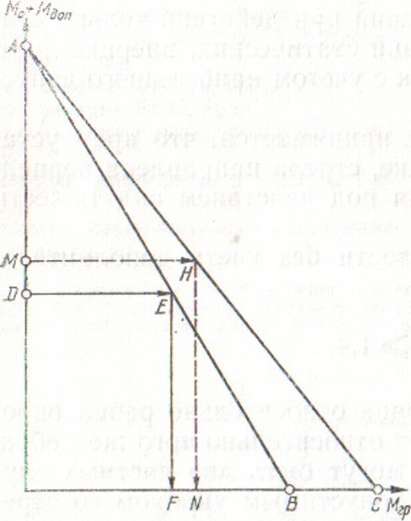


Рис. 14. Зависимость грузового мо­мента от действующих нагрузок.

Отложив в масштабе сумму Мс+Мдоп (точка М), проводим горизонталь до пересечения с прямой *АС* (точка *Н).* Опустив вертикаль на ось абсцисс, определяем значения грузового момен­та (точка *N),* а затем грузоподъемность по формуле *Q=MГР/R.* Сравнивая значения полученных грузоподъемностей, принимаем минимальное. Оптимальным будет случай, когда грузоподъем­ность при обоих расчетных случаях окажется одинаковой.

Для коротких стрел определяющим является значение грузо­подъемности, рассчитанное по формуле *Q = MГР/R,* для длин­ных — с учетом дополнительных нагрузок.

Окончательно грузовая характеристика крана принимается с учетом прочности деталей, механизмов, стрелового оборудова­ния, опорных конструкций.

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

**АЛГОРИТМЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

Повышение эффективности применения строительных машин связано с улучшением показателей качества, характеризующих их техническое совершенство: производительность, надежность, энерго- и металлоемкость. Однако улучшение одного из них мо­жет привести к ухудшению другого. Создать строительную ма­шину, имеющую одновременно максимальную производитель­ность и надежность, а также минимальную металло- и энергоем­кость, невозможно.

Показатели качества функционально связаны с параметрами рабочего процесса строительных машин, прежде всего с конст­рукцией рабочего органа и режимами работы. Так, производи­тельность землеройной машины зависит от площади поперечного сечения среза разрушаемого грунта и рабочих скоростей маши­ны; в свою очередь, площадь поперечного сечения среза зависит от ширины и глубины резания. Повышение производительности машины увеличением площади поперечного сечения грунта при­водит к увеличению рабочей нагрузки и изменению частоты ее колебаний. Поэтому могут ухудшиться показатели надежности машины, ее металло- и энергоемкость. Аналогичное происходит при повышении ее производительности путем увеличения рабо­чих скоростей.

Взаимосвязь между показателями качества и параметрами ра­бочего процесса строительной машины приводит к противоречи­вой ситуации при определении этих параметров. Разрешить эти противоречия можно лишь на основе решения оптимизационной задачи. Составление математической модели этой задачи и на­хождение алгоритма поиска оптимального ее решения не всегда являются простыми инженерными операциями и требуют опреде­ленной квалификации исполнителя. Однако на современном уровне развития строительной техники при широком использо­вании электронно-вычислительных машин для проектирования строительных машин или выбора целесообразных условий их эксплуатации, когда на одно из первых требований к строитель­ной машине выдвигается ее конкурентоспособность, оптимизация параметров рабочего процесса является крайне необходимой. Эта оптимизация, в конечном счете, приводит к повышению произво­дительности машин.

Методика составления математической модели оптимизации параметров рабочего процесса землеройных машин, приведенная в [21], может быть использована для других классов строитель­ных машин. В состав математической модели входят целевая функция, а также параметрические и функциональные ограниче­ния [18]. В качестве целевой функции принят экономический эф­фект от производства и использования строительной машины с оптимальными параметрами, а критерием оптимальности явля­ется максимум этого экономического эффекта, т. е. наилучшим вариантом строительной машины является машина с такими па­раметрами, которая даст максимальный экономический эффект.

Экономический эффект от производства и использования но­вой машины

(1)

где РГ — стоимостная оценка результатов производства и исполь­зования машины; Зг — стоимостная оценка затрат по производ­ству и использованию машины; Кр — коэффициент реновации:

(2)

Ен=0,1—норматив эффективности капитальных вложений; Т — срок службы машины.

Для строительной машины

Рг = ЦП, (3)

где Ц — стоимость единицы выполненной работы (1 м3 разработанного грунта, 1 т транспортируемого груза, 1 м2 отделочных работ и т. п.); Пг — годовая производительность (выработка) машины.

Стоимостная оценка затрат

3Г = И + (КР + ЕН)К, (4)

где И — годовые текущие издержки при использовании новой машины без учета реновации; К — единовременные затраты при использовании машины.

Срок службы машины связан с ее ресурсом — показателем долговечности, характеризующим запас возможной наработки машины. На стадии проектирования назначаемые ресурс и срок службы являются заданными величинами, при этом их средние фактические значения не достигают назначенных. Увеличение ре­сурса машин приводит к существенной экономии материалов, энергетических и трудовых затрат.

Срок службы землеройной машины, определяемый долговеч­ностью базового элемента, зависит от средней частоты и ампли­туды колебаний рабочей нагрузки [21]:

, (5)

где *А* — постоянное число; *т* — показатель степени кривой уста­лости; ω — частота колебаний рабочей нагрузки; Рmах и *Р —* соответственно среднемаксимальное и среднее значения рабочей нагрузки.

Характеристики рабочей нагрузки на строительную машину (средние значения частоты и амплитуды колебаний) так же, как п производительность, зависят от параметров рабочего процес­са, что осложняет их определение.

Между экономическим эффектом от использования машины и ее производительностью существует линейная зависимость. Для нахождения максимального экономического эффекта необходимо учитывать различные ограничения.

Ограничения в оптимизационных моделях бывают в виде ра­венств и неравенств. Применительно к строительным машинам они делятся на геометрические, кинематические, силовые и энер­гетические.

Ограничения в виде равенств определяют связь между иско­мыми параметрами рабочего процесса и его характеристиками, такими как площадь сечения грунта рабочим органом, произво­дительность машины; внешняя нагрузка на рабочий орган маши­ны и его отдельные элементы, включая се среднее, среднемакси­мальное значения и преобладающую частоту колебаний; крити­ческая глубина резания и т. д. Эти ограничения в виде равенств отражают всю имеющуюся информацию о рабочем процессе строительной машины.

Ограничения в виде неравенств связаны с характером проте­кания рабочего процесса строительной машины, ее устойчи­востью, прочностью элементов, мощностью двигателя и другими факторами.

В общем случае задача оптимизации параметров рабочего про­цесса строительных машин формализуется следующим образом. Поисковый вариант конструкции рабочего органа и режимов ра­боты машины представляет собой вектор *х=х1 ..., хп* варьируе­мых параметров и целевую функцию *Ф(х, у),* при которойудовлетворяются ограничения: параметрические и функциональные , где *n* — число варьируемых пара­метров, *у* — вектор неуправляемых параметров; *у)* —функ­ции, которые задают ограничения на имеющиеся ресурсы; С,- — величина j-го ресурса;; *т* — число ограничений. Пересе­чение множеств, заданных этими неравенствами, определяет об­ласть *D* допустимых решений задачи. Оптимальный вариант *х0* =*х*10, ..., *xnо*находится из условия

Исходными данными для составления математической модели является часть неуправляемых параметров. При оптимизации на стадии модернизации к ним относятся, прежде всего, главные параметры машины: линейные размеры, мощность двигателя и др. Кроме главных параметров машины составляющими векто­ра неуправляемых параметров являются физико-механические свойства разрушаемого, обрабатываемого или транспортируемо­го строительной машиной материала: плотность, сцепление, угол внутреннего трения, кусковатость и пр.

К варьируемым (управляемым) параметрам рабочего процес­са относятся режим работы (например, скорость и глубина реза­ния), производительность машины и конструктивные параметры рабочего органа. На стадии модернизации машины оптимизация может быть частичной. Так, количество зубьев на рабочем орга­не землеройной машины и расстояние между ними может оста­ваться заданным параметром, а ширина зуба — варьируемым.

