ВЕРТИКАЛЬНАЯ ПЛАНИРОВКА АЭРОДРОМОВ

В.И. Блохин

В. И. БЛОХИН

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ПЛАНИРОВКА АЭРОДРОМОВ

МОСКВА «ТРАНСПОРТ» 1978

УДК 629.139

Вертикальная планировка аэродромов. Блохин В. И. М., «Транспорт», 1978. 136 с.

В книге рассмотрены основные характеристики рельефа и требования к проектной поверхности аэродромов, учитывающие безопасность выполнения взлетно-посадочных операций, топографические, инженерно-геологические, гидрогеологические и климатические условия строительства.

Подробно описаны методы и практические приемы проектирования вертикальной планировки грунтовой части аэродромов и искусственных покрытий, способы вычисления объемов земляных работ с минеральным и растительным грунтом.

Рассмотрены методика составления схемы перемещения грунта с использованием алгоритмов транспортной задачи и технико-экономические показатели проекта вертикальной планировки. Приведены основные сведения о составе и оформлении материалов проекта вертикальной планировки аэродромов.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников, связанных с проектированием, строительством и эксплуатацией аэродромов. Она может быть использована студентами вузов, обучающимися по специальности 1213 «Строительство аэродромов».

Ил. 118, табл. 7, список лит. 14.

Б 31801-057 57-78
049(01)-78

© Издательство «Транспорт», 1978.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основными направлениями развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы предусмотрен дальнейший значительный рост перевозок воздушным транспортом. Этот рост обеспечивается вводом в эксплуатацию новых типов пассажирских и грузовых самолетов; расширением реконструкции и строительства новых аэропортов; оборудованием аэропортов средствами механизации и автоматизации перевозочных процессов и обслуживания самолетов; внедрением в более широких масштабах бортовых и наземных систем навигационного и радиотехнического оборудования, обеспечивающих автоматизацию процессов управления воздушным движением, взлетом и посадкой самолетов.

Строительство новых и реконструкция действующих аэропортов (удлинение взлетно-посадочных полос, расширение перронов и мест стоянки, хранения самолетов, развитие системы рулежных дорожек и др.) связаны с трудоемким процессом — земляными работами. Главная часть объема земляных работ выполняется в пределах аэродрома. От решения вертикальной планировки в значительной степени зависят эксплуатационные качества аэродрома, прочность и устойчивость верхних слоев его элементов, воспринимающих самолетные нагрузки, экономичность строительства и технической эксплуатации аэродрома.

Следствием вертикальной планировки может быть существенное преобразование естественного рельефа, изменение водно-теплового режима грунтов и нарушение растительного слоя земли на больших площадях. Решения вертикальной планировки аэродрома могут оказать благоприятное воздействие на природные условия.

Необходимость в вертикальной планировке возникла уже при строительстве первых аэродромов. В 1911 г. инженером Борейко было разработано и принято в качестве официального документа первое руководство по проектированию аэродромов «Оборудование аэродромов в инженерном отношении», которое содержало и требования к вертикальной планировке аэродромов того времени.

Количественный рост и качественные изменения авиационной техники и связанные с этим увеличение участков для строительства аэродромов и повышение требований к их поверхности обусловили необходимость создания специальных методов вертикальной планировки. Значительное влияние на развитие теории и практики проектирования вертикальной планировки оказали труды советского ученого Г. П. Матысика. В его трудах «Проектирование земляных работ на аэродромах» (1938 г.), «Рельеф и покрытия аэродромов» (1941 г.) и последующих трудах были разработаны научные основы вертикальной планировки аэродромов.

Большой вклад в развитие методов вертикальной планировки сделал проф. К. К. Скиданенко, разработавший в 1943 г. теоретические основы палетки заложений и практические приемы ее использования при проектировании вертикальной планировки аэродромов на плане в горизонталях.

Значительную работу по развитию идей и методов вертикальной планировки аэродромов провели проф. Н. Н. Ермолаев и канд. техн. наук Л. Р. Иоффе. Проф. Н. Н. Ермолаев положил начало научному обоснованию эксплуатационных требований к проектной поверхности аэродромов. Л. Р. Иоффе принадлежит разработка теоретических основ и практических методов проектирования вертикальной планировки искусственных покрытий. Эти труды нашли отражение в работе Н. Н. Ермолаева и Л. Р. Иоффе «Проектирование поверхности летного поля аэродрома» (1958 г.).

Содержание данной книги базируется в значительной мере на результатах плодотворной работы, проделанной советскими учеными. Вместе с тем в ней отражены происшедшие изменения в требованиях к поверхности аэродромов, обобщен накопленный за последние годы опыт вертикальной планировки аэродромов. При написании книги использован также опыт преподавания проектирования аэродромов в Киевском институте инженеров ГА.

Автор приносит глубокую благодарность специалистам ГПИ и НИИ «Аэропроект» инженерам В. Л. Квочкину и Б. Г. Новикову за ценные советы при подготовке рукописи.

Глава I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛАНИРОВКИ И ТРЕБОВАНИЯ К ПОВЕРХНОСТИ АЭРОДРОМОВ

§ 1. Особенности проектирования вертикальной планировки аэродромов

Рельеф участков, выбранных для строительства аэродромов, обычно нуждается в исправлении, в результате которого получается проектная поверхность участка. Она должна удовлетворять нормативным требованиям, установленным для определенного класса аэродромов.

Процесс проектирования и графического оформления проектной поверхности называют *проектированием вертикальной планировки,* или проектированием рельефа, а получаемые в результате этого графические и текстовые материалы — *проектом вертикальной планировки.*

От решения вертикальной планировки в значительной степени зависят эксплуатационные качества аэродрома, прочность и устойчивость верхних слоев покрытия, воспринимающих нагрузки самолетов, экономичность строительства и эксплуатации аэродрома.

Согласно строительным нормам [6], проект вертикальной планировки территории является обязательной составной частью проекта. Вертикальная планировка аэродромов осуществляется как при строительстве, так и реконструкции (удлинение взлетно-посадочных полос, расширение перронов и мест стоянки самолетов, реконструкция рулежных дорожек).

Впоследствии проектную поверхность выносят в натуру, что служит основой для производства земляных работ; после них естественная поверхность участка преобразуется в *проектную поверхность.*

С точки зрения удобства и безопасности выполнения взлетно-посадочных операций, идеальной будет горизонтальная поверхность аэродрома. Однако такое решение неприемлемо по следующим причинам: во-первых, для создания горизонтальной поверхности аэродрома требуется, как правило, выполнить значительные объемы земляных работ. во-вторых, горизонтальная поверхность не обеспечивает стока талых и дождевых вод, что в ряде случаев может служить причиной резкого снижения эксплуатационных качеств и даже выхода из строя аэродрома и значительного увеличения расходов на его содержание и ремонт. Поэтому при разработке проекта аэродрома наряду с требованиями безопасности полетов необходимо соблюдать надлежащие условия водоотвода.

Следует учитывать и другие факторы, которые могут повлиять на прочность и устойчивость аэродрома, например строительные качества грунтов, слагающих участок, возвышение проектной поверхности над уровнем грунтовых вод, наличие условий для произрастания дернообразующих трав и др.

При строительстве современного аэропорта высокого класса требуется разработать и переместить в средних условиях 500—700 тыс. м³ грунта (для некоторых аэропортов объем земляных работ достигает нескольких миллионов м³). Главная часть этого объема приходится на земляные работы, связанные с вертикальной планировкой аэродрома.

Эту массу грунта следует переместить в насыпь в среднем на расстояние 500—1500 м, уложить и уплотнить. Кроме того, необходимо снять, переместить на 200—250 м и временно обваловать 50—100 тыс. м³ растительного грунта, который впоследствии нужно уложить на площадях летного поля, чтобы создать дерновый покров. Стоимость выполнения земляных работ для аэропортов такого класса достигает значительных сумм. От общей стоимости строительно-монтажных работ стоимость земляных работ составляет сравнительно небольшую долю (1—2%). Учитывая это, не всегда может быть целесообразной экономия на земляных работах при создании проектной поверхности аэродрома, от очертания и высотного положения которой в значительной степени зависят его эксплуатационные качества. Тем не менее нужно стремиться к уменьшению объема земляных работ, выбирая благоприятные в строительном отношении участки под аэродром. При некоторых условиях (неблагоприятный рельеф, скальные грунты, заболоченность, вечная мерзлота и т. п.) стоимость земляных работ может возрасти в несколько раз. В этих случаях стоимость создания аэропорта в значительной степени зависит от проекта вертикальной планировки аэродрома.

Учитывая вышеизложенное, можно сформулировать основные положения, которыми нужно руководствоваться при создании проектной поверхности аэродромов: безопасность и удобство выполнения взлетно-посадочных операций; обеспечение прочности и устойчивости покрытия; экономичность решения. Пути реализации этих положений в процессе проектирования вертикальной планировки рассматриваются в последующих главах.

§ 2. Основные характеристики рельефа и требования к проектной поверхности летных полос

Основными характеристиками рельефа аэродрома являются: частный уклон поверхности i; излом поверхности Δi; шаг проектирования a; радиус кривизны поверхности R; средний уклон $i_{ср}$; расстояние видимости $l_{вид}$.

Частным называется уклон на участке между двумя соседними изломами профиля. Если имеется профиль участка (рис. 1), то частными будут уклоны i_1, i_2, i_3, i_4, i_5.

Частный уклон количественно оценивается частным от деления разности отметок (превышения) крайних точек рассматриваемого отрезка на его заложение:

$$i_1 = \frac{H_B - H_A}{l_1} = \frac{\Delta H_{BA}}{l_1}. \qquad (1)$$

Как видно из рис. 1, это отношение равно тангенсу угла наклона отрезка AB к горизонту $i = \operatorname{tg}\alpha$.

При малых углах тангенс угла наклона можно считать равным углу наклона, т. е. $\alpha = i$. Таким образом, для определения величины уклона достаточно вычислить отношение (1).

Частные уклоны в направлении оси летной полосы называют *продольными частными уклонами* или просто продольными уклонами, а в направлении, перпендикулярном к оси летной полосы, — *поперечными уклонами*.

Различают восходящие и нисходящие продольные уклоны крайних участков ВПП. Для аэродромов высоких классов длину крайних участков принимают равной $^1/_6$ длины ВПП. Под нисходящим понимают продольный уклон крайнего участка, направленный к торцу ВПП, под восходящим — продольный уклон, имеющий обратное направление. Восходящие и нисходящие продольные уклоны могут иметь концевые полосы безопасности (КПБ). Максимальные значения частных уклонов определяются главным образом условиями взлета, посадки и руления самолетов.

Рассмотрим требования, предъявляемые к продольным уклонам.

При движении по поверхности ВПП на самолет действуют следующие силы (рис. 2): Q — сила лобового сопротивления; Y — подъемная сила; G — сила тяжести; T — сила тяги; F — сила трения. Если продольный уклон ВПП направлен в сторону,

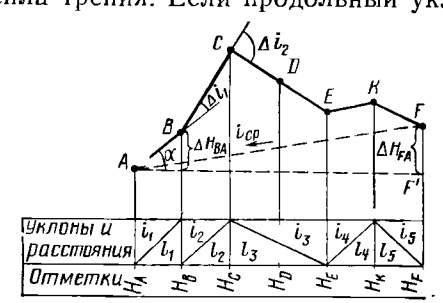


Рис. 1. Уклоны и изломы поверхности аэродрома

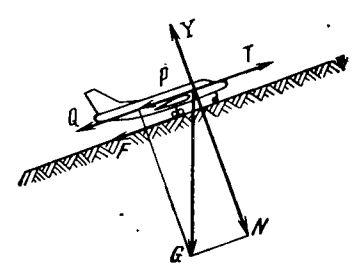


Рис. 2. Силы, действующие на самолет при разбеге против уклона

обратную движению самолета, возникает составляющая силы тяжести P, имеющая направление, противоположное силе тяги. При прочих равных условиях это приводит к уменьшению равнодействующей всех сил и, следовательно, к уменьшению ускорения движения. При этом максимальный продольный уклон определяется из условия обеспечения минимального ускорения самолета при определенном режиме работы двигателей. Режимы их работы при разбеге для взлета и при рулении существенно различаются. Требования к продольным уклонам зависят также от класса эксплуатируемых самолетов. Самолеты с большим взлетным весом чувствительнее к изменению продольных уклонов. Вследствие этого к продольным уклонам ВПП и РД аэродромов различных классов предъявляются разные требования.

На этапах разгона и набора высоты между самолетом и поверхностью летной полосы должно сохраняться расстояние, обеспечивающее безопасность полета. Учитывая возможность взлета самолета с одним отказавшим двигателем, к восходящим продольным уклонам крайних участков ВПП и КПБ предъявляются повышенные требования по сравнению с продольными уклонами средних участков ВПП. Например, для аэродромов класса В максимальный допустимый продольный уклон на среднем участке ИВПП составляет 0,0125, а максимальный допустимый восходящий уклон крайних участков ИВПП и КПБ составляет 0,005.

По условиям местности может оказаться, что оба или один из крайних участков ИВПП имеют нисходящие уклоны. Это усложняет посадку самолета и способствует увеличению нагрузок на его конструкции в момент приземления. Поэтому максимально допустимую величину нисходящего продольного уклона для крайних участков ИВПП принимают меньшей по сравнению с уклоном для ее среднего участка. Минимальная величина продольных уклонов по оси ИВПП нормами не ограничивается.

Рассмотрим вопрос обоснования величины *поперечных уклонов* элементов летных полос. Назначение поперечных уклонов — удаление ливневых и талых вод с поверхности ИВПП. Быстрый отвод поверхностной воды в известной мере предотвращает скопление влаги в неровностях покрытия и ее проникание под покрытие. При малых поперечных уклонах и наличии бокового ветра на покрытии может накапливаться вода, вследствие чего возникнет гидроглиссирование, которое резко снижает коэффициент сцепления колес с покрытием и может служить причиной выкатывания самолета за пределы ИВПП.

Учитывая лучшие условия стока поверхностной воды, уклоны двускатных профилей ИВПП принимают меньшими по сравнению с уклонами односкатных профилей.

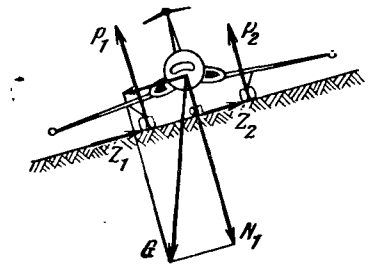


Рис. 3. Силы, действующие на самолет при движении по ЛП, имеющей поперечный уклон

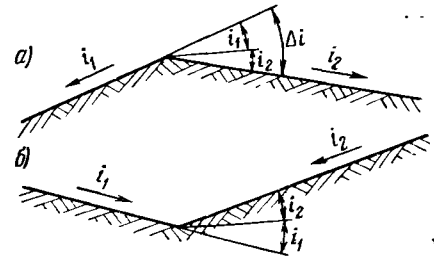


Рис. 4. Изломы поверхности ЛП при уклонах разных направлений:
а — трамплин; *б* — встречный уклон

Условиями стока поверхностной воды определяется и минимальная величина частных уклонов грунтовых летных полос. Сток поверхностной воды с грунтовых летных полос необязательно должен обеспечиваться лишь за счет поперечных уклонов. Здесь важно обеспечить сток поверхностной воды в соответствии с общей принятой схемой водоотвода и дренажа аэродрома. Минимальная величина результирующего уклона в любой точке зависит от климатической зоны и грунтовых условий аэродрома.

При слишком малых уклонах затрудняется сток поверхностной воды, поэтому возможно переувлажнение грунтов и потеря ими несущей способности. В зонах избыточного и переменного увлажнения при наличии глинистых и пылеватых грунтов минимальный уклон грунтовых участков летных полос принимается равным 0,005. При наличии хорошо фильтрующих грунтов и расположении аэродрома в засушливой зоне или зоне недостаточного увлажнения минимальный уклон грунтовых участков может быть принят равным 0,002—0,003. Такой же минимальный уклон может быть принят при расположении участков на водоразделах, если их протяженность не превышает 100—150 м.

Большие поперечные уклоны усложняют выполнение взлетно-посадочных операций и прежде всего приземление самолета одновременно на две опоры, что может вызвать большие перегрузки шасси.

При движении самолета по летной полосе колеса нагружаются неравномерно (больше нагружаются колеса, расположенные ниже), что также создает дополнительные перегрузки (рис. 3). Увеличение сил трения на более нагруженном колесе вызывает появление момента, разворачивающего самолет в сторону уклона. Это требует от летчика активных действий органами управления самолета, чтобы выдержать намеченное направление. При движении самолета по такой летной полосе возникают также поперечные силы реакции колес (z_1 и z_2),

вызывающие дополнительные нагрузки на шасси. Поэтому нормами ограничена величина поперечных уклонов летных полос.

Увеличение уклонов (в любом направлении) может привести к размыву грунтовой поверхности стекающей водой и выходу из строя летной полосы.

Излом поверхности оценивается величиной излома Δi продольного профиля в данной точке. Величина излома определяется суммой уклонов смежных участков, если излом профиля образуется уклонами разных направлений (рис. 4):

$$\Delta i = i_1 + i_2 . \qquad (2)$$

Величина излома определяется разностью уклонов смежных участков, если излом профиля образуется уклонами одного направления (рис. 5):

$$\Delta i = i_1 - i_2 . \qquad (3)$$

Изломы на выпуклых участках профиля (см. рис. 4, *а* и 5, *а*) называют *трамплинами,* на вогнутых (см. рис. 4, *б* и 5, *б*) — *встречными уклонами.*

Такое разделение изломов в известной мере условное (особенно для грунтовых элементов аэродромов) и используется лишь для оценки качества вертикальной планировки. При строительных работах переломы поверхности будут сглажены, благодаря чему она станет более плавной.

При проезде самолетом встречных уклонов и трамплинов возникают дополнительные нагрузки, воспринимаемые амортизационной системой шасси.

Проезд трамплина вначале сопровождается некоторой разгрузкой колес за счет инерционного поднятия центра масс самолета с последующим его опусканием и возрастанием нагрузки.

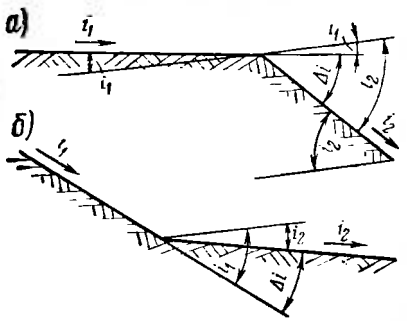


Рис. 5. Изломы поверхности ЛП при уклонах одного направления:
***а* — трамплин; *б* — встречный уклон**

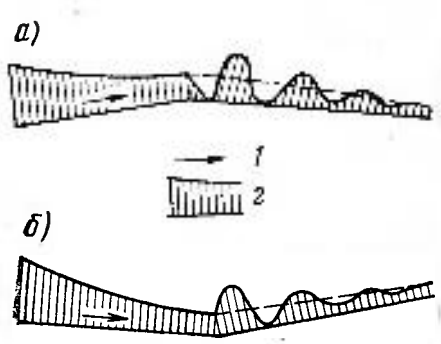


Рис. 6. Графики изменения нагрузки на шасси самолета:
а — при движении через трамплин; *б* — при движении через встречный уклон; *1* — направление разбега; *2* — нагрузка на шасси

Благодаря наличию амортизационной системы эти нагрузки постепенно затухают (рис. 6,*а*). Примерно такая же картина возникает при проезде встречного уклона (рис. 6,*б*).

Величина нагрузок при проезде встречных уклонов и трамплинов зависит главным образом от массы самолета, скорости его движения и величины излома. При частом расположении изломов колебания массы самолета могут накладываться, что еще больше увеличивает нагрузки. Изломы поверхности ИВПП могут вызывать неприятные ощущения у пассажиров. Отсюда следует, что величина изломов должна быть ограничена.

Шаг проектирования a — допустимое минимальное расстояние между соседними изломами профиля. В практике проектирования принято изменять продольные уклоны только в вершинах квадратов нивелировочной сетки. Поэтому шаг проектирования принимается равным размеру стороны квадрата нивелировочной сетки (обычно 40 м). Данная характеристика, как следует из ее названия, относится только к проектной поверхности аэродрома.

Радиус кривизны поверхности R. По условиям безопасности и удобства выполнения взлетно-посадочных операций движение самолета по аэродрому должно протекать без недопустимых перегрузок его конструкции и по возможности плавно. Для обеспечения этого условия на участках, где происходит движение самолетов, проектная поверхность аэродрома также должна быть достаточно плавной.

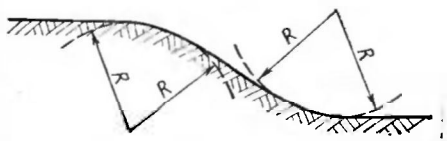


Рис. 7. Радиус кривизны поверхности аэродрома

Этим требованиям могли бы отвечать различные кривые поверхности (эллипсоид, параболоид, различные цилиндрические поверхности и т. д.), плавно переходящие одна в другую. Однако такое представление рельефа создало бы практически непреодолимые трудности при проектировании и строительстве аэродромов. Поэтому в практике проектирования принята поверхность кругового цилиндра. Тогда продольные профили будут представлять собой сопряженные круговые дуги и отрезки прямых (рис. 7).

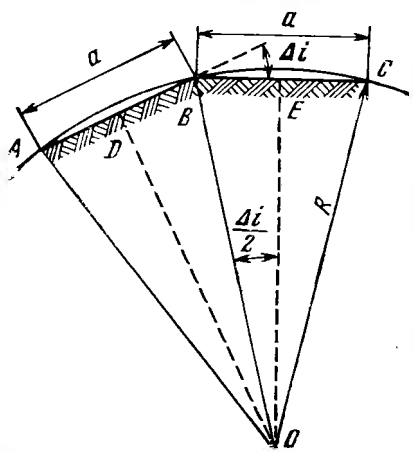


Рис. 8. Зависимость между шагом проектирования, радиусом кривизны и изломом поверхности

Продольный профиль ИВПП должен обеспечивать взаимную видимость двух точек, находящихся на высоте 3 м от поверхности, на расстоянии не менее половины длины ИВПП. Указанное расстояние видимости принято из опыта. Оно позволяет своевременно принять летчику необходимые меры безопасности при выполнении взлетно-посадочных операций и внезапном появлении препятствий на летной полосе.

При оборудовании аэродрома средствами инструментальной посадки к рельефу ИВПП и прилегающей местности предъявляются особые требования. Системы инструментальной посадки подразделяются на категорированные и некатегорированные. Первые из них обеспечивают посадку самолетов по метеоминимумам I, II и III категорий и соответственно включают радиомаячные системы инструментального захода на посадку I категории (РМС-1), II (РМС-2) и III категорий (РМС-3). Наиболее жесткие требования к рельефу ИВПП и прилегающей местности предъявляют при установке курсовых радиомаяков (КРМ). Их размещают на продолжении оси ИВПП с направления, противоположного стороне захода на посадку, на 400—1150 м от торца ИВПП с учетом ее длины, рельефа местности и других местных условий. При выборе места установки КРМ должны соблюдаться нормы ограничения высотных препятствий для данного класса аэродрома. Общий уклон местности перед антенной и уклон ИВПП должны обеспечивать прямую видимость по линии, построенной в соответствии с рис. 9. Для курсовых радиомаяков РМС I и II категорий должна быть обеспечена видимость по линии *Б*, а РМС III категории — по линии *А*. Для некатегорированных РМС должна существовать прямая видимость по линии *В*. В зонах *А* и *Б* для категорированных систем местность должна иметь уклон не более 0,01 в любом направлении. Особые требования к аэродромам предъявляются и при установке глиссадного радиомаяка (ГРМ). Эти и другие требования к рельефу при оборудовании аэродромов системами инструментальной посадки регламентируются «Нормами технологического проектирования объектов управления воздушным движением, радионавигации и посадки» МГА.

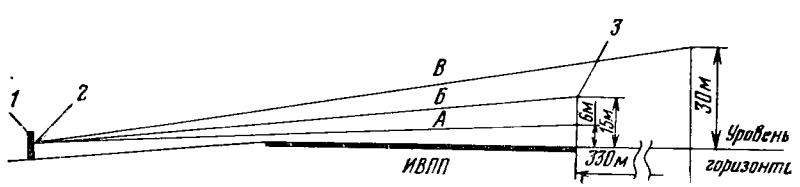


Рис. 9. Линия видимости перед антенной курсового радиомаяка:
1 — антенна КРМ; *2* — электрический центр антенны КРМ; *3* — опорная точка РМС

§ 3. Способы изображения и методы проектирования рельефа

Для разработки проекта вертикальной планировки необходимо прежде всего иметь исходный материал, который бы отображал естественный рельеф участка, инженерно-геологические, гидрогеологические и климатические условия строительства или реконструкции аэродрома. Этот материал должен позволять, во-первых, судить, в какой мере естественная поверхность удовлетворяет нормативным требованиям, и, во-вторых, исправить ее в соответствии с этими требованиями.

Состав и содержание исходных данных и проектных материалов по вертикальной планировке зависят от стадии проектирования аэропорта. Проектирование аэропортов может осуществляться в две стадии (технический проект и рабочие чертежи) и в одну стадию (техно-рабочий проект, совмещающий технический проект и рабочие чертежи).

При разработке проекта в две стадии технический проект должен включать (в части вертикальной планировки аэродрома) инженерное и экономическое обоснование высотного положения и очертания проектной поверхности, данные об объемах земляных работ и схему перемещения грунта.

Это позволяет на стадии технического проекта определить сметную стоимость земляных работ и составить проект организации строительства.

При разработке рабочих чертежей уточняют и детализируют предусмотренные техническим проектом решения в той степени, в которой это необходимо для выноса проекта в натуру и последующего строительства. Таким образом, материалы вертикальной планировки аэродрома должны отражать наглядно, но с различной точностью естественный и проектный рельефы в зависимости от стадии проектирования.

Учитывая указанные требования, рассмотрим способы изображения рельефа и методы проектирования вертикальной планировки.