Анализ математической модели оптимизации параметров ра­бочего процесса строительных машин выявил некоторые ее осо­бенности. Целевая функция оптимизационной задачи — нелиней­ная. Ограничения задачи имеют вид как равенств, так и нера­венств. Среди ограничений имеется хотя бы одно, заданное неяв­но. Таким ограничением является рабочая нагрузка, зависящая от искомых геометрических и кинематических параметров про­цесса и имеющая нелинейный характер. При выпуклой целевой функции ограничение, заданное неявно, представляет собой вог­нутую функцию (рис. 15). Ограничения образуют узко направленный «конус» в гиперпрост­ранстве, определяемом целе­вой функцией.

Существующие методы ре­шения задач нелинейного про­граммирования [8, 24] предпо­лагают наличие явно заданных ограничений и в указанных условиях не работают, а если и ра­ботают, то очень медленно. В настоящее время нет метода, гаран­тирующего получение решения задачи, включающей ограничения в виде неравенств [24]. Поэтому возникла задача разработки ме­тода поиска оптимального решения, который учитывал бы неявно заданные ограничения. Найти решение с помощью метода штраф­ных функций и градиентного поиска невозможно.

В КИСИ разработан метод решения задачи, заимствованный из дискретного программирования и предполагающий поиск с возвращением назад. Поскольку в математическую модель вхо­дит непрерывная целевая функция, то множество просматривае­мых вариантов бесконечно. Предлагаемый метод предусматри­вает неполный перебор вариантов при дискретизации варьируе­мых параметров. В этом случае возникает задача: вовремя оста­новить процесс поиска оптимального решения.

Обычно остановку осуществляют либо по времени поиска, ли­бо при достижении наперед заданного расхождения между мак­симальными значениями целевой функции, достигнутыми при разных направлениях поиска. В рассматриваемой задаче исполь­зовано условие перехода от непрерывного к дискретному с опре­деленным шагом, который в процессе поиска меняется. Шаг дис­кретизации увеличивается в сторону свободного пространства, а при приближении к ограничениям уменьшается. Поэтому принято следующее правило остановки алгоритма — остановка происхо­дит в том случае, если шаг дискретизации меньше заданного.

Опыт вычисления оптимизационных задач данного класса по­казал, что искомое решение находится на неявно заданной гра­нице. Это обстоятельство требует достаточного уровня информа­ции о величине и характере изменения рабочей нагрузки на стро­ительную машину.

Программа решения данной задачи разработана на языке БЕЙСИК-80; оптимизационные расчеты ведутся на персональ­ной ЭВМ «Роботрон-1715». Длительность поиска оптимального решения не превышает 20 мин при пяти переменных, что свиде­тельствует об эффективности функционирования программы. Применение этой программы для практических расчетов позво­ляет совершенствовать рабочий процесс строительных машин и повышать их производительность в целесообразных пределах.

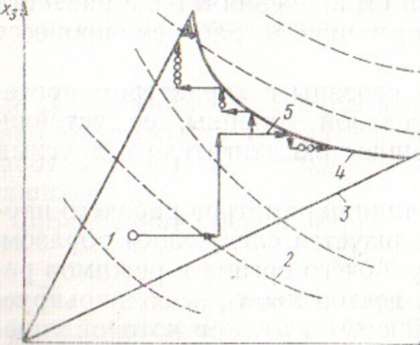


Рис. 15. Графическая интерпретация поиска:

1 — стартовая точка; 2 —линии одинако­вого уровня целевой функции; 3 — линей­ные ограничения; *4* — неявное ограничение; 6 — направлення поиска; *6* — вершина це­левой функции.; *Х2* и Х3 — варьируемые па­раметры; г— наибольшее значение целевой функции, удовлетворяющее ограниче­ниям.

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

**Навесные рыхлители** применяются, как правило, для грунтов, которые не могут разрабатываться непосредственно землерой­ными или землеройно-транспортными машинами. Поскольку на­весные рыхлители изготавливают на базе серийных промышлен­ных тракторов и тягачей, применяемых для использования раз­личного рабочего оборудования, в задании на проектирование рыхлителя указывается тип базовой машины и ее характеристики. В задачу оптимизации параметров рабочего процесса входит установление оптимальных размеров рабочего органа и режимов работы рыхлителя при заданной базовой машине. Критерием оп­тимальности является максимальный годовой экономический эффект, полученный от производства и использования рых­лителя.

Анализ выражения (1) для определения экономического эф­фекта показывает, что на стадии создания или модернизации рыхлителя нахождение максимума целевой функции может быть значительно упрощено [21]. Поскольку стоимость рабочего обо­рудования рыхлителя мала по сравнению со стоимостью маши­ны, изменение конструкции рабочего органа влечет за собой не­значительное изменение ее общей стоимости. Годовые текущие издержки и единовременные затраты при использовании машины с незначительной погрешностью могут считаться пропорциональ­ными производительности. Поэтому максимальный экономиче­ский эффект от оптимизации параметров рабочего процесса на­весного рыхлителя будет соответствовать максимальному значе­нию выражения

. (6)

Экономический эффект в результате оптимизации одного рых­лителя в основном зависит от его производительности и срока

службы.

Годовая производительность рыхлителя

, (7)

где *Вп* — полезная ширина захвата рыхлителем; *hп* — полезная толщина разрыхленного слоя; *v* —скорость резания, *Тг* — время работы рыхлителя в году; *kB* — коэффициент использования ма­шины по времени; kпер— коэффициент перекрытия зон рыхления, равный 0,75; k*1*— коэффициент характера проходов (при парал­лельных проходах равный 1, при перекрестных — 2); *nпр*— чис­ло проходов.

Размеры разрыхленного слоя грунта

(8)

где*п*з, *b*з — число и ширина зубьев;*а* — промежуток между зу­бьями; h — глубина рыхления; *kb*— коэффициент глубины рас­ширяющейся части прорези; — угол наклона боковых расшире­ний прорези.

При разработке грунтов сезонного промерзания число прохо­дов можно представить как функцию глубины промерзания Н:

(9)

тогда полезная толщина разрыхленного слоя

(10)

Для заданной технологической схемы рыхления коэффициенты *k1*и*kпер* — величины постоянные. Коэффициент учитывает не­производительные затраты времени на техническое обслужива­ние, отдых машиниста, сдачу смены, а также на холостые пере­мещения машины, зависящие от технологической схемы произ­водства работ и режимов резания. Расчеты показывают, что до­ля затрат времени на холостые движения рыхлителя, особенно при значительных размерах строительной площадки, невелика, поэтому с достаточной точностью коэффициент использования машины во времени можно считать постоянным.

Как видно из приведенных уравнений, основными путями по­вышения производительности рыхлителя является увеличение разрыхляемого за один проход слоя грунта, а также скорости ре­зания. Однако с увеличением размеров среза возрастает сила ре­зания, а это при постоянной заданной мощности вызывает сни­жение скорости. С другой стороны, с увеличением скорости реза­ния возрастает сопротивление грунта, что обусловливает непро­порциональное уменьшение площади разрыхляемого слоя. Из этого следует, что существуют определенные параметры процес­са резания, при которых функция Ф достигает экстремального значения. Такими параметрами, называемыми варьируемыми, будут*b3, nз, а, h* и *v*, значения которых находятся в реальных областях, характерных для рабочего процесса рыхлителя.

Промежуток между зубьями должен обеспечивать пересечение зон разрушения грунта отдельными зубьями:

(11)

При очень малом шаге зубьев грунт запрессовывается между ними. Поэтому промежутки между зубьями должны быть не меньше их двух- трехкратной ширины:

(12)

Утверждение это справедливо, если зубья расположены в ряд, перпендикулярный направлению движения.

Основное назначение рыхлителя заключается в подготовке забоя для землеройной или землеройно-транспортной машины, т. е. чтобы глубина рыхления была возможно больше, но не пре­вышала критическую. Энергоемкость процесса в этом случае близка к минимальной [14]:

(13)

где — коэффициент ширины зуба.

Для обеспечения движения рыхлителя без пробуксовки сила сцепления его движителя с грунтом должна быть не меньше ра­бочей нагрузки Р:

Р<Ссцφсц, (14)

где φсц — коэффициент сцепления; Gсц — сцепной вес рыхлителя.

Мощность на движителе машины может быть достаточной при условии

*N/v≥Gpω + P,* (15)

где *N* — мощность на движителе базовой машины; Gp — вес рых­лителя;*ω* — основное удельное сопротивление движению.

Выражения (1)...(15) составляют математическую модель оп­тимизации параметров рабочего процесса навесного рыхлителя, в которую входят также еще формулы для определения рабочей нагрузки по известным физико-механическим характеристикам грунта и режимам резания и параметрические ограничения:

Индексы mах и min в ограничениях на варьируемые параметры характеризуют пределы диапазона их изменения.