Для изображения рельефа применяют способы числовых отметок, горизонталей, вертикальных профилей.

При способе *числовых отметок* (или способе отметок) рельеф аэродрома изображается системой отметок. Для этой цели территорию аэродрома разбивают на квадраты. Одно из направлений сетки квадратов обязательно должно быть параллельным направлению оси летной полосы (совпадать с осью ВПП). На участках расположения других элементов аэродрома (РД, перрон, специальные площадки) разбивают самостоятельные сетки квадратов, связанные с общей системой отметок. Числовые отметки проставляют в каждой вершине квадратов нивелировочной сетки (рис. 10). При этом различают:

Кривизну участков такой поверхности в продольном профиле можно характеризовать ее радиусом. Им можно пользоваться для проектирования рельефа и в тех случаях, когда на плане топографической съемки участка отсутствует нивелировочная сетка квадратов и рельеф изображается только горизонталями.

При наличии нивелировочной сетки квадратов и отметок в их вершинах радиус кривизны также можно использовать в качестве характеристики кривизны поверхности. В этом случае для упрощения и повышения четкости проектирования и строительства кривизну принято характеризовать величиной радиуса круговой дуги, проходящей через вершины квадратов нивелировочной сетки.

Можно установить связь между тремя характеристиками: радиусом кривизны R, шагом проектирования a и изломом поверхности Δi.

Пусть имеем продольный профиль участка аэродрома (рис. 8), где точки A, B и C являются вершинами квадратов нивелировочной сетки. Тогда $AB=BC=a$. Проведем через точки A, B и C окружность радиусом R с центром в точке O. Равнобедренные треугольники AOB и BOC равны. Опустим из точки O перпендикуляры OD и OE. Если излом профиля в точке B равен

$$\Delta i, \text{ то } \angle DOE = \Delta i \text{ и } \angle DOB = BOE = \frac{\Delta i}{2}.$$

Из треугольника BOE следует, что

$$\sin\frac{\Delta i}{2} \approx \operatorname{tg}\frac{\Delta i}{2} = \frac{a/2}{R},$$

откуда при малых углах

$$\Delta i = \frac{a}{R}. \qquad (4)$$

Если в соотношение (4) подставить установленное нормами минимальное значение вертикального радиуса кривизны, получим максимально допустимое значение излома профиля при заданном постоянном шаге проектирования:

$$\Delta i_{max} = \frac{a}{R_{min}}. \qquad (5)$$

Однозначная связь между этими величинами позволяет нормировать лишь одну из них. В нормах на проектирование рельефа обычно указывается минимальный вертикальный радиус кривизны, так как эта характеристика является более универсальной.

Исходя из режимов движения и типов эксплуатируемых самолетов требования к кривизне поверхности элементов аэродромов различных классов различны. Кроме того, эти требования различаются и у различных элементов аэродромов одного класса. Для аэродромов классов Б и В минимальное значение радиуса кривизны поверхности ИВПП составляет 20 000 м, а КПБ — 6000 м. Тогда максимально допустимые изломы поверхности будут равны: для ИВПП $\Delta i_{max} = \frac{40}{2\cdot10^4} = 0{,}002$; для КПБ $\Delta i_{max} = \frac{40}{6\cdot10^3} = 0{,}007$.

Для аэродромов классов Г и Д требования к кривизне поверхности характеризуются следующими показателями: для ИВПП $R_{min}=10\,000$ м, $\Delta i_{max}=0{,}004$; для КПБ $R_{min}=4000$ м, $\Delta i_{max}=0{,}010$.

Средний уклон $i_{ср}$ — уклон условной линии, соединяющей конечные точки участка (на рис. 1 линия AF), — определяется как частное от деления разности отметок (превышения) конца и начала участка на его протяженность (горизонтальное проложение). Для линии AF (см. рис. 1) средний уклон

$$i_{ср} = \frac{H_F - H_A}{AF'} = \frac{\Delta H_{FA}}{AF'}.$$

Чаще всего понятие среднего уклона относят к длине ИВПП. При этом средний уклон характеризует уклон условной линии, соединяющей концы ИВПП.

Величина среднего уклона нормами не регламентируется, однако эту характеристику следует учитывать при проектировании вертикальной планировки. Величина среднего уклона влияет на длину пробега и разбега самолета. При разбеге самолета против уклона длина разбега увеличивается, при пробеге по уклону увеличивается длина пробега. С увеличением среднего продольного уклона может возникнуть необходимость существенного удлинения летной полосы.

Опытом установлено, что с увеличением среднего уклона на каждую 0,001 потребная длина ИВПП увеличивается на 0,9% для самолетов I группы и на 0,8% для самолетов II группы. Поэтому если летная полоса используется для взлетов и посадок в обоих направлениях, следует стремиться к тому, чтобы средний уклон был наименьшим. Если эксплуатация аэродрома организована так, что взлет происходит всегда в одном направлении, а посадка в противоположном, наличие среднего уклона способствует уменьшению длины летной полосы.

К числу характеристик, обеспечивающих безопасность выполнения взлетно-посадочных операций, можно отнести также *видимость* на взлетно-посадочной полосе.

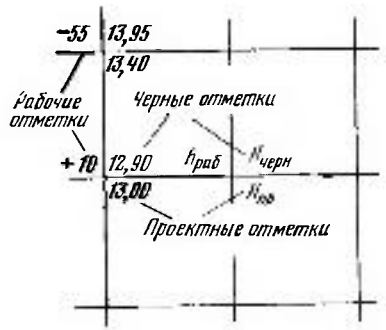


Рис. 10. Изображение рельефа числовыми отметками

Рис. 11. Изображение рельефа с помощью вертикального профиля

черные отметки, относящиеся к естественной поверхности;

красные или проектные отметки, относящиеся к проектной поверхности;

рабочие отметки, определяющиеся как разность между проектной и черной отметками в данной точке. Рабочая отметка определяет глубину выемки или высоту насыпи в данной точке и указывается обычно в сантиметрах. Рабочая отметка со знаком «—» означает выемку, со знаком «+» — насыпь.

При вертикальной планировке аэродромов бывает целесообразным пользоваться не абсолютными, а относительными черными и проектными отметками. Для определения относительных отметок все абсолютные отметки уменьшают или увеличивают на удобную величину. Система записей отметок, изображенная на рис. 10, не обязательна. Встречаются и другие системы записей, для расшифровки которых на проектных материалах помещают условные обозначения.

При способе *горизонталей* проектная поверхность изображается системой горизонталей. Здесь также различают черные и проектные горизонтали, которые относятся соответственно к естественной и проектной поверхностям.

На планах проектные горизонтали вычерчивают красным цветом, а черные — черным или коричневым цветом. Обычно графические материалы проекта вертикальной планировки размножают на светокопировальной бумаге. В этом случае проектные горизонтали для наглядности изображают более утолщенными линиями. Направление уклонов отмечают бергштрихами, которые наносят на резких изгибах горизонталей. Отметки подписывают в разрывах горизонталей. В наиболее характерных точках рельефа указывают их отметки.

Способ *вертикальных* профилей заключается в изображении естественной или проектной поверхностей с помощью системы вертикальных профилей. Вертикальные профили вычерчивают по нескольким направлениям (обычно взаимно-перпендикулярным продольным и поперечным направлениям). Вертикальные профили дополняют черными, проектными и рабочими отметками (рис. 11).

В соответствии с указанными способами изображения рельефа разработаны и методы вертикальной планировки аэродромов, которые получили наименования методов отметок, горизонталей и вертикальных профилей.

Метод отметок позволяет определить проектные и рабочие отметки в вершинах квадратов нивелировочной сетки, *метод горизонталей* — нанести проектные горизонтали, а *метод вертикальных профилей* — определить проектные и рабочие отметки по заданному направлению.

В результате использования того или иного метода определяются очертание и высотное положение проектной поверхности, вид и объемы земляных работ. Каждый из указанных методов имеет свои достоинства и недостатки. Метод отметок позволяет отражать на плане сравнительно небольшие изменения в очертании поверхности аэродрома, неулавливаемые горизонталями. Поэтому такой метод проектирования вертикальной планировки незаменим при слабо выраженном рельефе аэродрома.

Метод проектирования по отметкам также позволяет непосредственно получить проектные и рабочие отметки в вершинах квадратов нивелировочной сетки, которые в дальнейшем выносят в натуру в процессе разбивки земляных работ.

Главный недостаток метода отметок — отсутствие наглядности в изображении рельефа. Чтобы представить себе в этом случае рельеф даже небольшого участка, необходимо сопоставить и проанализировать целый ряд чисел. Отсутствие наглядности в изображении рельефа в значительной степени затрудняет и процесс его проектирования, что особенно ощутимо при проектировании рельефа больших площадей. Кроме того, метод отметок весьма трудоемок, так как связан с необходимостью увязать большое число отметок в различных направлениях, что требует наличия у инженера-проектировщика практических навыков. Вследствие этих недостатков метод отметок получил ограниченное применение при вертикальной планировке аэродромов.

Главным достоинством метода горизонталей является его наглядность. Горизонтали дают возможность сравнительно быстро, полно и правильно представить рельеф участка. Это преимущество является чрезвычайно существенным при проектировании рельефа аэродромов, занимающих большие площади. Наглядность в изображении рельефа облегчает процесс его проектирования, делает его менее трудоемким и более простым.

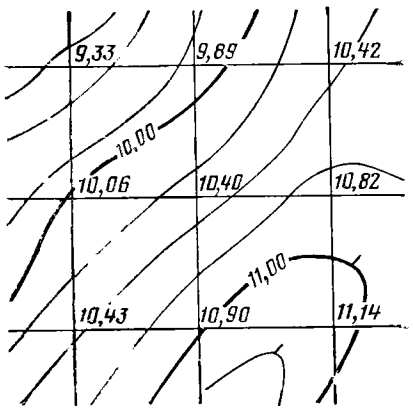


Рис 12 Изображение рельефа числовыми отметками и горизонталями

Вместе с тем изображение проектного рельефа только горизонталями не дает необходимого материала для выноса проекта в натуру (для разбивки земляных работ), поэтому способ изображения рельефа только горизонталями широко используется лишь на стадии разработки технического проекта аэродрома.

Метод вертикальных профилей применяется в качестве основного при проектировании линейных сооружений (автомобильных и железных дорог, каналов, дамб, трубопроводов). При проектировании аэродромов вертикальные профили используются лишь как вспомогательное средство, когда требуется представить и проанализировать рельеф в каком-либо наиболее ответственном направлении (например, по оси ВПП).

Недостатки и достоинства рассмотренных методов не позволяют использовать в практике проектирования аэродромов на стадии рабочих чертежей какой-либо один из них. Обычно поверхность аэродрома изображают одновременно и в отметках, и в горизонталях (рис. 12). Для более наглядного представления о рельефе аэродрома дополнительно строят в определенных направлениях вертикальные профили.

Наиболее успешное решение задач проектирования вертикальной планировки достигается сочетанием всех трех методов.

§ 4. Задачи и последовательность проектирования вертикальной планировки

С точки зрения рассмотренных выше требований к вертикальной планировке аэродромов различают два вида участков местности, требующих исправления: участки с недопустимыми уклонами, т. е. $i_{черн} > i_{max}$ и $i_{черн} < i_{min}$, участки с недопустимой кривизной, т. е. $R < R_{min}$ или $\Delta i > \Delta i_{max}$. Такие участки называют дефектными.

Процесс исправления участков с недопустимыми уклонами называют *дефектовкой по уклонам*, а участков с недопустимой кривизной — *дефектовкой по кривизне*. Рельеф участков можно исправить тремя способами (рис. 13): только насыпью, только выемкой, выемкой и насыпью.

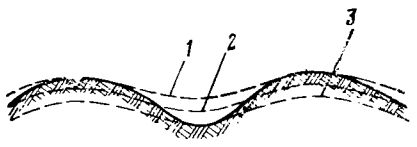


Рис. 13. Три способа исправления рельефа:
1 — в насыпи; *2* — в насыпи-выемке; *3* — в выемке

При первом способе требуется подвести грунт со стороны (например, с других участков, где исправление рельефа производится выемкой, или из пределов летной полосы). При втором способе, наоборот, требуется переместить грунт за пределы дефектного участка (например, на другие участки, где исправление рельефа производится насыпью, или за пределы летной полосы). При третьем способе перемещение грунта производится частично или полностью в пределах данного дефектного участка.

Если грунт перемещают только в пределах данного дефектного участка, т. е. объем насыпи будет равен объему выемки, способ исправления рельефа называют ***частным балансом.***

Переход от одного способа исправления рельефа к другому может быть осуществлен путем перемещения проектной поверхности в вертикальной плоскости, т. е. изменением ее высотного положения. Из этого следует, что перемещение проектной поверхности вверх увеличивает объем земляных работ в насыпи, а ее понижение увеличивает объем земляных работ в выемке (см. рис. 13).