При решении задачи оптимизации параметров рабочего про­цесса навесных рыхлителей на ЭВМ было определено, что опти­мальная ширина наконечника при однозубых рабочих органах для рыхлителей на базе тракторов Т-180 и ДЭТ-250 должна со­ответственно составлять 80 и 120 мм; целесообразная скорость движения для рыхлителя на базе трактора ДЭТ-250 равна 0,7 м/с, а для трактора Т-180 соответствует движению на первой передаче. Угол резания рыхлителем назначается небольшим, обычно в пределах 30...45°, при этом обеспечивается достаточная прочность наконечника. Значения заднего угла резания не долж­ны быть чрезмерно малыми, так как при заглублении рабочего органа возникает опасность взаимодействия задней грани нако­нечника с грунтом.

Землеройно-транспортные машины предназначаются для отде­ления от массива, захвата и транспортирования грунта. Особен­ностью их рабочего процесса является то, что копание грунта происходит под действием тягового усилия, развиваемого движи­телем. Землеройно-транспортные машины бывают ковшовые (на­пример, скреперы) и ножевые (например, бульдозеры).

Оптимизация рабочего процесса землеройно-транспортных машин состоит в определении оптимальных ширины ножа, глуби­ны и скорости резания. При этом известными величинами будут характеристики базовой машины (масса, размеры машины, па­раметры двигателя и др.).

Критерием оптимальности является максимальный экономиче­ский эффект, полученный от использования машины с оптималь­ными параметрами. Как и для навесного рыхлителя, так и для землеройно-транспортной машины экономический эффект зави­сит, в основном, от производительности машины и ее срока службы.

Производительность скрепера

, (16)

где q — вместимость ковша; tц — средняя продолжительность рабочего цикла; kн и kраз — коэффициенты наполнения ковша и разрыхления грунта; *ТГ* — время работы машины за год; *kв* — коэффициент использования во времени.

Продолжительность рабочего цикла слагается из времени ко­пания, движения с грунтом, разгрузки, движения с порожним ковшом, переключения передач, поворотов и времени подхода толкача. От варьируемых параметров рабочего процесса зави­сит, в основном, время копания. Поэтому в целевой функции вместо производительности скрепера можно записать условную характеристику П — производительность процесса копания:

. (17)

Годовая производительность бульдозера

*,* (18)

где *V —* объем тела волочения; *kу* — коэффициент уклона пути; kп — коэффициент, учитывающий потери грунта в боковые вали­ки и равный 0,7...0,9.

Основными путями повышения производительности бульдозе­ров являются технологические и конструктивные мероприятия, направленные на сокращение потерь грунта. К технологическим мероприятиям относится производство работ траншейным спосо­бом, при котором грунт перемещается по одному и тому же сле­ду. В этом случае грунт удерживается по торцам отвала бульдо­зера стенками траншеи или ранее образовавшимися валиками грунта. Значительно сокращаются потери грунта при спаренной или строенной работе бульдозеров, когда бульдозеры движутся параллельно вблизи друг друга, а отвалы не позволяют грунту просыпаться между ними.

Конструктивными мерами являются установка на торцах отва­ла открылков, сокращающих потери грунта; применение отвалов совкового типа, снижение трения между рабочим органом и грунтом путем подачи на поверхность трения газовой смазки. Подача сжатого газа на поверхность отвала, создающая воз­душную подушку между трущимися поверхностями, существен­но снижает силы сопротивления и, следовательно, позволяет по­высить рабочие скорости машины.

Оптимизация параметров процесса копания скреперами и бульдозерами осуществляется с использованием целевой функции согласно (17). К целевой функции необходимо добавить параметрические и функциональные ограничения. Параметриче­ские ограничения имеют вид:

где *В* — ширина ножа ковша или отвала, *h* — глубина резания; *v* — скорость резания; min и шах — индексы, определяющие диа­пазон изменения варьируемых параметров.

По условиям движения машины тяговое усилие S во время каждой из рабочих операций должно быть не меньше суммы внешних сопротивлений:

*S>Rкоп + W,*  (19)

где Rкоп — сопротивление копанию; W — сопротивление передви­жению машины.

Тяговое усилие создается движителем, поэтому необходимо со­блюдать условия отсутствия пробуксовки:

, (20)

где Gсц — сцепной вес машины; φсц — коэффициент сцепления движителя с грунтом.

Приведенные выражения с учетом зависимости сопротивления грунта копанию от физико-механических характеристик грунта и варьируемых параметров составляют математическую модель оптимизационной задачи. Решение этой задачи на ЭВМ и ис­пользование полученных результатов при эксплуатации землеройно-транспортных машин позволяет повысить производитель­ность этих машин в экономически выгодных пределах.

Одноковшовые экскаваторы. Задача оптимизации параметров рабочего процесса одноковшовых экскаваторов, оборудованных прямой, обратной лопатами или драглайном, заключается в ус­тановлении оптимальных размеров ковша и режимов копания для заданной машины. Известными являются масса и размеры машины, включая стреловое оборудование, характеристика дви­гателя, параметры главной лебедки или гидропривода, характе­ристики расчетного грунта.

Критерием оптимальности является максимальный экономиче­ский эффект, полученный от производства и использования соз­даваемой машины. Как и при решении задачи для навесного рыхлителя, выражение (1) для целевой функции может быть уп­рощено, т. к. стоимость ковша мала по сравнению со стоимостью всей машины, поэтому изменение конструкции ковша влечет за собой незначительное изменение ее общей стоимости. Текущие годовые издержки для машины с оптимальной конструкцией ковша или любым другим органом будет мало отличаться друг от друга. Поэтому с незначительной погрешностью можно сде­лать вывод, что экономический эффект от оптимизации, прихо­дящийся на один экскаватор, зависит, в основном, от производи­тельности машины и ее срока службы.

Годовая производительность одноковшового экскаватора опре­деляется по формуле (16) аналогично производительности скре­пера [14].

Зависимость продолжительности рабочего цикла экскаватора (длительность транспортировки грунта в ковше, разгрузки ков­ша и движения с порожним ковшом) от конструкции рабочего органа можно не учитывать. Кроме того, конструкция ковша не оказывает влияния на использование машины во времени на про­тяжении года. Поэтому максимум целевой функции будет соответствовать максимальному значению выражения (17).

В этом случае производительность процесса копания определя­ется по формуле

П = Fcр*v*, (21)

где *Fср*—средняя площадь сечения среза грунта ковшом; *v* — скорость резания.

Задача сводится к нахождению оптимальных площади *Fcр* и скорости*v****.*** Чем больше площадь среза, тем больше производи­тельность, но тем больше усилие копания ковшом *Р,* которое, в свою очередь, связано зависимостью с мощностью копания N реализуемой приводом:

*N = Рv.* (22)

При заданной мощности увеличение усилия вызывает умень­шение скорости, а это влечет уменьшение производительности П. С другой стороны, увеличение скорости вызывает дополнитель­ное увеличение сопротивления копанию.

Средняя площадь сечения среза грунта ковшом

Fср = Bh, (23)

где *В* — ширина ковша; Л — средняя толщина среза.

Тогда производительность копания

П = *Вhv* (24)

Для работы одноковшового экскаватора характерны ограни­чения, функционально связывающие между собой параметры процесса копания. Усилие копания не должно быть больше воз­можного по мощности копания:

(25)

Вес грунта в ковше должен обеспечивать устойчивость ма­шины:

(26)

где — плотность расчетного грунта; g — ускорение свободного падения; Н — высота ковша; L—длина ковша; kф — коэффици­ент, учитывающий форму ковша; Gуст— предельный вес грунта н ковше, при котором сохраняется устойчивость экскаватора при наиболее неблагоприятном положении рабочего оборудования

Ширина ковша должна быть больше суммарной ширины зубьев:

*В>п3b3.*  (27)

Чтобы не было запрессовки грунта между зубьями, промежу­ток между ними предусматривают более двух-трех ширин зубьев:

(28)

В то же время промежутки между зубьями должны обеспечи­вать пересечение зон разрушения грунта отдельными зубьями, т. е. исключить из процесса резания козырек ковша:

(29)

Высота и длина ковша функционально связаны с его шириной, что отражено в нормалях заводов-изготовителей:

*H = f1(B), L=f2(B).* (30)

Все приведенные формулы составляют основу математической модели рабочего процесса одноковшового экскаватора. Варьиру­емыми параметрами являются величины *В, h, v, b3* и *п3,* значе­ния которых должны находиться в реальном диапазоне. Нахож­дение их оптимальных значений и составляет цель оптимизации рабочего процесса одноковшовых экскаваторов.