Таким образом, проектирование рельефа сводится к решению двух основных задач. Первая задача состоит в определении очертания проектной поверхности, удовлетворяющей нормативным требованиям. При этом стремятся к тому, чтобы она по возможности повторяла очертание естественной поверхности (см. рис. 13). Соблюдение данного условия способствует уменьшению общего объема земляных работ. Вторая задача заключается в определении высотного положения проектной поверхности. Это положение определяется видом грунтов летного поля, уровнем грунтовых вод, наличием вечной мерзлоты и др. От выбора высотного положения проектной поверхности в значительной степени зависит объем земляных работ.

Если решен вопрос о размещении летной полосы и других элементов аэродрома на местности, а их контуры нанесены на план топографической съемки, тогда независимо от способа изображения и метода проектирования рельефа проект вертикальной планировки аэродрома разрабатывается в такой последовательности:

1. По материалам топографической съемки изучают естественный рельеф участка. На этом этапе должно быть получено достаточно ясное представление об общем характере естественного рельефа. Одновременно изучают и другие исходные данные, которые могут повлиять на вертикальную планировку. Одновременно выявляют участки с неблагоприятными грунто-

выми и гидрогеологическими условиями (заболоченные или заторфованные, с высоким уровнем грунтовых вод и т. д.).

2. Выявляют участки, рельеф которых не удовлетворяет нормативным требованиям и, следовательно, нуждается в исправлении.

3. Формируют общий замысел создания проектной поверхности. На этом этапе принимают принципиальные решения не только по исправлению рельефа на каждом дефектном участке, но и на всем аэродроме в целом. Одновременно намечают принципиальную схему водоотвода и дренажа.

4. Производят построение проектной поверхности. Этот этап наиболее ответственный и трудоемкий. При построении проектной поверхности должны быть учтены не только нормативные требования эксплуатационного характера, но и требования экономики строительства. Проектирование вертикальной планировки целесообразно начинать с построения проектной поверхности искусственных покрытий. В результате выполнения этого этапа должны быть нанесены проектные горизонтали и вычислены проектные и рабочие отметки.

5. Определяют объемы земляных работ, разрабатывают картограмму земляных работ и схему перемещения грунта.

§ 5. Исходные данные для проектирования вертикальной планировки

Для разработки технически обоснованного и экономически оправданного проекта вертикальной планировки аэродрома требуется значительное число исходных данных. К их числу относятся следующие:

1. Нормативные требования к проектной поверхности, определяемые классом аэродрома (требования к видимости, уклонам и кривизне поверхности ВПП, РД, МС, перрона и грунтовых участков).

2. Топографо-геодезические данные характеризующие ситуацию и естественный рельеф участка. Масштабы планов топографической съемки зависят от стадии проектирования. При двухстадийном проектировании основой для разработки проекта вертикальной планировки аэродрома на стадии технического проекта служит план топографической съемки в масштабе 1:5000 с изображением рельефа горизонталями сечением 0,5 м, на стадии рабочих чертежей — план топографической съемки в масштабе 1:2000 с изображением рельефа местности отметками в вершинах квадратов нивелировочной сетки (размер квадрата обычно 40×40 м) и горизонталями сечением 0.25 м.

Планы топографической съемки должны захватывать и местность, непосредственно прилегающую к аэродрому. Это необходимо для определения местоположения возможных резервов грунта и кавальеров, решения вопроса об отводе поверхностной воды за пределы аэродрома, осуществления сопряжений поверхности аэродрома с прилегающей местностью. Для этого используют также топографические карты крупных масштабов (1:25 000—1:100 000). На плане топографической съемки должны быть нанесены контуры элементов аэродрома.

3. Инженерно-геологические и гидрогеологические данные: условия залегания и распространения основных видов грунтов и их строительные свойства, мощность почвенно-растительного слоя и его агротехнические свойства; наличие, характер и распространение в плане физико-геологических явлений и процессов (карста, просадочности, вечной мерзлоты, заболоченности и др.); условия залегания, уровень и режим грунтовых вод, их химический состав, наличие и продолжительность верховодки; возможность затопляемости и подтопляемости участка.

4. Климатические данные, из которых наиболее важными для разработки проекта вертикальной планировки являются: характеристика климата района расположения аэродрома и соответствие его той или иной дорожно-климатической зоне: данные о количестве атмосферных осадков и их распространении в течение года; данные о глубине промерзания и оттаивания грунтов.

Для выполнения проекта вертикальной планировки необходимы также некоторые характеристики принятых по проекту (или ориентировочно предполагаемых) аэродромных покрытий (тип и толщина покрытия и искусственного основания). Эти данные нужны для определения проектных и рабочих отметок дна корыта.

Наличие перечисленных данных позволяет принять всестороннее обоснованное решение об очертании и высотном положении проектной поверхности, определить объемы работ с минеральным и растительным грунтом, разработать схему перемещения грунта и рабочие чертежи для выноса проекта в натуру.

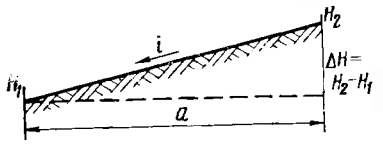
Глава II. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛАНИРОВКИ ГРУНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ АЭРОДРОМОВ МЕТОДОМ ЧИСЛОВЫХ ОТМЕТОК

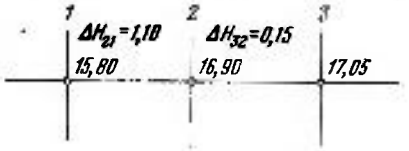
§ 6. Выявление и исправление участков с недопустимыми уклонами на плане в отметках

Имея план участка с изображением естественного рельефа системой числовых отметок, нетрудно определить уклон по каждой стороне сетки квадратов. Если одна из сторон квадра-

Рис. 14. Схема к дефектовке участков по уклонам на плане в отметках

Рис. 15. Дефектовка рельефа по уклонам на плане в отметках





та (рис. 14) имеет отметки H_1 и H_2 (где $H_2 > H_1$) уклон по стороне квадрата

$$i = \frac{H_2 - H_1}{a} = \frac{\Delta H}{a}.$$

Чтобы уклон был в пределах нормативных требований, необходимо выполнить неравенство

$$i_{max} \geqslant i \geqslant i_{min}. \qquad (6)$$

Неравенство (6) можно использовать для дефектовки рельефа по уклонам, вычисляя уклон по стороне квадрата и сравнивая полученный результат с нормативными значениями уклонов. Однако такой путь очень трудоемкий, поэтому в практике используют другой прием.

Запишем неравенство (6) в следующем виде:

$$\frac{\Delta H_{max}}{a} \geqslant \frac{\Delta H}{a} \geqslant \frac{\Delta H_{min}}{a}.$$

Полагая длину стороны квадрата a постоянной, получим:

$$\Delta H_{max} \geqslant \Delta H \geqslant \Delta H_{min}. \qquad (7)$$

Неравенство (7) определяет допустимую разность отметок соседних вершин квадратов. Если неравенство (7) нарушается, участок будет дефектным по уклону. Переход от уклонов к превышениям значительно облегчает выявление дефектных участков и проектирование рельефа по отметкам.

Дефектовка по уклонам сводится к сравнению превышения соседних вершин квадратов ΔH с допустимыми превышениями, которые должны быть подсчитаны заранее исходя из нормативных требований к уклонам:

$$\Delta H_{max} = ai_{max}; \quad \Delta H_{min} = ai_{min}.$$

Пример. Произвести дефектовку по уклонам (рис. 15), имея $i_{max} = 0{,}025$; $i_{min} = 0{,}005$:

$$\Delta H_{max} = ai_{max} = 40 \cdot 0{,}025 = 1{,}0 \text{ м};$$

$$\Delta H_{min} = ai_{min} = 40 \cdot 0{,}005 = 0{,}2 \text{ м}.$$

Определим превышения соседних вершин квадратов:

$$\Delta H_{21} = 16{,}90 - 15{,}80 = 1{,}10 \text{ м} > \Delta H_{max} = 1{,}00 \text{ м};$$

$$\Delta H_{32} = 17.05 - 16{,}90 = 0{,}15 \text{ м} < \Delta H_{min} = 0{,}20 \text{ м}.$$

Следовательно, на участке *1—2* недопустимо большой уклон, а на участке *2—3* слишком малый.

Исправление рельефа на участках, дефектных по уклону, сводится к определению проектных отметок, разность которых удовлетворяет неравенству (7). Рассмотрим случай, когда $\Delta H > \Delta H_{max}$.

Решение в насыпи (рис. 16,*а*). В этом случае черная отметка H_1 должна быть увеличена на величину $h_н$ (рабочая отметка). Проектная отметка в вершине A $H_{пр} = H_1 + h_н$.

Отметку вершины B оставим без изменения. После такого исправления рельефа разность отметок по стороне квадрата должна быть равной ΔH_{max}, а уклон проектной поверхности в данном сечении i_{max}. Напишем это условие и определим из него величину $h_н$:

$$H_2 - (H_1 + h_н) = \Delta H_{max},$$

откуда

$$h_н = (H_2 - H_1) - \Delta H_{max} = \Delta H - \Delta H_{max}.$$

Величины ΔH и ΔH_{max} при конкретных исходных данных легко определяются.

Решение в выемке (рис. 16,*б*). Для решения, при котором земляные работы будут выполняться только в выемке, проектную поверхность достаточно опустить на величину $h_в$. После

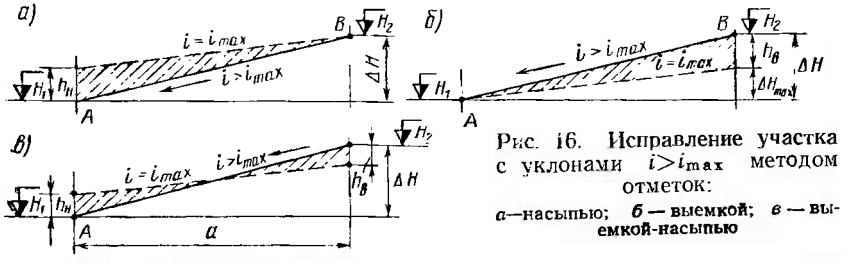


Рис. 16. Исправление участка с уклонами $i > i_{max}$ методом отметок:

а—насыпью; *б* — выемкой; *в* — выемкой-насыпью

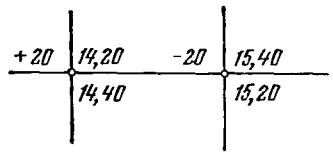


Рис. 17. Исправление участка с уклоном $i>i_{max}$ на плане в отметках

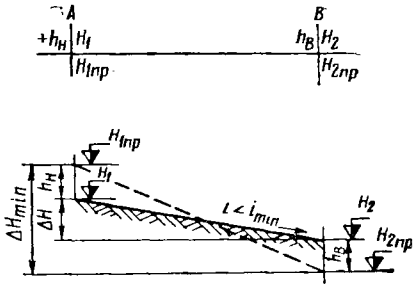


Рис. 18. Исправление участка с уклоном $i<i_{min}$ методом отметок

этого проектная отметка вершины A станет равной черной отметке H_1, отметка вершины B уменьшится на величину $h_в$. Нетрудно показать, что искомую величину $h_в$ можно вычислить с помощью зависимости

$$h_в = (H_2 - H_1) - \Delta H_{max} = \Delta H - \Delta H_{max}. \quad (8)$$

Решение в выемке—насыпи (рис. 16, *в*). В этом случае проектная поверхность должна занять в высотном отношении некоторое промежуточное положение. Искомые величины $h_н$ и $h_в$ определяются из того же условия

$$(H_2 - h_в) - (H_1 + h_н) = \Delta H_{max},$$

откуда $h_в + h_н = \Delta H - \Delta H_{max}$, т. е. вносимые поправки в сумме должны составить такую же величину, как и поправки к черным отметкам для двух рассмотренных случаев.

Разным значениям $h_в$ и $h_н$ при их неизменной сумме будут соответствовать различные соотношения объемов земляных работ в насыпи и выемке. Для получения частного баланса следует принять $h_в = h_н$.

Пример. Черные отметки в соседних вершинах квадратов $H_1 = 14{,}20$; $H_2 = 15{,}40$ (рис. 17), допустимый максимальный уклон $i_{max} = 0{,}02$, допустимая максимальная разность отметок $\Delta H_{max} = 40 \cdot 0{,}02 = 0{,}80$ м.

Разность черных отметок $\Delta H = 15{,}40 - 14{,}20 = 1{,}20$ м. Имеет место неравенство $\Delta H > \Delta H_{max}$, т. е. уклон по стороне квадрата $i > i_{max}$.

Решение. Для получения частного баланса следует принять

$$h_в = h_н = \frac{1{,}20 - 0{,}80}{2} = 0{,}20 \text{ м}.$$

Проектные отметки соответственно $14{,}20 + 0.20 = 14{,}40$ м и $15{,}40 - 0{,}20 = 15{,}20$ м.

Когда участок имеет уклон меньше минимально допускаемого, т. е. $\Delta H < \Delta H_{min}$, подход к решению задачи аналогичен.

Разница состоит только в том, что после исправления рельефа разность отметок должна быть увеличена и стать равной ΔH_{min}.

Рассмотрим случай исправления рельефа на дефектном участке частично в выемке-насыпи (рис. 18):

$$h_в + h_н = \Delta H_{min} - (H_1 - H_2) = \Delta H_{min} - \Delta H.$$

Задаваясь значениями $h_в$ и $h_н$, вычислим проектные отметки вершин квадрата: вершина $A: H_{1пр} + h_в$; вершина $B: H_{2пр} = H_2 - h_н$.

Перемещая параллельно самой себе проектную поверхность в вертикальной плоскости, можно получить решение, при котором земляные работы будут выполняться только в насыпи или только в выемке.

§ 7. Выявление и исправление участков с недопустимой кривизной на плане в отметках

Ранее было установлено, что кривизна поверхности может быть оценена величиной излома Δi продольного профиля в данной точке: $\Delta i = i_1 \pm i_2$, где знак «+» относится к случаю, когда уклоны имеют различные направления, а знак «—» — одинаковые направления. Имея числовые отметки, легко определить уклоны по соседним сторонам квадратов нивелировочной сетки (рис. 19) и величину излома продольного профиля.

Из рис. 19 следует:

$$i_{12} = \frac{\Delta H_1}{a}; \quad i_{23} = \frac{\Delta H_2}{a}.$$

Отсюда величина излома:

$$\Delta i = i_1 \pm i_2 = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2}{a} = \frac{\Delta_2 H}{a};$$

$$\Delta_2 H = \Delta H_1 \pm \Delta H_2. \quad (9)$$

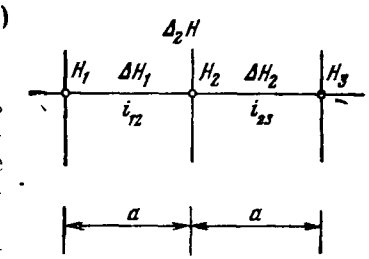


Рис. 19. Схема к выявлению участков с недопустимой кривизной на плане в отметках

Символ $\Delta_2 H$ означает разность (сумму) превышений по двум соседним сторонам квадратов в отличие от величины ΔH, означающей разность отметок.

При определении величины излома для случая уклонов одного направления условимся вычитать всегда из большего превышения мень-

шее. Тогда разность превышений $\Delta_2 H$ будет всегда положительной величиной и условие отсутствия дефекта естественного рельефа по кривизне можно записать в следующем виде:

$$\Delta i = \frac{\Delta_2 H}{a} \leqslant \Delta i_{\max}. \qquad (10)$$

Неравенство (10) можно использовать для дефектовки рельефа по кривизне. Для этого каждый раз необходимо определять частное от деления разности превышений трех соседних вершин на длину стороны квадрата и сравнивать его с максимально допустимой величиной излома поверхности. Такой путь дефектовки по кривизне и последующего исправления рельефа весьма трудоемок.

Зависимость (5) позволяет вычислить величину $\Delta i_{\max} = \frac{a}{R_{\min}}$.

Подставив это выражение в правую часть неравенства (10), получим

$$\frac{\Delta_2 H}{a} \leqslant \frac{a}{R_{\min}},$$

$$\text{или } \Delta_2 H \leqslant \frac{a^2}{R_{\min}} = \Delta_2 H_{\max}. \qquad (11)$$

Неравенство (11) определяет допустимую разность превышений трех соседних вершин квадратов, расположенных в плане на одной прямой. Правая часть неравенства может быть вычислена сразу, исходя из требований к кривизне поверхности аэродрома.

Вычисление левой части неравенства сводится к выполнению простых арифметических действий — вычитания и сложения. Это значительно облегчает выявление дефектных участков и проектирование вертикальной планировки по отметкам.

Пример. Произвести дефектовку естественного рельефа, по кривизне (рис. 20). Дано: $R_{\min}=10^4$ м; $a=40$ м; $\Delta_2 H_{\max}=\frac{a^2}{R_{\min}}=\frac{40^2}{10^4}=0{,}16$ м.

Решение. Сравнивая полученные разности превышений с максимально допустимой, можно сделать следующие выводы: кривизна в вершине B недопустима, так как $\Delta_2 H=0{,}40$ м $>0{,}16$ м; кривизна в вершине C допустима, так как $\Delta_2 H=0{,}05$ м $<0{,}16$ м.

Следующий этап проектирования рельефа — исправление участков, дефектных по кривизне. Исправление дефектного по кривизне участка сводится к назначению таких проектных и рабочих отметок в вершинах квадратов, при которых

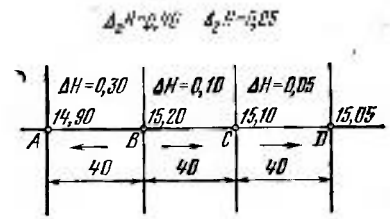


Рис. 20. Дефектовка участка с недопустимой кривизной на плане в отметках

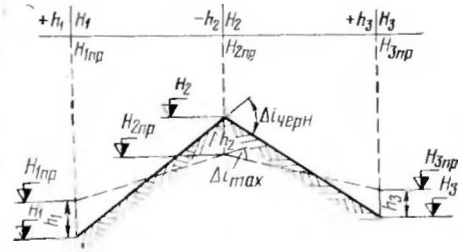


Рис. 21. Исправление участка с недопустимой кривизной поверхности методом отметок

будет допустимой разность превышений трех соседних вершин, расположенных в плане на одной прямой.

Рассмотрим участок местности с недопустимой кривизной поверхности (рис. 21). В данном случае для естественной поверхности имеет место неравенство $\Delta i_{\text{черн}} > \Delta i_{\max}$.

Исходя из поставленной задачи, разность превышений вершин квадратов должна быть уменьшена на Δy, чтобы получить равенство $\Delta_2 H_{\max} = \Delta_2 H_{\text{черн}} - \Delta y$.

Для этого требуется найти проектные отметки $H_{1\text{пр}}$, $H_{2\text{пр}}$ и $H_{3\text{пр}}$, отличающиеся от черных отметок соответственно на величины h_1, h_2 и h_3.

Определим величину поправки Δy:

$$\Delta_2 H_{\max} = (H_{2\text{пр}} - H_{1\text{пр}}) + (H_{2\text{пр}} - H_{3\text{пр}}) = [(H_2 - h_2) - (H_1 + h_1)] + [(H_2 - h_2) - (H_3 + h_3)] = [(H_2 - H_1) + (H_2 - H_3)] - (h_1 + 2h_2 + h_3) = \Delta_2 H_{\text{черн}} - \Delta y.$$

Искомая поправка $\Delta y = h_1 + 2h_2 + h_3 = \Delta_2 H_{\text{черн}} - \Delta_2 H_{\max}$.

Напомним, что разность превышений $\Delta_2 H_{\text{черн}}$ определяется из соотношения (9), а разность превышений $\Delta_2 H_{\max}$ — из соотношения (11). Придавая рабочим отметкам h_1, h_2 и h_3 различные значения, будем получать множество решений проектного рельефа.

Рассмотрим некоторые частные решения. Если все три рабочие отметки принять равными по абсолютной величине, т. е. $h_1=h_2=h_3$, то будет получено решение, близкое к частному балансу. Это решение наиболее распространено в практике.

Дефектный участок будет только в выемке, если принять $h_1=h_3=0$ (см. рис. 21). В этом случае рабочая отметка $h_2=\frac{\Delta y}{2}$.

Дефектный участок будет только в насыпи, если принять $h_2=0$.

Тогда $\Delta y = h_1 + h_3$. (12)

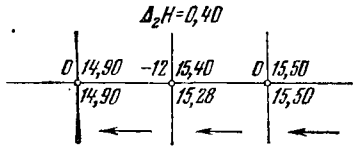


Рис. 22. Исправление участка с недопустимой кривизной поверхности на плане в отметках

В отличие от двух предыдущих частных случаев условию (12) удовлетворяет множество решений. Действительно, величинам h_1 и h_3 можно придавать бесконечное множество значений, при которых сумма будет оставаться постоянной. Для выбора однозначного решения необходимо учитывать местные условия, в частности рабочие отметки h_1 и h_3 увязывать с прилегающим рельефом и учитывать получающиеся по сторонам квадратов проектные уклоны.

Пример. Исправить выемкой рельеф участка, дефектного по кривизне (рис. 22) при $R_{min}=10\,000$ м.

Решение.

$$\Delta_2 H_{max} = \frac{a^2}{R_{min}} = \frac{40^2}{10^4} = 0{,}16 \text{ м};$$

$$\Delta_2 H_{черн} = (15{,}40 - 14{,}90) - (15{,}50 - 15{,}40) = 0{,}40 \text{ м};$$

$$\Delta y = \Delta_2 H_{черн} - \Delta_2 H_{max} = 0{,}40 - 0{,}16 = 0{,}24 \text{ м};$$

$$\Delta y = h_1 + 2h_2 + h_3 = 0 + 2h_2 + 0 = 0{,}24 \text{ м};$$

$$h_2 = 0{,}12 \text{ м}.$$

Проектные отметки в вершинах квадратов

$$H_1 = 14{,}90;\ H_2 = 15{,}40 - 0{,}12 = 15{,}28;\ H_3 = 15{,}50.$$

Изложенные приемы исправления кривизны поверхности применимы как для выпуклых, так и для вогнутых участков земной поверхности.

§ 8. Последовательность проектирования рельефа методом отметок

Общая последовательность вертикальной планировки независимо от метода проектирования, изложенная в § 4, полностью сохраняется и для проектирования рельефа методом отметок. Отметим лишь некоторые особенности и практические приемы осуществления этапов дефектовки рельефа и его исправления этим методом. Можно рекомендовать такую последовательность действий.

1. По заданным нормативным характеристикам рельефа (i_{max}, i_{min}, R_{min}) определяют: допустимое максимальное превышение соседних вершин квадрата $\Delta H_{max}=ai_{max}$; допустимое минимальное превышение соседних вершин квадрата $\Delta H_{min}=ai_{min}$; допустимую минимальную разность (сумму) превышений по двум соседним сторонам квадратов $\Delta_2 H_{max}=\frac{a^2}{R_{min}}$.

2. На плане съемки в отметках определяют направления сетки квадратов, по которым естественный рельеф требует наибольшего исправления.

Эти направления можно определить путем сопоставления черных отметок в различных направлениях или по очертанию черных горизонталей (если они имеются).

По этим направлениям (рис. 23, направления *I—I*, *II—II*) подсчитывают превышения $\Delta H_{черн}$ и их разности (суммы) $\Delta_2 H_{черн}$. Величины $\Delta H_{черн}$ подписывают на каждой стороне квадрата в рассматриваемом направлении, одновременно указывая стрелками направления уклонов. Величины $\Delta_2 H_{черн}$ надписывают над соответствующими вершинами.

3. Полученные величины, относящиеся к черному рельефу, сравнивают с соответствующими допустимыми значениями. Таким образом выявляют дефектные участки. Если участок окажется дефектным по кривизне и уклонам, сначала производят исправление по кривизне. Обычно после этого оказываются исправленными и уклоны. При необходимости уклоны исправляют дополнительно.

4. В такой же последовательности производится дефектовка и исправление рельефа по кривизне и уклонам в направлениях, перпендикулярных к первоначально принятым (рис. 23, направление *III—III*).

Здесь возникает необходимость увязать отметки во взаимно перпендикулярных направлениях, а иногда исправить уже ранее вычисленные проектные и рабочие отметки. Следует иметь в виду, что нормативные значения i_{max} и R_{min} в различных направлениях и на различных участках летней полосы могут быть различными.

5. Проектирование завершается нанесением проектных горизонталей. В данном случае они являются вспомогательным средством изображения рельефа, позволяющим наглядно представить полученное решение на всем участке в целом.

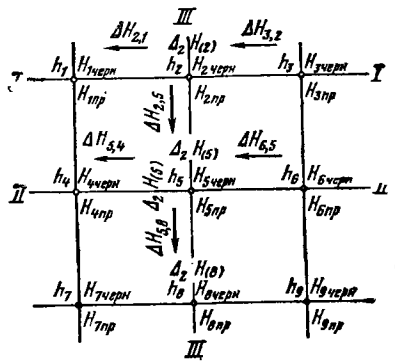


Рис. 23. Последовательность проектирования рельефа методом отметок

Глава III. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛАНИРОВКИ ГРУНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ АЭРОДРОМОВ МЕТОДОМ ГОРИЗОНТАЛЕЙ

§ 9. Особенности проектирования вертикальной планировки методом горизонталей

Несмотря на весьма сложные закономерности естественного рельефа, можно выделить шесть его элементарных форм: склон, водораздел, тальвег, всхолмление, блюдце, седловина. Такое выделение является в известной мере условным. Например, последние пять из названных форм включают в себя склоны. Всхолмление представляет собой совокупность двух водоразделов и одного тальвега, а блюдце — двух тальвегов. Седловина образуется из двух тальвегов и двух водоразделов. Тем не менее самостоятельное рассмотрение каждой из указанных форм очень удобно для изучения методов проектирования рельефа.

Под аэродромы, обычно, выбирают участки с относительно спокойным рельефом, где нет высоких холмов, глубоких котловин, террас, обрывистых склонов и т. п. Элементарные формы рельефа, слагающие естественную поверхность участков, более сглажены, более или менее плавно переходят одна в другую.