**Строительные краны**. Среднечасовая эксплуатационная про­изводительность строительных кранов характеризуется массой поднятых грузов за один час с учетом поправочных коэффициен­тов:

, (31)

где *Q* — грузоподъемность, т; *kГ* — коэффициент использования крана по грузоподъемности; kВ—коэффициент использования крана по времени; tц — продолжительность рабочего цикла, мин, равная

(32)

*Н* — высота подъема груза, м; *v0* — скорость подъема (опуска­ния) груза, м/мин; *l1* — средний путь тележки, каретки, стрелы (при изменении вылета), м; *12* — средний путь крана, м; *l*3 — среднее число оборотов крана (стрелы) за цикл; *v1* — скорость передвижения тележки, каретки, проекции головы стрелы, м/мин; *v2* — скорость передвижения крана, м/мин; *v3* — частота враще­ния крана, мин-1; *tp.э*— средняя продолжительность вспомога­тельных ручных операций, не входящих в продолжительность цикла, применительно к конкретным условиям (тип груза и грузозахватного приспособления, способ строповки и др.).

Коэффициент использования крюкового крана на грузоподъем­ности составляет 0,8—1, для грейферного оборудования — 0,8... 0,9; коэффициент использования крана по времени соответствен­но 0,75...0,9 и 0,85...0,95.

Годовая эксплуатационная производительность

Пг = ПчTГkВ.С., (33)

где *Т*г — количество рабочих часов в году; kв.с — коэффициент внутрисменного использования крана.

Из формулы производительности крана видно, что одним из путей ее повышения является увеличение рабочих скоростей. Од­нако с их ростом увеличивается масса крана, его стоимость и за­траты на эксплуатацию.

Для повышения производительности башенных кранов [1] в крупнопанельном домостроении на 37...40 % необходимо увели­чить скорость подъема грузов максимальной массы и максималь­ную скорость подъема до 40...50 м/мин, частоту вращения до 0,7...0,8 мин-1. Применение балочных стрел на башенных кранах по сравнению с подъемными повышает производительность на 10...15 %, а рациональное совмещение рабочих движений, выпол­няемых в определенной последовательности,— на 8...10 %. Рост производительности строительных кранов возможен также при применении бортовой микропроцессорной техники, с помощью которой осуществляется управление работой крана при опти­мальной траектории транспортируемого груза.

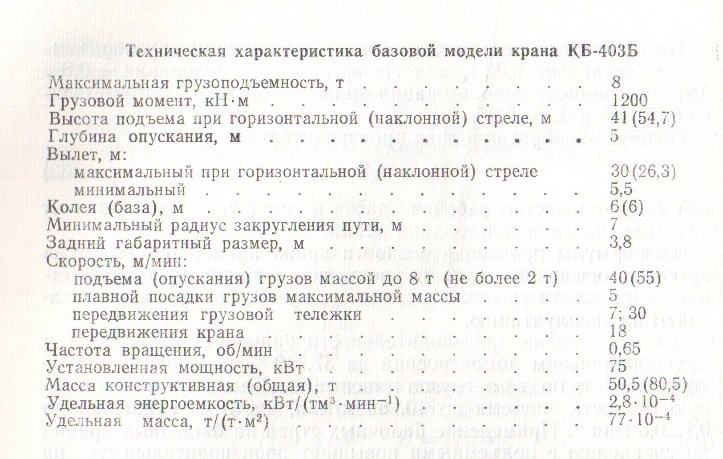
МОДЕРНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КРАНОВ

БАШЕННЫЕ КРАНЫ

Строительные башенные краны КБ-403Б, КБ-407ХЛ, КБ-100.3А. ПО «Строймаш» (г. Москва) освоило выпуск модер­низированного полноповоротного мобильного *башенного крана КБ-403Б* (рис. 16) с максимальной высотой подъема 54,7 м, пред­назначенного для механизации строительно-монтажных работ при возведении жилых, общественных и промышленных зданий.

Строительный башенный кран с поворотной башней и балоч­ной стрелой рассчитан на работу в 1...УП ветровых районах б. СССР при температуре воздуха —40... + 40°С.

Башенный кран КБ-403Б отличается от крана КБ-403А воз­можностью установки балочной стрелы под углом 30° к горизон­тали с сохранением передвижения грузовой тележки с грузом по наклонной стреле. В результате применения специальной запасовки груз при изменении вылета перемещается по горизонтали, что облегчает машинисту его наводку, сокращает продолжитель­ность рабочего цикла и тем самым способствует повышению про­изводительности крана.



Возможность наклона стрелы и маневренное изменение вылета позволили увеличить высоту подъема груза с 41 до 54,7 м.

Кран выполнен в 27 исполнениях; его конструкция основана на модульном принципе, позволяющем из одних и тех же элемен­тов собирать краны с различными характеристиками (табл. 8), отличающимися высотой, мак­симальным вылетом и исполь­зовать их в различных ветро­вых районах.

Для повышения безопасно­сти при работе с наклонной стрелой предусмотрено автома­тическое блокировочное уст­ройство, позволяющее стопо­рить грузовую тележку на на­клонной стреле при аварийном обрыве тележечного каната.

Ведущие тележки оборудо­ваны новыми приводными аг­регатами ПК-6,3, содержащи­ми глобоидно-цилиндрический редуктор, двигатель мощ­ностью 6,3 кВт, тормоз и амор­тизатор (рис. 17).

Ходовые тележки снабжены рельсовыми захватами и про­тивоугонными упорами. Полу­автоматический рельсовый за­хват для удержания крана от опрокидывания при непредвиденных перегрузках расположен в нижней части рамы тележки между колесами. Захват состоит из двух щек, шарнирно подве­шенных на общей оси. В нижней части щек есть выступы, посто­янно подведенные под головку рельса. При движении крана щеки свободно обходят стандартные рельсовые накладки. При от­рыве ходовой тележки от рельса происходит автоматический за­хват головки щеками рельса.

Противоугонные упоры, представляющие собой клин с рукоят­кой, устанавливают на рельсы под колеса ходовых тележек после окончания работы. При сдвиге крана ветром колеса наезжают на противоугонные упоры, и движение крана прекращается. На вре­мя работы крана противоугонные упоры укладывают на раму тележки.

На ходовой раме установлен кабельный барабан для равно­мерной укладки питающего кабеля. Кабельный барабан снаб­жен приводом и токосъемником. Кабель закрепляют в раструбе, который устанавливают в середине рельсового пути, обеспечивая передвижение крана на расстояние до 50 м.

Ходовая рама с помощью однорядной поворотной роликовой опоры диаметром 2500 мм соединяется с поворотной платформой, на которой установлены стреловая и грузовая лебедки, меха­низм поворота.