Горизонтали позволяют установить количественные характеристики аэродрома (уклоны и кривизну). Рассмотрим склон и его продольный профиль по направлению *I—I* (рис. 24).

Расстояние $h_{гор}$ между горизонтальными секущими плоскостями, называемое сечением горизонталей, для данного топографического плана является величиной постоянной.

Расстояние между соседними горизонталями в плане d_1, d_2, d_3 называются *заложением*. Заложение для данного топографического плана может принимать самые различные значения.

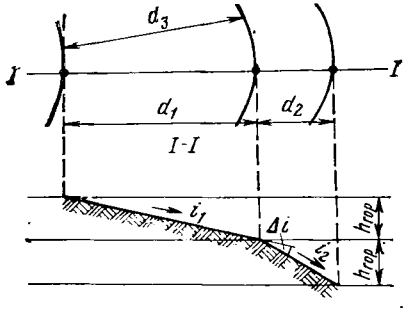


Рис. 24. Схема к определению уклонов и изломов поверхности на плане в горизонталях

Отношение сечения горизонталей к их заложению определяет уклон местности на данном участке, например (см. рис. 24):

$$i_1 = \frac{h_{гор}}{d_1}; \quad i_2 = \frac{h_{гор}}{d_2}.$$

Так как сечение горизонталей является величиной постоянной, уклон местности на участке между двумя горизонталями в заданном направлении определяется только заложением. По его величине можно судить об уклоне, так как каждому заложению соответствует определенный уклон $d = \frac{h_{гор}}{i}$.

Чем заложение больше, тем уклон меньше и, наоборот, чем оно меньше, тем больше уклон. Таким образом, сгущение горизонталей на плане свидетельствует об увеличении уклона местности, а увеличение этого расстояния указывает на уменьшение уклона.

Как было установлено ранее, кривизна поверхности характеризуется величиной излома продольного профиля. В направлении *I—I* (см. рис. 24) излом продольного профиля

$$\Delta i = i_2 - i_1 = \frac{h_{гор}}{d_2} - \frac{h_{гор}}{d_1}. \qquad (13)$$

Из данного соотношения и геометрического смысла задачи следует, что кривизна поверхности зависит от сочетания соседних заложений: чем больше разница между ними, тем больше излом поверхности. В частном случае, когда соседние заложения равны (например, $d_1 = d_2$), уклон на данном участке профиля не меняется и излома поверхности нет.

Рассмотрим кривизну поверхности в направлении, перпендикулярном оси водораздела (или тальвега), имеющую практическое значение для проектирования рельефа.

Пусть имеем два водораздела (рис. 25) и их продольные профили в направлениях *I—I*. Здесь характерным является наличие водораздельной точки *A* (точки *B* и *B'* принадлежат одной горизонтали). Изображения водоразделов на рисунке отличаются кривизной самих горизонталей. В частности, горизонтали на рис. 25, *б* имеют бóльшую кривизну, чем горизонтали на рис. 25, *а*. Бóльшая кривизна горизонталей обусловила и бóльшую кривизну в продольном профиле ($\Delta i_2 > \Delta i_1$).

Таким образом, о кривизне поверхности можно судить не только по сочетанию соседних заложений разноименных гори-

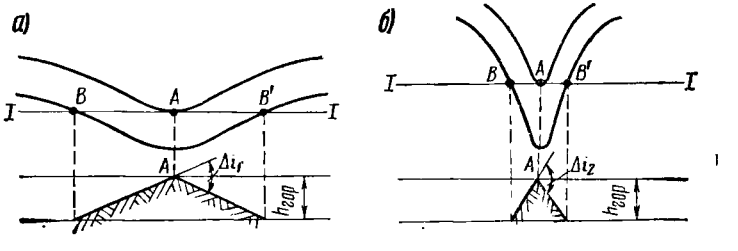


Рис. 25. Изменение кривизны водоразделов в зависимости от кривизны горизонталей:
а — меньшая кривизна; *б* — бóльшая кривизна

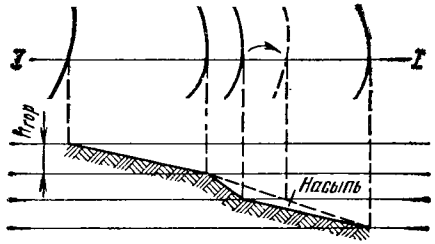


Рис 26. Исправление дефектного участка насыпью

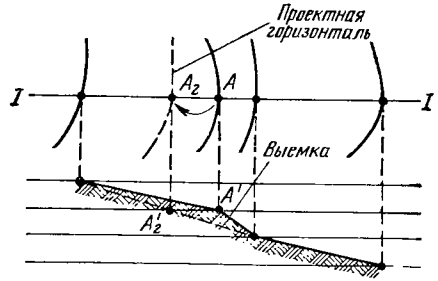


Рис. 27. Исправление дефектного участка выемкой

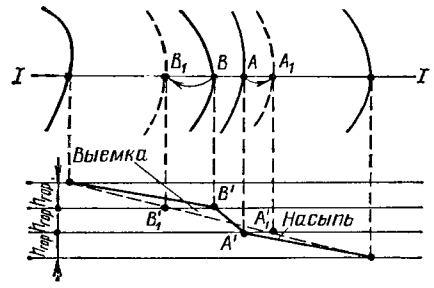


Рис 28. Исправление дефектного участка выемкой-насыпью

зонталей, но и по кривизне самих горизонталей на плане. Такой же вывод можно сделать, если рассмотреть не водораздел, а тальвег.

Как указывалось выше, проектирование рельефа методом горизонталей сводится к смещению горизонталей на дефектных участках относительно их первоначального положения. В связи с этим необходимо усвоить следующее правило: если исправление дефектного участка производится насыпью, проектные горизонтали смещаются относительно одноименных черных горизонталей по уклону (рис. 26), а если выемкой — против уклона (рис. 27). Если исправление дефектного участка произвести частично в насыпи, частично в выемке, проектные горизонтали смещаются относительно одноименных черных как вниз, так и вверх по уклону одновременно (рис. 28).

От величины смещения проектных горизонталей зависит объем земляных работ. Чем меньше величина этого смещения, тем проектная поверхность будет ближе к естественной и, следовательно, тем меньше будет объем земляных работ. Сформулированные положения наглядно проиллюстрированы на рис. 26—28 и дополнительных пояснений не требуют.

§ 10. Выявление и исправление участков с недопустимыми уклонами на плане в горизонталях

В предыдущем параграфе было установлено, что на участке между двумя соседними горизонталями уклон местности полностью определяется величиной заложения. Нормативным зна-

чением максимального и минимального уклонов будут соответствовать заложения

$$d_{min} = \frac{h_{гор}}{i_{max}}; \quad d_{max} = \frac{h_{гор}}{i_{min}}. \qquad (14)$$

Из соотношений (14) видно, что максимально допустимому уклону i_{max} соответствует минимально допустимое заложение. Справедливо и обратное утверждение.

Чтобы уклон удовлетворял нормативным требованиям, необходимо соблюдение неравенства $d_{min} \leqslant d \leqslant d_{max}$.

Переходя к масштабу плана и выражая заложения горизонталей в миллиметрах, получим неравенство

$$\frac{h_{гор}}{i_{max}\mu} 1000 \leqslant d \leqslant \frac{h_{гор}}{i_{min}\mu} 1000, \qquad (15)$$

где $h_{гор}$ — сечение горизонталей, м; μ — знаменатель масштаба; d — заложение, мм.

Пример. $h_{гор}=0{,}25$ м; $i_{max}=0{,}025$; $i_{min}=0{,}005$; масштаб 1 : 2000 ($\mu=2000$).

Решение. При этих данных

$$d_{min} = \frac{0{,}25 \cdot 1000}{0{,}025 \cdot 2000} = 5 \text{ мм}; \quad d_{max} = \frac{0{,}25 \cdot 1000}{0{,}005 \cdot 2000} = 25 \text{ мм}.$$

Из вышеизложенного следует, что для дефектовки рельефа нет необходимости каждый раз вычислять уклоны, достаточно сравнить имеющиеся на плане заложения черных горизонталей с вычисленными заранее допустимыми заложениями.

Таким образом дефектовка рельефа по уклонам сводится к отысканию таких мест, где заложение d не удовлетворяет условию (15). Уклоны проверяют в наиболее характерных направлениях, например, параллельно оси летной полосы и в направлении, перпендикулярном к ней. Это можно сделать с помощью круглых шаблонов — концентрических окружностей диаметрами d_{min} и d_{max}, вычерченных на прозрачной основе (рис. 29).

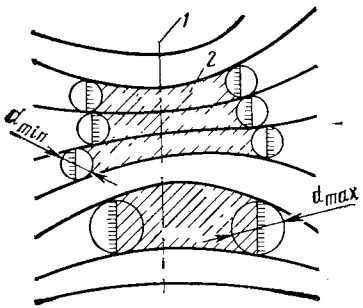


Рис. 29. Выявление участка с недопустимыми уклонами:
1 — направление проверки уклонов; *2* — участки с недопустимыми уклонами

Необходима также проверка и по направлениям стока атмосферных осадков. Недопустимые уклоны могут быть при любых формах рельефа (склон, водораздел, тальвег, всхолмление, блюдце, седловина). Исправление участков, дефек-

тных по уклону, сводится к определению такого положения проектных горизонталей, при котором выполняется условие (15) и высотное положение проектной поверхности будет рациональным.

§ 11. Выявление и исправление участков с недопустимой кривизной на плане в горизонталях

Изображение рельефа горизонталями затрудняет выявление участков с недопустимой кривизной. Здесь нельзя использовать те приемы дефектовки рельефа по кривизне, которыми пользуются при методе отметок. При изображении рельефа только горизонталями высотные отметки определены лишь для точек, которые принадлежат горизонталям, отстоящим друг от друга на самых различных расстояниях. Но вместе с тем разность отметок двух точек, принадлежащих двум соседним горизонталям, есть величина вполне определенная, равная сечению горизонталей. Все это позволяет по сочетанию соседних заложений судить о кривизне поверхности в определенном направлении.

Теоретически для определения кривизны на участке двух смежных заложений можно было бы воспользоваться соотношением (13). Однако такой путь неприемлем. Существует бесконечное множество сочетаний соседних заложений. Пришлось бы для каждой пары соседних заложений вычислять величину излома и сравнивать ее с максимально допустимой. Но определение дефектности рельефа составляет только часть задачи. Вслед за этим встает вопрос об определении такого положения проектных горизонталей, при котором кривизна станет допустимой. Следовательно, нужно произвести дополнительные вычисления.

Теоретически возможен еще один путь. Из геометрии известно, что через три заданные точки можно провести только одну окружность. Выбрав точки A, B и C, принадлежащие продольному профилю участка в направлении $I—I$ (рис. 30), и проведя через них окружность, можно вычислить ее радиус R. Кривизна в рассматриваемом направлении будет допустимой, если $R \geqslant R_{min}$ (R_{min} — минимально допустимый радиус кривизны поверхности).

Но и такой путь решения задачи также неприемлем, так как связан с необходимостью выполнения не меньшего объема вычислений.

Для выявления и исправления на плане в горизонталях участков с недопустимой кривизной К. К. Скиданенко предложил в 1943 г. систему графиков, получившую название *палетки заложений* и позволяющую графически решать задачи, связанные как с дефектовкой рельефа по кривизне, так и с проектированием проектной поверхности. Благодаря простоте и универсальности палетка заложений получила широкое применение в проектировании вертикальной планировки аэродромов.

При проектировании вертикальной планировки, как об этом уже указывалось ранее, в качестве исходной принимается поверхность кругового цилиндра как наиболее простая по очертанию.

Пусть радиус кругового цилиндра равен минимально допустимому радиусу кривизны R_{min}. Продольный профиль, полученный сечением части поверхности кругового цилиндра вертикальной плоскостью, перпендикулярной к его оси, будет представлять собой дугу окружности радиуса R_{min} (рис. 31).

Например, имеется продольный профиль некоторого участка естественной поверхности. Для того чтобы проверить допустимость кривизны естественной поверхности на данном участке, нужно сопоставить продольные профили нормативной и естественной поверхностей, вычерченные в одном масштабе.

Чтобы избежать трудоемкой работы, связанной с построением продольных профилей, поступим следующим образом. Часть окружности радиусом R_{min}, вычерченную в определенном масштабе, рассечем горизонтальными прямыми, отстоящими друг от друга на расстояниях, равных сечению горизонталей (рис. 32). Верхнюю прямую проведем как касательную к окружности. Тогда расстояния d_1, d_2, d_3 будут заложениями горизонталей. Спроектировав заложения на горизонтальную прямую, получим некоторую шкалу (шкала № 1) с отложенными на ней в определенной последовательности заложениями горизонталей. Поскольку шкала получена путем сечения окружности с минимально допустимым радиусом кривизны, шкала № 1 дает предельно допустимое чередование заложений горизонталей. Пользуясь полученной шкалой, можно, не прибегая к построению продольных профилей, сравнить имеющееся на топографическом плане чередование черных горизонталей с предельно допустимым чередованием и выявить таким образом недопустимую кривизну.

На рис. 33 показано, как можно использовать шкалу № 1 для проверки тальвега или водораздела в сечении, проходящем через вершину горизонтали. В данном случае кривизна в рассматриваемом сечении недопустима, так как соседняя горизонталь расположена слишком близко к центру шкалы. Однако шкала № 1 содержит весьма ограниченный набор заложений. Вместе с тем на планах местности в горизонталях возможны как самые различные заложения, так и их сочетания. Поэтому, имея одну шкалу № 1, соответствующую вполне определенному положению проектной поверхности относительно системы секущих плоскостей (верхняя горизонтальная плоскость является касательной к поверхности кругового цилинд-

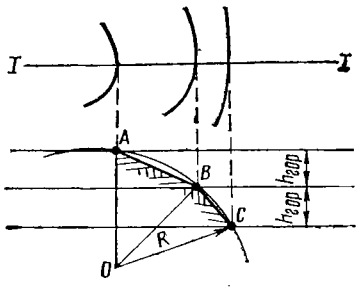


Рис. 30. Теоретически возможный способ проверки кривизны на плане в горизонталях

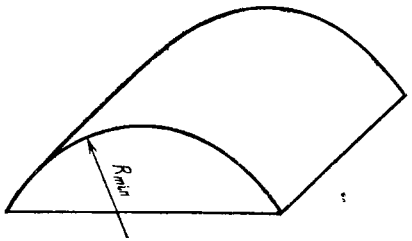


Рис. 31. Поверхность кругового цилиндра радиусом R_{min}, принимаемая в качестве нормативной

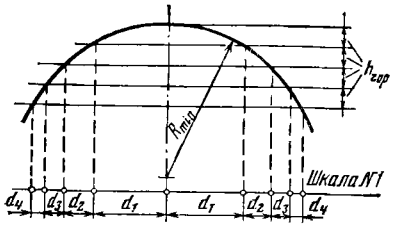


Рис. 32. Построение шкалы № 1 палетки заложений

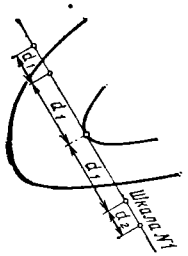


Рис. 33. Проверка кривизны тальвега или водораздела с помощью шкалы № 1

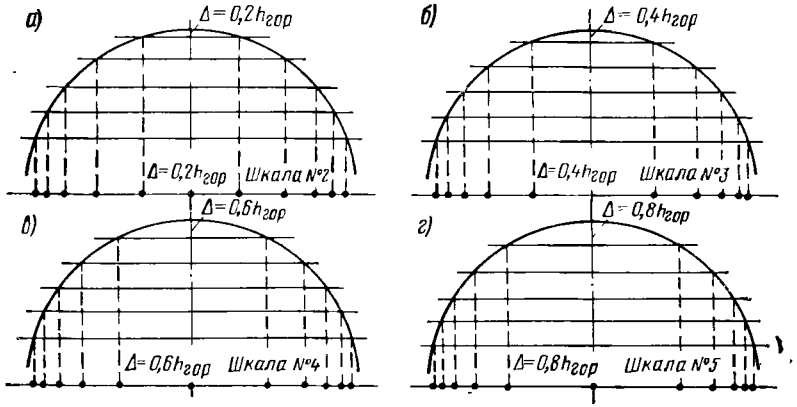


Рис. 34. Построение шкал палетки заложений

ра), еще нельзя решать задачи дефектовки и исправления рельефа на плане в горизонталях. Меняя положение проектной поверхности относительно системы секущих плоскостей, можно получить различные шкалы, каждая из которых также будет отражать допустимое сочетание заложений горизонталей. Например, приподняв цилиндрическую поверхность на величину $\Lambda=\frac{1}{5}h_{гор}$, получим новую шкалу заложений (шкала № 2 на рис. 34,*а*), которая хотя и отличается от шкалы № 1, но соответствует той же проектной поверхности.

Последовательно меняя положение проектной поверхности в пределах величины $h_{гор}$, можно охватить все возможные случаи допустимых сочетаний заложений горизонталей. Изменять высотное положение проектной поверхности на величину, большую $h_{гор}$, не требуется, так как это приводит к повторению уже рассмотренных случаев.

При проектировании шкалы заложений строят для шести положений проектной поверхности относительно системы секущих плоскостей: $\Lambda=0$, $\Delta=0,2h_{гор}$ (рис. 34,*а*); $\Delta=0,4h_{гор}$ (рис. 34,*б*); $\Delta=0,6h_{гор}$ (рис. 34,*в*); $\Delta=0,8h_{гор}$ (рис. 34,*г*).

Таким образом, получают шесть шкал заложений. Например, при сечении горизонталей $h_{гор}=0,25$ м строят шкалы: $\Delta=0$; $\Lambda=0,2\cdot0,25=0,05$ м; $\Delta=0,4\cdot0,25=0,10$ м; $\Lambda=0,6\cdot0,25=0,15$ м; $\Lambda=0,8\cdot0,25=0,20$ м: $\Lambda=0,25$ м.

Легко заметить, что для случаев $\Lambda=0$ и $\Delta h_{гор}$ шкалы заложений совершенно одинаковы. Следовательно, достаточно построить пять шкал заложений. Но и они не охватывают всех возможных заложений. Для того чтобы иметь полный набор заложений и их сочетаний, полученные шкалы располагают одну под другой на произвольных, но равных расстояниях (это расстояние удобно принять равным 1 см) и соответствующие точки соединяют плавными линиями, как показано на рис. 35.

Проведя параллельную прямую в промежутке между двумя соседними шкалами заложений, можно получить новую шкалу, соответствующую промежуточному высотному положению проектной поверхности. Величину Δ, соответствующую этой шкале, легко находят путем линейной интерполяции. Таким путем получают шкалу для любой величины Λ в пределах $\Lambda=0\div h_{гор}$. Например, шкала, показанная на рис. 35 пунктиром, соответствует $\Lambda=0,32h_{гор}$ или при $h_{гор}=0,25$ м $\Lambda=0,32\cdot0,25=0,08$ м.

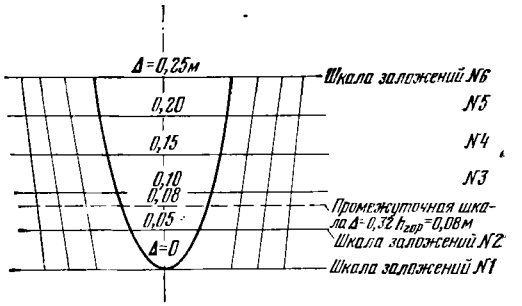


Рис. 35. Построение промежуточной шкалы заложений

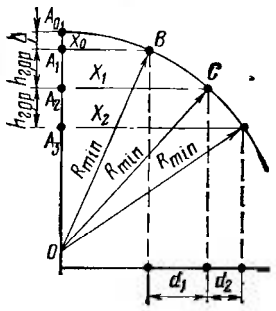


Рис 36. Схема к выводу формул для определения величин x_i

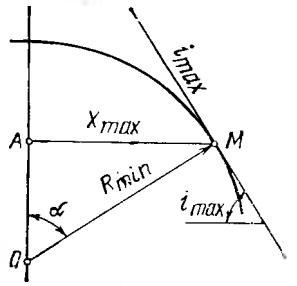


Рис. 37. Определение абсциссы точки, соответствующей максимально допустимому уклону касательной и круговой кривой

Рассмотрим вопрос о построении шкал заложений. Их можно получить, как показано выше, чисто графическим путем. Для этого круговую дугу радиусом R_{min}, вычерченную в определенном масштабе, рассекали системой горизонтальных линий. Полученные заложения проектировали на горизонтальную ось. Учитывая, что нормативные радиусы кривизны грунтовой поверхности аэродромов имеют значения порядка 2000÷÷20 000 м, точность графического построения оказалась бы недостаточной. Поэтому для построения шкал заложений используются аналитические зависимости.

Например, имеются исходные данные: минимально допустимый радиус кривизны поверхности R_{min}, сечение горизонталей $h_{гор}$, масштаб плана местности $1:\mu$. Для построения шкал заложений необходимо знать расстояния x_0, x_1, x_2, ..., x_i, ..., x_n от вертикальной оси проектного профиля до точки, принадлежащей соответствующей горизонтали (рис. 36):

$$x_0 = \frac{10^3}{\mu}\sqrt{OB^2 - OA_1^2} = \frac{10^3}{\mu}\sqrt{R_{min}^2 - (R_{min} - \Delta)^2} =$$

$$= \frac{10^3}{\mu}\sqrt{2R_{min}\Delta - \Delta^2};$$

$$x_1 = \frac{10^3}{\mu}\sqrt{OC^2 - OA_2^2} = \frac{10^3}{\mu}\sqrt{R_{min}^2 - [R_{min} - (\Delta + h_{гор})]^2} =$$

$$= \frac{10^3}{\mu}\sqrt{2R_{min}(h_{гор} + \Delta) - (h_{гор} + \Delta)^2};$$

$$x_2 = \frac{10^3}{\mu}\sqrt{2R_{min}(2h_{гор} + \Delta) - (2h_{гор} + \Delta)^2};$$

$$x_n = \frac{10^3}{\mu}\sqrt{2R_{min}(n\,h_{гор} + \Delta) - (n\,h_{гор} + \Delta)^2}.$$

Оценим порядок величин первого и второго членов подкоренного выражения. Пусть $R_{min} = 10^4$ м; $h_{гор} = 0{,}25$ м; $\Delta = h_{гор} = 0{,}25$ м; $n = 3$. При этих данных $2R_{min}(n\,h_{гор} + \Delta) = 2 \cdot 10^4$ $(3 \cdot 0{,}25 + 0{,}25) = 2 \cdot 10^4$; $(n\,h_{гор} + \Delta)^2 = (3 \cdot 0{,}25 + 0{,}25)^2) = 1$.

Ввиду относительной малости вторым членом подкоренного выражения можно пренебречь. При этом условии получим

$$x_n \approx \frac{10^3}{\mu}\sqrt{2R_{min}(n h_{гор} + \Delta)}. \qquad (16)$$

Пользуясь полученной зависимостью, можно вычислить величины x_i, определяющие положение горизонталей проектной поверхности при конкретных R_{min} и $h_{гор}$ для каждого фиксированного значения Δ.

Из рис. 36 видно, что с ростом значений x продольный уклон цилиндрической поверхности увеличивается, а заложения горизонталей уменьшаются $(d_{i-1} < d_i)$. В некоторой точке M (рис. 37) продольного профиля, расположенной от вертикальной оси на расстоянии x_{max}, уклон становится равным максимально допустимому i_{max}. Это означает, что после точки M круговая дуга в продольном профиле должна быть заменена касательной с уклоном i_{max} (поверхность кругового цилиндра переходит в наклонную плоскость). Следовательно, на шкалах заложений, начиная с точки M, имеющей абсциссу x_{max}, заложения должны оставаться постоянными и равными $d_{min} = \frac{10^3\,h_{гор}}{\mu\,i_{max}}$.

Абсцисса x_{max} может быть найдена из треугольника OAM (см. рис. 37):

$$\frac{AM}{OM} = \frac{x_{max}}{R_{min}} = \sin\alpha \approx \operatorname{tg}\alpha \approx i_{max},$$

$$x_{max} = \frac{10^3}{\mu} R_{min}\, i_{max}. \qquad (17)$$

Таким образом, при построении шкал заложений вычисления величин x_n по формуле (16) следует вести до значений, ближайших к x_{max}. Последующие точки на шкалах заложений можно получить, откладывая расстояния d_{min}.

Для построения палетки заложений примем следующие исходные данные: $R_{min} = 6000$ м; $h_{гор} = 0{,}25$ м; $i_{max} = 0{,}020$; $1:\mu = 1:2000$.