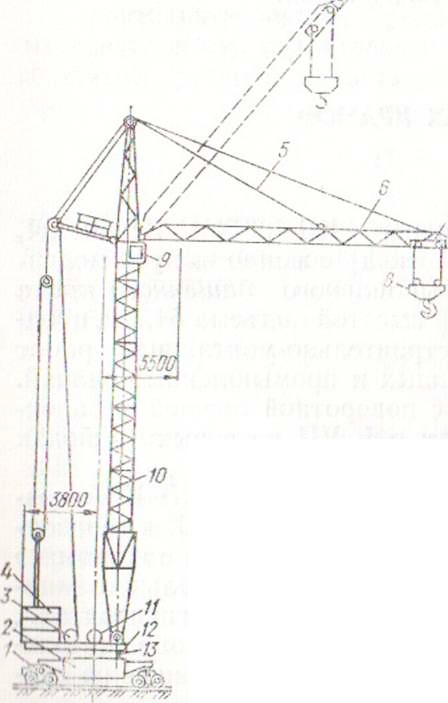
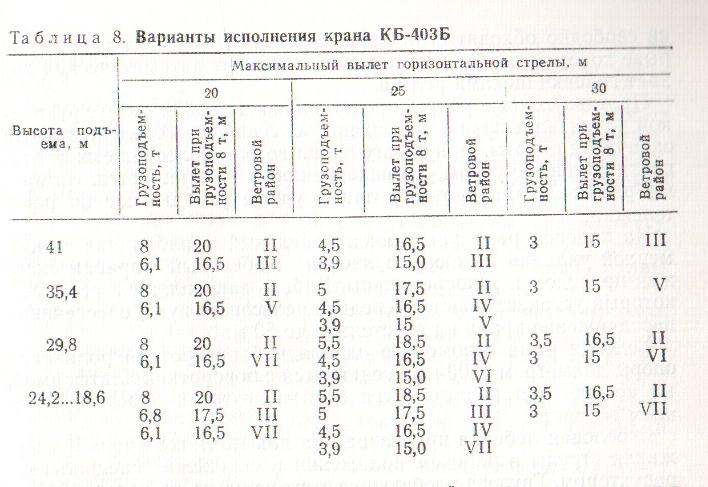
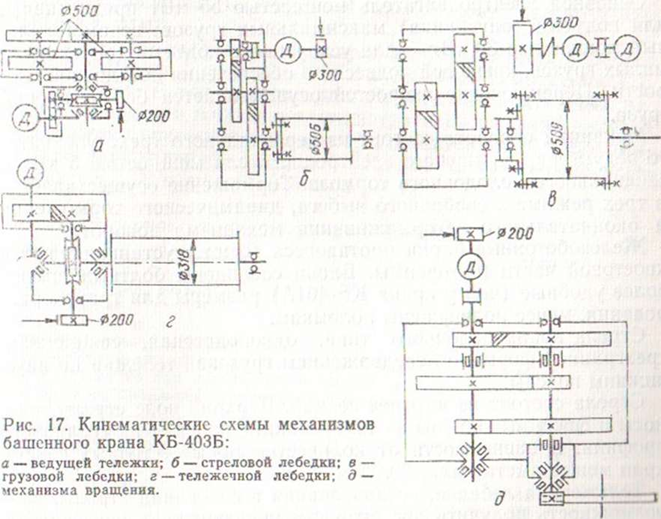


Рис. 16. Башенный кран КБ-403Б:

1 — ходовая ведущая те­лежка: 2— ходовая ра­ма; 3 — стреловая лебед­ка; *4* — противовес; 5 — расчал; *6* — стрела; 7 — грузовая тележка; крюковая подвеска; *9 —* кабина; *10 —* башня; 11—механизм подъема: *12* — поворотная платфор­ма; *13* — опорно-поворот­ный круг.





Стреловая лебедка предназначена для монтажа крана и удер­жания стрелы в рабочем положении и снабжена специальным редуктором. Грузовая лебедка состоит из рамы, на которой жест­ко закреплены барабан, редуктор с тормозом и два электродви­гателя. Барабан лебедки унифицирован с барабаном серийной лебедки Л-600. На выносной опоре барабана установлен ограни­читель нижнего положения крюка.

Основной электродвигатель мощностью 55 кВт предназначен для подъема (опускания) максимальных грузов; вспомогатель­ный мощностью 30 кВт — для ускоренного подъема (опускания) малых грузов, крюковой подвески и обеспечения посадочной ско­рости. Переключение скоростей осуществляется без остановки груза.

Механизм поворота состоит из вертикального трехступенчато­го редуктора, фланцевого электродвигателя мощностью 5 кВт и специального колодочного тормоза. Торможение осуществляется в трех режимах: свободного выбега, динамического торможения и окончательного затормаживания механизма поворота.

Железобетонные блоки противовеса (6 шт.) устанавливают в хвостовой части платформы. Блоки соединены болтами, имеют более удобные (чем у крана КБ-401А) размеры для транспорти­рования, менее подвержены поломкам.

Стрела крана балочного типа, одноподвесная, секционная, трехгранной формы с передвижением грузовой тележки по двум нижним поясам.

Стрела состоит из четырех секций. Верхний пояс стрелы, рас­косы и связи выполнены из труб; нижние пояса — из уголкового профиля. В зависимости от количества промежуточных секций кран может иметь вылет 20, 25 и 30 м.

Тележечная лебедка, установленная в основании стрелы, дает возможность получить две скорости передвижения грузовой те- лежки благодаря применению специального электропривода на базе электродвигателя мощностью 5 кВт и приводного агрегата ПК-6,3.

Крюковая обойма — двухблочная, состоит из двух листовых щек, блоков, крюка, траверсы и защелки; расстояние между ка­натами 1200 мм (для предотвращения закручивания канатов).

Щеки стягиваются болтами на распорных втулках. К щекам болтами прикреплены грузы для утяжеления подвески.

В кабине улучшена обзорность, установлены кресло-пульт, кондиционер и термодатчик для автоматического регулирования температуры воздуха. При монтаже и испытании крана управ­ление механизмами осуществляется с выносного пульта.

Кран снабжен приборами безопасности: ограничителями гру­зоподъемности, высоты подъема, глубины опускания, вылета, по­ворота, передвижения крана, высоты подъема башни; указателя­ми грузоподъемности и вылета; анемометром.

Ограничитель грузоподъемности имеет две ступени: для огра­ничения максимальной грузоподъемности и грузоподъемности при повышенной скорости подъема груза.

Монтаж башенного крана выполняют собственными механиз­мами и вспомогательным автокраном. Башню подращивают сни­зу отдельными секциями. Кран перевозят в собранном виде на специальных подкатных тележках автомобильным тягачом типа МАЭ-537 или КрАЗ-2556.

Секции башни стрелы, блоки противовеса перевозят стандарт­ным автотранспортом. По железной дороге кран перевозят от­дельными узлами.

На Ухтинском механическом заводе изготавливается полнопо- воротннй башенный кран КБ-407ХЛ в северном исполнении [2], предназначенный для механизации строительно-монтажных ра­бот при возведении жилых и административных зданий высотой до 12 этажей включительно с массой элементов до 10 т при тем­пературе окружающего воздуха —60... + 40°С. Его можно уста­навливать в 1...У ветровых районах.

Техническая характеристика башенного крана КБ-407ХЛ

Грузовой момент, кН-м…………………………………………………....1600

Грузоподъемность, т:

при наибольшем вылете…………………………………………………....6,3

максимальная………………………………………….....10

Высота подъема, м:

при горизонтальной стреле……………………………41,8

максимальная (при наклонной стреле)……………………………………………….....52,4

Глубина опускания при максимальном вылете, м……....................................................................................5

Вылет при горизонтальной (наклонной) стреле, м:

Максимальный………………….............................25(22,1)

Минимальный…………………………....................6(5,68)

при максимальной грузоподъемности………………………………...16(14,3)

Скорость, м/мин:

подъема груза массой до2,5 т…….................................46

то же свыше 2,5 т ………………………………………..31

передвижения крана……………………………………..27

передвижения грузовой тележки……………………….30

Частота вращения крана, об/мин……………………….0,7

Колея (база), м………………………………………….6(6)

Задний габаритный размер, м …………………………...4

Установленная мощность электродвигателей, кВт . . .98,5

Нагрузка от массы крана при мобильной перевозке, кН:

на подкатные тележки………………………………….208

на тягач…………………………………………………...76

Габаритные размеры поезда при транспортировке, м. 28X4,02X4,2

Масса крана, т:

конструктивная…………………………………………..60

общая……………………………………………………110

Панельная кабина машиниста снаружи обшита тонколистовой сталью, внутри — плитами ДСП. Полости между облицовками заполнены огнестойкими теплоизоляционными материалами, пол и крыша кабины также утеплены. Под полом и на стенах кабины смонтированы обогревательные панели «Слотерм». В кабине предусмотрены удобное подрессоренное сиденье, регулируемое по высоте и в продольном направлении, автоматически регули­руемая система отопления и приточно-вытяжная вентиляция, командоаппараты, шкаф управления, огнетушитель, термос для питьевой воды, аптечка и шкафчик для хранения технической документации и инструмента. На окнах смонтированы привод­ные стеклоочистители, приборы для обогрева и обдува стекол, солнцезащитные козырьки.

Система отопления и приточно-вытяжная вентиляция обеспе­чивают в течение 12...15 мин обогрев кабины до положительной температуры при температуре окружающего воздуха —50 °С (за 25...30 мин до +15°С). Температура воздуха внутри кабины поддерживается автоматически специальными терморегулятора­ми, устанавливаемыми машинистом на желаемый тепловой ре­жим в пределах 14...22СС. Перепад температур пространства между полом кабины и уровнем головы машиниста составляет 2...3°С (допустимая санитарная норма до 10 °С).

Кран подключают к трехфазной четырехпроводной сети напря­жением 380 В, мощность источника питания должна быть не ме­нее 180 кВ-А.

Грузовая лебедка состоит из редуктора, барабана и двух элек­тродвигателей. На свободный конец быстроходного вала установ­лен колодочный тормоз. Лебедка приводится основным электро­двигателем с фазным ротором и вспомогательным — двухскоростным с короткозамкнутым ротором. Малые скорости для посад­ки груза достигаются совместным включением обоих двигателей.

Металлоконструкции крана изготовлены из низколегирован­ных термически упрочненных сталей, способных воспринимать расчетные нагрузки при температуре —60 °С; блоки, коуши и корпуса подшипников — из литой стали с термоупрочнением. В дополнение к клещевым рельсовым захватам тисочного типа кран снабжен полуавтоматическими центральными захватами, предохраняющими кран от схода с рельсов во время работы принезначительных местных просадках рельсового пути и динами­ческих нагрузках, приводящих к отрыву ходовых колес от головки рельсов. Шариковый опорный круг с цевочным зацеплением за­менен более мощным и надежным — роликовым с эвольвентным зацеплением.

Детали и сборочные единицы крана изготовлены по специаль­ной технологии, определенной требованиями стандартов для ма­шин в северном исполнении.

Стыки башни имеют пальцы, позволяющие сократить время монтажа и демонтажа крана и снизить трудоемкость техническо­го обслуживания. Примыкание трубчатых раскосов к основным поясам металлоконструкций выполнено путем профильной врез­ки, что значительно повысило несущую способность сварных час­тей.

Кран выполнен по мобильной схеме. Монтируют и демонтиру­ют его при помощи собственных механизмов и 16-тонного авто­крана с вылетом 8 м и высотой подъема 5 м. Перевозят кран в собранном виде без стрелы, промежуточных секций башни и плит противовеса на специальной подкатной тележке в прицепе с ав­тотягачом. Секции стрелы, башни и плиты противовеса перево­зят автотранспортом. По железной дороге кран перевозят от­дельными частями, вписываемыми в габарит «01-Т» в соответ­ствии с ГОСТ 9238—73.

Ленинградским объединением Ленстроймаш и Руставским краностроительным заводом разработана техническая документация на модернизированный башенный кран КБ-100.3А, заменяющий башенные краны К.Б-100.3 и КБ-100.1А. Модернизация проведе­на для повышения эксплуатационных показателей крана и, в пер­вую очередь, производительности за счет увеличения скоростей подъема груза и опускания холостого крюка, а также для сниже­ния трудоемкости изготовления крана.

Модернизированный башенный кран КБ-100.3А предназначен для механизации строительства при возведении жилых, админи­стративных и промышленных зданий высотой до 9 этажей с подъ­емом строительных элементов массой до 8 т. Кран рассчитан на легкий режим работы ветровых районах при температуре окружающего воздуха —40...+40 °С.

Башенный кран КБ-100.3А разработан в двух исполнениях: КБ-100.3А-1 (основное исполнение) с башней для строительства девятиэтажных зданий и КБ100.3А-2 с укороченной башней (без вставки) для строительства пятиэтажных зданий. Опытные об­разцы этих кранов, изготовленные Руставским краностроитель- лым заводом, успешно прошли приемочные испытания и реко­мендованы к серийному производству.

Техническая характеристика башенного крана КБ-ЮО.ЗА

*КБ-100.3А-1* 1000

*КБ-100.3А-2* 1250

Максимальный грузовой момент, кН-м Вылет стрелы, м:

максимальный

при максимальной грузоподъемности 12,5 15,6

Грузоподъемность, т:

при наибольшем вылете .... 4 5

наибольшая 8

Высота подъема крюка при наибольшем

вылете, м 33 24

Глубина опускания груза ниже головки

рельса, м 5

Скорости, м/мин:

подъема наибольшего груза при двух­кратной (четырехкратной) запасовке

каната 30(15)

подъема груза массой до 2 т при двухкратной запасовке каната 45 то же до 4 т при четырехкратной за­пасовке каната 22,5

плавной посадки наибольшего груза при двухкратной (четырехкратной)

запасовке каната 5(2,5)

изменения вылета 15

передвижения крана 28

Частота вращения, об/мин .... 0,7

Колея (база), м 4,5(4,5)

Задний габаритный размер, м 3,6

Тип рельса Р50

Расчетная нагрузка от колеса на рельс,

кН 175

Установленная мощность электродвига­телей, кВт 78,3

Масса конструктивная, т 34 31,7 Масса общая с противовесом и баллас­том, т 87,1 85,1

Модернизированный башенный кран КБ-100.3А состоит из хо­довой рамы с флюгерами и ходовыми тележками; поворотной платформы с размещенными на ней грузовой и стреловой лебед­ками, механизмом поворота, двумя электрошкафами управления и противовесом; башни с распоркой, подкосами, блоками и.мон­тажной стойкой; стрелы с блоками и ограничителем высоты подъема крюка, оттяжки стрелы, кабины машиниста, верхней и нижней обойм, крюковой подвески, электрооборудования, проти­вовеса и балласта.

Кран снабжен также ограничителями грузоподъемности, изме­нения вылета стрелы, поворота и передвижения, анемометром и молниеотводом.

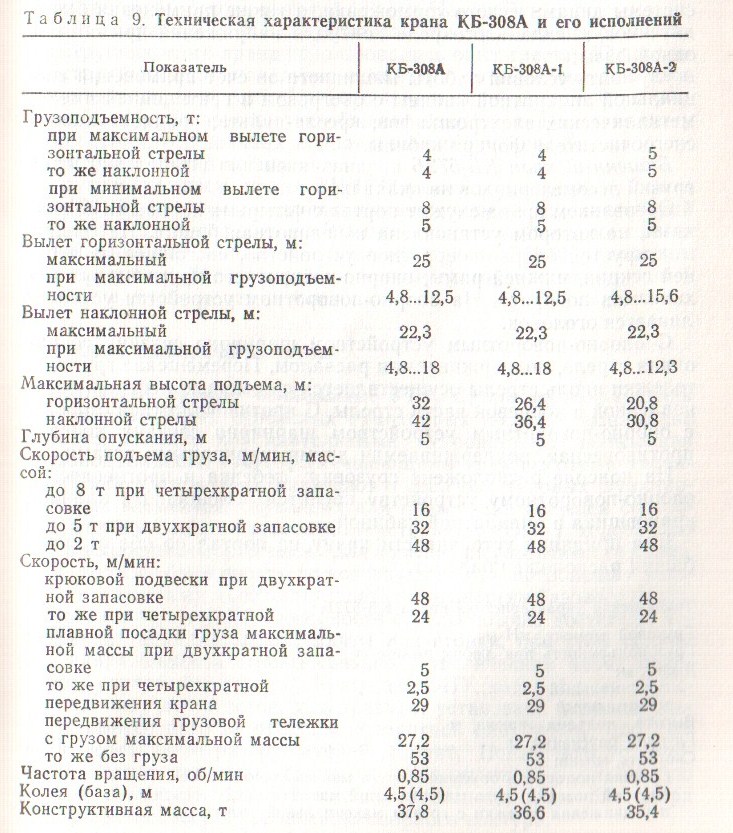
Перевозка крана основного исполнения осуществляется двумя автопоездами, второго (укороченного) исполнения — одним.

Для сборки башни, установки плит противовеса и центрально­го балласта используется автокран грузоподъемностью 10 т. Монтаж крана из транспортного положения в рабочее произво­дится методом поворота башни с помощью грузовой лебедки, на барабане которой закрепляется канат стрелового поли­спаста.

Перевод стрелы из транспортного положения в рабочее выпол­няют с помощью вспомогательного автокрана и стреловой лебедки, на барабане которой закрепляется второй конец каната гру­зового полиспаста.

Башенные краны КБ-308А, КБ-572Б. Никопольским кранотроительным заводом совместно с отделом № 10 СКТБ башен­ного краностроения и ДИСИ проведена модернизация кранов КБ-308 и КБ-572А.

*Кран КБ-308А* по сравнению с прежней конструкцией имеет ряд усовершенствований, повышающих технические характерис­тики базовой модели и его исполнений: облегченный оголовок башни, двухдвигательная лебедка грузовой тележки, ходовые те­лежки и механизм вращения с меньшим передаточным числом (табл. 9).



Перебазировку крана выполняют на подкатных тележках. Но­вые конструктивные решения, реализованные на кране К.Б-308А, позволили:

* увеличить частоту вращения за счет уменьшения общего пере­даточного числа механизма поворота, а введением эксцентриковой втулки — регулировать боковой зазор в зацеплении выход­ной шестерни;
* получить три скорости передвижения грузовой тележки, малую доводочную, основную и ускоренную, применяя два электродви­гателя;
* обеспечить более надежную работу механизма подъема груза в результате использования дополнительного тормоза вместо системы динамического торможения, а также применения блока датчиков, специального реле контроля напряжения при обрыве одной фазы;
* улучшить условия работы машиниста за счет применения спе­циальной аппаратной кабины с обогревом и вентиляцией вместо металлических электрошкафов, кресла-пульта, радиостанции и снегоочистителя фонаря кабины.

*Башенный кран КБ-572Б* предназначен для штабелевки и погрузки лесоматериалов на складах.

Основанием крана служит портал с четырьмя ходовыми тележками, на котором установлена неповоротная башня. На башню монтируется опорно-поворотное устройство, состоящее из верхней секции, нижней рамы, опорно-поворотного круга и двух механизмов поворота. На опорно-поворотном устройстве устанавливается оголовок.

С опорно-поворотным устройством шарнирно связана секци­онная стрела, поддерживаемая расчалом. Перемещение грузовой тележки вдоль стрелы осуществляется с помощью лебедки, установленной в корневой части стрелы. С противоположной стороны с опорно-поворотным устройством шарнирно связана консоль противовесная, поддерживаемая двумя шарнирными тягами.

На консоле расположена грузовая лебедка и противовес. К опорно-поворотному устройству крепится площадка с кабиной крановщика и аппаратной кабиной.

Для придания устойчивости крану на портал по обе стороны ^ башни расположен балласт.

Техническая характеристика крана КБ-572Б

Грузовой момент, кН-м ……………………………..3000

Грузоподъемность при любом вылете, т……………..10

Вылет, м:

максимальный…………………………………………...30

минимальны………………………………………………4

Высота подъема крюка, м…………………………….13,5

Глубина опускания, м…………………………………...10

Скорость, м/мин:

средняя подъема и опускания груза максимальной массы……………………………………………………..20

плавной посадки груза максимальной массы…………..4

передвижения тележки с грузом максимальной массы38

Монтажный башенный кран БК-Ю00. При строительстве над- шахтового здания высотой 106 м в Кривом Роге по проекту УкрПТКИмонтажспецстроя была выполнена модернизация крана БК-Ю00 с привязкой его к каркасу монтируемого здания и с ис­пользованием специальных конструкций, обеспечивающих пово­рот крана на 360°. Модернизация его в прислонный позволила значительно увеличить высоту подъема при сохранении большой грузоподъемности. Такой кран был также применен на строи­тельстве трубы-башни высотой 180 м в Новом Раздоле.

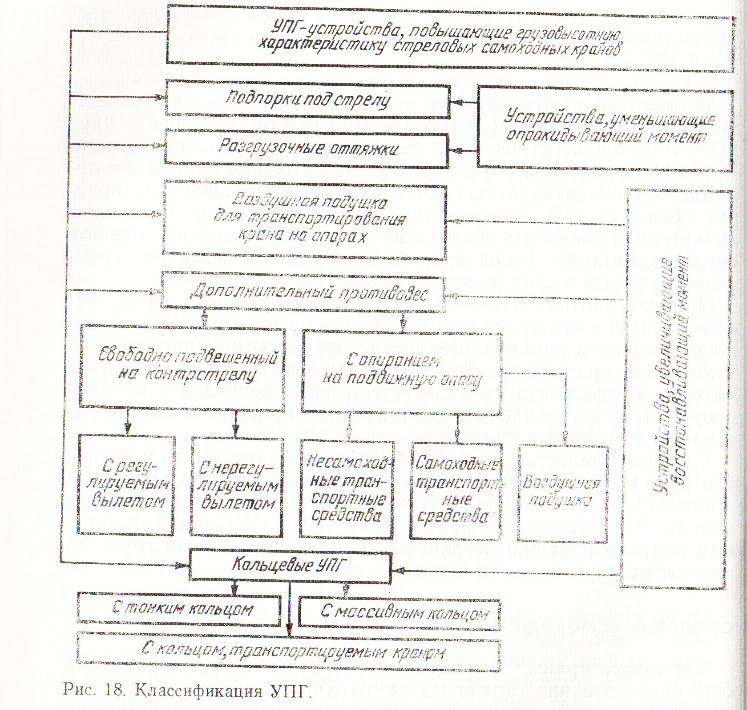
При разработке ПКБ Укрглавстальконструкции проекта ре­конструкции этого крана использовались опыт треста «Южсталь- конструкция» и рационализаторские предложения монтажников и механизаторов треста «Криворожстальконструкция». В резуль­тате была увеличена высота башни, кран привязан к каркасу сооружения, установлены дополнительные приборы безопасности и контроля усилий в канате.

Грузоподъемность крана Б К-1000 удалось увеличить в 2 раза (до 100 т) укорочением стрелы и оснащением ее дополнительной подвеской из трех роликов. В качестве грузовой подвески была использована шестиблоковая подвеска крана СКГ-100. Конструк­ции портала и башни остались неизменными, так как грузовой момент машины не увеличился.

**СТРЕЛОВЫЕ САМОХОДНЫЕ КРАНЫ**

Стреловые краны, оснащенные УПГ. Одним из направлений совершенствования стреловых самоходных кранов — оснащение базовых моделей дополнительными устройствами повышения грузоподъемности (УПГ), улучшающими грузовысотные харак­теристики кранов. УПГ включают в себя ряд типовых функцио­нальных элементов, служащих для повышения несущей способ­ности стрелы, опорно-поворотного устройства (ОПУ), ходовой ра­мы и выносных опор, а также для повышения устойчивости крана. УПГ должны быть просты по конструкции, приспособлены к уско­ренному монтажу и соответствовать особенностям базового крана.

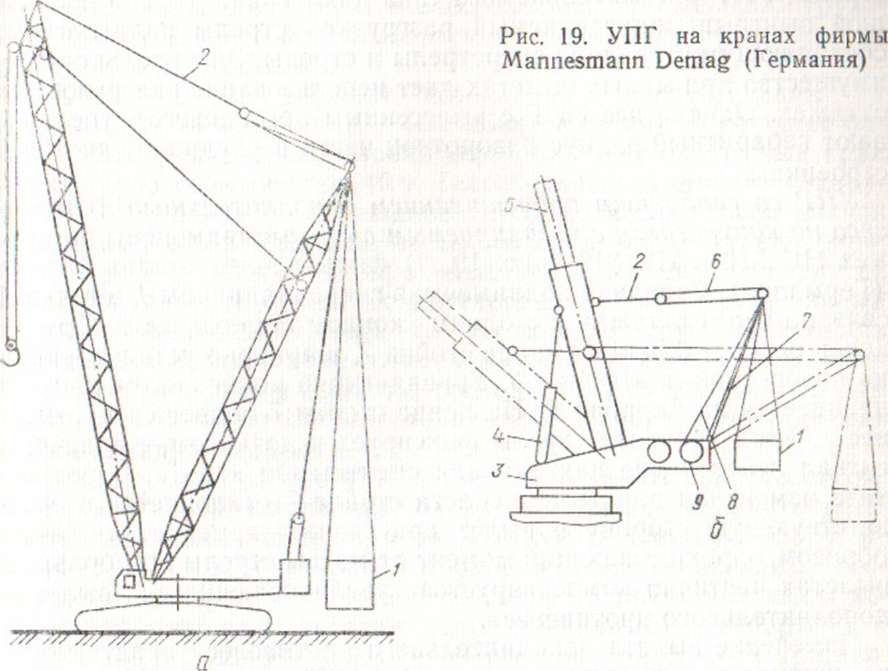
Повышение несущей способности стрелы обычно достигают ус­тановкой дополнительной мачты или стойки, при этом сниже­ние напряженности стрелы связано с увеличением плеча поли­спаста управления стрелой. Разгрузка ОПУ, ходовой рамы и вы­носных опор достигается, как правило, установкой дополнитель­ного, вынесенного за пределы поворотной платформы, противо­веса, создающего разгружающий момент. Повышение устойчи­вости кранов при подъеме грузов, превышающих номинальную грузоподъемность базовой машины, обеспечивается благодаря этому противовесу и увеличению опорного контура.



УПГ применяют в основном на кранах грузоподъемностью 100.. 160 т и более. На рис. 18 приведена классификация сущест­вующих УПГ, которую можно дополнить в процессе развития и совершенствования кранов. Эти устройства различаются не только по конструкции, но и по принципу действия. В большин­стве случаев действие УПГ основано на увеличении восставливающего момента, хотя существуют устройства, уменьшающие опрокидывающий момент. К ним относятся разгрузочные оттяж­ки, повышающие сопротивляемость стрелы.

Типичная конструкция УПГ (рис. 19, а) применена на кране СС4000 грузоподъемностью 650 т фирмы Маппезгпапп Бетад (Германия); с оборудованием ЭирегПН; грузоподъемность крана достигает 800 т. Отклоненная назад контрстрела несет дополни­тельный противовес ***1.*** Оттяжка ***2*** соединяет оголовок контрстре­лы со стрелой, в значительной мере разгружая ее, особенно если стрела телескопическая. Разгружающий эффект тем больше, чем длиннее контрстрела. Длина ее в различных исполнениях различ­на, но не превышает длины стрелы.

Различают УПГ со свободным подвешиванием противовеса и с описанием его на подвижную опору. Первые УПГ подразделя­ют на устройства с нерегулируемым и регулируемым вылетом контрстрелы; у вторых — в качестве опор может быть использо­вана воздушная подушка; несамоходные



экипажи, буксируемые поворотной платформой крана при ее вращении (трейлеры или рельсовые платформы); самоходные гусеничные транспортеры, совершающие круговое движение, приводящее во вращение кран или буксирующие его при перемещении на строительной пло­щадке.

При использовании УПГ со свободным подвешиванием допол­нительного противовеса на контрстрелу с нерегулируемым вы­летом кран может вращаться без вспомогательных, требующих затрат устройств. Для обеспечения устойчивости приходится ог­раничивать момент противовеса либо, что не выгодно, увеличи­вать базу выносных опор. Это целесообразно применять при ме­няющихся грузах, когда возврат противовеса в исходное положе­ние не обязателен. Изменение вылета стрелы при наличии груза на крюке в УПГ подобного типа обычно не допускается.

Для УПГ, использующих дополнительные противовесы на контрстреле, характерно значительное повышение грузоподъем­ности на больших вылетах за счет компенсации момента от мас­сы стрелы. При малых вылетах там, где лимитируется прочность стрелы, УПГ рассматриваемого типа дают сравнительно неболь­шой выигрыш, определяемый разгрузкой стрелы полиспастом, соединяющим оголовки контрстрелы и стрелы. Значительное пре­имущество при малых вылетах дает использование разгрузочных оттяжек. Однако все УПГ с вынесенным противовесом увеличи­вают габаритный радиус поворотной части и ухудшают доступ к строениям.

УПГ со свободным подвешиванием дополнительного противо­веса на контрстрелу с регулируемым вылетом применены на кра­нах НС 510 и НС 810 (рис. 19, б) фирмы Маппезгпапп Оешай (Германия). Стрела 5, поднимаемая гидроцилиндром 4, в точке А связана через оттяжку 2 с одним концом полиспаста 6. Другой конец огибает блоки на конце стойки 7, шарнирно установленной на поворотной платформе 3. Управляющий полиспастом канат 8 навивается на барабан 9. На конце стойки 7 подвешен противо­вес 1. Угол поворота стрелы фиксируется датчиком, выдающим сигнал лебедке для навивки или сматывании каната. В резуль­тате изменения длины полиспаста стойка 7 отклоняется в соот­ветствующую сторону и вылет противовеса изменяется. Таким образом, опрокидывающий момент от массы стрелы при больших вылетах частично компенсируется увеличивающимся вылетом дополнительного противовеса.

Изменение вылета дополнительного противовеса предусмотре­но, например, у гусеничного крана ЬИ 1600 фирмы Liebherr, Гер­мания (рис. 20). Максимальный грузовой момент его составляет 180000 кН-м, номинальная грузоподъемность 530 т. Поворотная платформа несет мачту 1, поставленную в положение, близкое к вертикальному. Мачту можно закрепить, получая кран в ба­шенном исполнении. Управляемый гусек 9 игольчатого типа (его длина иногда превосходит длину основной стрелы) удерживает­ся оттяжкой 8. Дополнительный противовес 5, масса которого в некоторых вариантах сборки достигает 980 т, подвешен на оттяж­ке 4. Укосина 7 с выдвигаемой секцией поддерживается подко­сом 6. Дополнительный противо­вес соединен с поворотной плат­формой складывающимся водилом 3. Оттяжка 2 удерживает ого­ловок мачты. Такую компоновку целесообразно применять при об­служивании высоких сооружений, требующих монтаж тяжелых гру­зов на большом вылете.

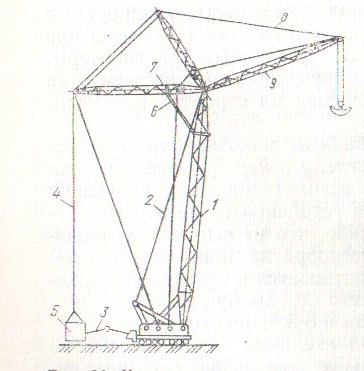


Рис.20. Кран регулированный вылетом противовеса фирмы Liebherr (Гер­мания)

В кране ЬИ 1600 стрела и контрстрела (в данной конструк­ции ее функцию выполняет укоси­на) выполнены решетчатыми, что характерно для всех сверхтяжелых кранов. При меньших грузоподъемностях (до 400 т) используются телескопическая стрела и решетчатая контрстрела.

Возможен другой вариант компоновки, осуществленный на кране ЛС 40/80 фирмы Agis Meccanica (Италия). В качестве ба­зовой конструкции использован серийный пневмоколесный кран АС 40 грузоподъемностью 40 т. Телескопическая стрела поверну­та назад. Дополнительно установлена решетчатая стрела длиной 48 м, масса которой меньше массы телескопической стрелы, в ре­зультате чего снижается опрокидывающий момент. Повернутая назад тяжелая телескопическая стрела создает значительный восстанавливающий момент, что увеличивает грузоподъемность крана до 80 т. Этот кран отнесен к группе кранов, снабженных УПГ с регулируемым вылетом, поскольку здесь дополнительным противовесом является телескопическая стрела, управляемая гидроцилиндром подъема.

Используются также *УПГ с дополнительным противовесом, опирающимся на подвижную опору,* у которых дополнительный противовес может опираться на жесткую подвижную опору, не препятствуя повороту крана. К опорам, обеспечивающим воз­можность поворота, относятся трейлеры на пневмоколесном хо­ду, платформы на рельсовом ходу, гусеничные транспортеры и воздушная подушка. С одной стороны, дополнительный противо­вес, жестко связанный с экипажем, обладает массой, обеспечива­ющей устойчивость вперед при максимальном опрокидывающем моменте. С другой стороны, опирание противовеса на жесткую опору улучшает устойчивость назад. Рассматриваемые варианты УПГ рекомендуют применять на сверхмощных кранах для пере­грузки грузов одинаковой массы. При этом разрешается подъем стрелы, а частично и передвижение с грузом на крюке.

*УПГ* с противовесом, опирающимся на воздушную подушкупредложила фирма Cresout—Loire (США). Сжатый воздух по­дается под противовес компрессором. При больших грузовых мо­ментах щель между противовесом и основанием может стать большой и расход воздуха — чрезмерным. При этом давление воздуха редуцируется по сигналу датчика, установленного в точ­ке подвеса противовеса.

Во избежание запыленности на стройплощадке и для сглажи­вания неровностей на ней необходимо специально оборудовать трассу для противовеса, что снижает достоинства рассматривае­мого УПГ. Данных о его практическом применении нет.

*УПГ с* опиранием противовеса на трейлер, буксируемый кра­новой поворотной платформой*,* предложила фирма American Ho­ist (США). На рис. 21 изображен кран с УПГ Sky Horse. Длина решетчатой контрстрелы 8 равна 1/2...2/3 длины основной стре­лы *10.* Контрстрела соединена полиспастом с А-образным крон­штейном *6,* а кронштейн — с противовесом *2,* установленным на поворотной платформе. Грузовой канат *9* сходит с лебедки *1* и возвращается по передней грани стрелы к другой лебедке.

1. В книге названия строительных организаций, трестов и министерств привсдсш.| на момент подготовки рукописи. [↑](#footnote-ref-1)