Определим величину x_{max}:

$$x_{max} = \frac{1}{\mu} R_{min}\, i_{max} = \frac{6000 \cdot 0{,}2 \cdot 1000}{2000} = 60 \text{ мм}.$$

Определим величину $d_{\min}$:

$$d_{\min} = \frac{10^3 \cdot h_{\text{гор}}}{\mu\, i_{\max}} = \frac{0{,}25 \cdot 1000}{2000 \cdot 0{,}02} = 6{,}2\text{мм}.$$

Определим величину x_i для различных значений Δ, например для $\Delta = 0$:

$$x_0 = \frac{1000}{\mu}\sqrt{2R_{\min}(0 \cdot h_{\text{гор}} + 0)} = 0;$$

$$x_1 = \frac{1000}{2000}\sqrt{2 \cdot 6 \cdot 10^3 (1 \cdot 0{,}25 + 0)} = 27{,}4 \text{ мм};$$

$$x_2 = \frac{1000}{2000}\sqrt{2 \cdot 6 \cdot 10^3 (2 \cdot 0{,}25 + 0)} = 38{,}7 \text{ мм};$$

$$x_3 = \frac{1000}{2000}\sqrt{2 \cdot 6 \cdot 10^3 (3 \cdot 0{,}25 + 0)} = 47{,}4 \text{ мм};$$

$$x_4 = \frac{1000}{2000}\sqrt{2 \cdot 6 \cdot 10^3 (4 \cdot 0{,}25 + 0)} = 54{,}8 \text{ мм};$$

$$x_5 = \frac{1000}{2000}\sqrt{2 \cdot 6 \cdot 10^3 (5 \cdot 0{,}25 + 0)} = 61{,}3 \text{ мм}.$$

Дальнейшие вычисления x_i для $\Delta = 0$ на этом заканчиваются, так как значение $x_5 = 61{,}3$ мм уже достигло величины $x_{\max} = 60$ мм и мало от нее отличается (x_6 будет отличаться от $x_{\max}$ уже на большую величину). Далее на шкале заложений откладывают отрезки $d_{\min}$. Обычно достаточно отложить один-два таких отрезка. Результаты вычислений величин x_i для других значений Δ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Данные для построения палетки заложений
($R_{\min} = 6000$ м, $h_{\text{гор}} = 0{,}25$ м, $i_{\max} = 0{,}02$, $\mu = 2000$)

Δ, м	x_i, мм						
	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
0,00	0,0	27,4	38,7	47,4	54,8	61,3	67,5
0,05	12,2	30,0	40,6	49,0	56,2	62,5	68,7
0,10	17,3	32,4	42,4	51,0	57,5	63,7	69,9
0,15	21,2	34,6	44,1	52,0	58,7	64,9	71,1
0,20	24,5	36,7	45,8	53,4	60,0	66,2	72,4
0,25	27,4	38,7	47,4	54,8	61,3	67,5	73,7

Круговая дуга симметрична относительно вертикальной оси, поэтому соответствующие точки шкал заложений будут расположены симметрично относительно этой оси (рис. 38).

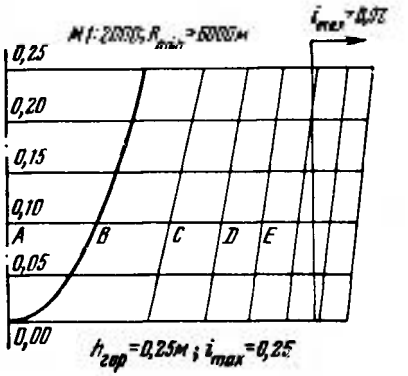


Рис. 38. Общий вид палетки заложений

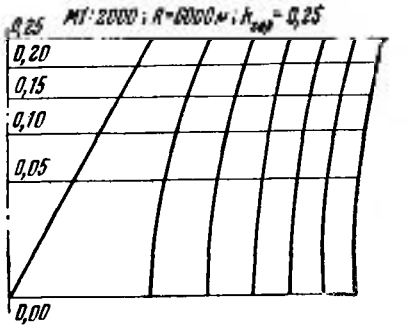


Рис. 39. Палетка заложений с размещением шкал заложений на расстояниях $\sqrt{\Delta}$ от шкалы № 1

Иногда при построении палетки поступают иначе. Ее шкалы располагают от шкалы № 1 на расстояниях, равных $\sqrt{\Delta}$, а на шкалах откладывают те же значения x_i. Абсциссы первой ветви палетки вычисляют по формуле

$$x_0 = \frac{10^3}{\mu}\sqrt{2R\Delta} = \frac{10^3}{\mu}\sqrt{\Delta} \cdot \sqrt{2R}.$$

Поэтому при таком построении она превращается в прямую линию. Другие ветви палетки также приобретают иное очертание (рис. 39). Такой способ построения палетки, на наш взгляд, менее удобный.

Используем палетку заложений для выявления недопустимой кривизны на плане в горизонталях. Выше было установлено, что палетка дает предельно допустимое чередование заложений, соответствующее $R_{\min}$. Рассмотрим шкалу заложений, соответствующую $\Delta = 0{,}4h_{\text{гор}}$. Заложениями горизонталей здесь являются отрезки BC, CD, DE и последующие (отрезок AB не является заложением горизонталей, так как точки A и B расположены по высоте на расстоянии меньшем, чем $h_{\text{гор}}$, и равном $0{,}4h_{\text{гор}} = 0{,}10$ м).

Рядом с каждым заложением находятся два предельно допустимых заложения: максимально допустимое и минимально допустимое[1]. Так, рядом с заложением CD может быть максимально допустимое заложение BC и минимально допустимое DE. Если рядом с заложением CD на плане в горизонталях будет заложение большее, чем BC или меньшее, чем DE, кривизна станет недопустимой. То же можно сказать и о других

[1] Не следует смешивать эти заложения с $d_{\min}$ и $d_{\max}$, соответствующими максимальному и минимальному уклонам.

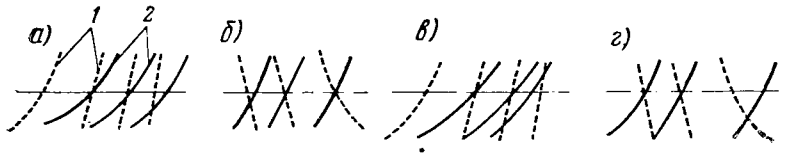


Рис. 40. Проверка кривизны поверхности склона палеткой заложений:
а — допустимая кривизна; *б, в* и *г* — недопустимая кривизна;
1 — ветви палетки; *2* — черные горизонтали

заложениях палетки. Только у заложений, расположенных между первой и второй ветвями палетки, имеется пока минимально допустимое заложение и отсутствует максимально допустимое. Например, для заложения *BC* минимально допустимым соседним заложением является заложение *CD*.

Выявление недопустимой кривизны поверхности в каком-либо сечении сводится к следующему. Например, требуется проверить кривизну поверхности на склоне. Для этого какое-либо заложение склона на плане в горизонталях совмещают с равным ему заложением на палетке. Сопоставляя соседнее заложение палетки с соседним заложением склона, судят о кривизне поверхности (рис. 40). При проверке кривизны склонов можно пользоваться как правой, так и левой половинами палетки, переходить от одной половины палетки к другой. Можно использовать любую шкалу, не принимая во внимание величину Δ, так как средняя часть палетки характеризует кривизну водоразделов и тальвегов и не может быть использована для проверки и исправления кривизны склонов. При этом максимально и минимально допустимые заложения палетки могут располагаться с любой стороны от рассматриваемого заложения. Например, заложения *BC* и *DE* могут располагаться как справа, так и слева от заложения *CD* (см. рис. 38). В зависимости от направления уклона различное чередование заложений будет соответствовать либо выпуклому, либо вогнутому профилю склона.

Рассмотрим приемы выявления недопустимой кривизны на водораздельных участках. Этот вопрос представляет особый интерес, так как эти приемы можно использовать для выявления недопустимой кривизны и при других формах рельефа (тальвеги, всхолмления, блюдца, седловины).

Для водоразделов характерно наличие водораздельных точек. Например, в направлениях наибольшей кривизны (сечения *I—I, II—II* на рис. 41) водораздельными будут точки *A* и *B*. Вправо и влево от них расположены одноименные горизонтали, т. е. имеют место разные по направлению уклоны. Поэтому для проверки кривизны на водораздельных участках необходимо пользоваться средней частью палетки, а для проверки кривизны на склонах водораздела — ее правой и левой частями. Приемы выявления недопустимой кривизны на склонах были рассмотрены выше.

Кривизна водораздельного участка в сечении *I—I* проверяется с помощью шкалы $\Delta = h_{гор}$, так как в рассматриваемом случае точка *A* расположена выше точек A_1 и A_2 ровно на сечение горизонталей. Для этого среднюю точку шкалы $\Delta = h_{гор}$ совмещают с водораздельной точкой, а шкалу размещают примерно перпендикулярно к оси водораздела в данной точке. Наложив таким образом палетку заложений на план водораздела, можно судить о допустимости кривизны в водораздельной точке. Если черная горизонталь расположена ближе к оси палетки, чем первая ветвь палетки, кривизна в водораздельной точке недопустима. Она допустима в этой точке лишь в том случае, когда черная горизонталь справа и слева от нее будет расположена дальше от оси палетки, чем ее первая ветвь.

С целью проверки кривизны в сечениях между горизонталями (например, *II—II*) предварительно определяют превышение водораздельной точки (в данном случае точки *B*) над нижележащей горизонталью, т. е. величину Δ. Это делают путем интерполяции. Затем на оси палетки находят точку, соответствующую значению Δ. Этим определяется шкала заложений, которой следует пользоваться. О допустимости кривизны в водораздельной точке можно судить, сопоставляя местоположение черной горизонтали и первой ветви палетки, как было показано выше.

Чтобы проверить кривизну всхолмления в сечениях, проходящих через его вершину, предварительно определяют превышение вершины всхолмления над ближайшей черной горизонталью. Совмещая затем среднюю точку соответствующей шкалы палетки с вершиной всхолмления, можно проверить его кривизну по всем радиальным направлениям.

Для проверки кривизны тальвегов и блюдец используются аналогичные приемы. Чтобы определить шкалу, которой нужно пользоваться при проверке кривизны в рассматриваемом сечении, достаточно вычислить разность между отметкой вышележащей горизонтали и отметкой дна тальвега или блюдца. Дальнейшие действия палеткой аналогичны предыдущему.

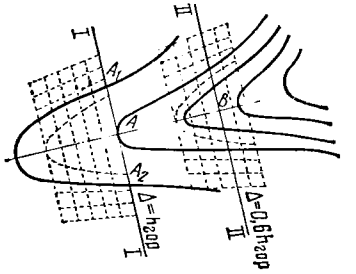


Рис. 41. Проверка кривизны поверхности водораздела:
сечение *I—I* — допустимая кривизна; сечение *II—II* — недопустимая кривизна

§ 12. Дополнительные ветви палетки заложений

Ранее было установлено, что каждому заложению палетки должны соответствовать вполне определенные максимально допустимые и минимально допустимые соседние заложения. Нетрудно заметить, что рядом с заложениями, расположенными между первой и второй ветвями палетки, находятся только минимально допустимые значения. Например, для заложения B_1C_1 (рис. 42) заложение C_1D_1, находящееся справа, является минимально допустимым, а отрезок A_1B_1 слева не является заложением, так как точки A и B расположены по высоте на расстоянии $\Delta \neq h_{гор}$.

С целью определения максимально допустимых соседних заложений для заложений палетки, расположенных между ее первой и второй ветвями, необходимо условие: допустимая кривизна в точке B (см. рис. 42), определенная ранее заданным радиусом кривизны R_{min}, должна остаться неизменной. Следовательно, должен остаться неизменным и уклон линии AB. Исходя из этого, продолжим отрезок AB до пересечения в точке K с очередной горизонтальной линией, расположенной выше на $h_{гор}$. Отрезок K_1B_1 будет искомым максимально допустимым соседним заложением для заложения B_1C_1.

Следовательно, при заданных значениях R_{min} и $h_{гор}$ величина искомого заложения K_1B_1 будет изменяться в зависимости от Δ и различна для разных шкал заложений. Установим эту зависимость. Из подобия треугольников KK_2B и AA_2B следует, что

$$\frac{KK_2}{AA_2} = \frac{K_2B}{A_2B} \quad \text{или} \quad \frac{h_{гор}}{\Delta} = \frac{K_1B_1}{x_0}.$$

Отсюда находим $K_1B_1 = \dfrac{h_{гор}}{\Delta} x_0$. (18)

Используя зависимость $x_0 = \dfrac{10^3}{\mu}\sqrt{2R_{min}\Delta}$ (см. § 11), получим искомое заложение в миллиметрах:

$$K_1B_1 = \frac{10^3 h_{гор}}{\mu}\sqrt{\frac{2R_{min}}{\Delta}}. \qquad (19)$$

Пример. Дано $R_{min}=6000$ м; $h_{гор}=0{,}25$ м; $\Delta=0{,}4h_{гор}=0{,}10$ м; $\mu=2000$.

Используя эти данные, находим

$$K_1B_1 = \frac{0{,}25\cdot 1000}{2000}\sqrt{\frac{2\cdot 6000}{0{,}10}} = 43{,}3 \text{ мм}.$$

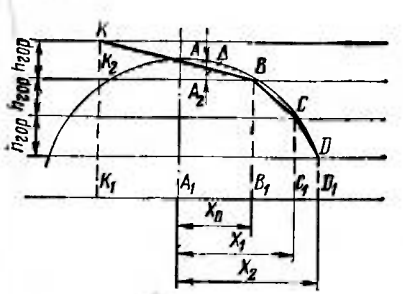


Рис. 42. Определение абсцисс дополнительных ветвей палетки заложений

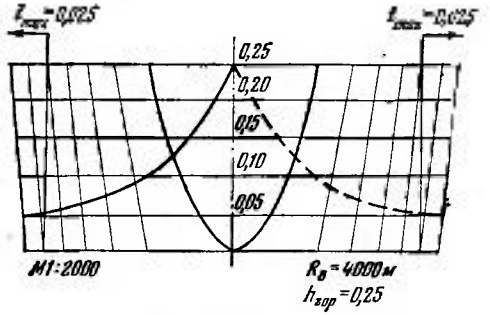


Рис. 43 Палетка заложений с дополнительными ветвями

Такие вычисления можно выполнить для всех значений Δ, указанных в табл. 2.

Таблица 2

Данные для построения дополнительной ветви палетки заложений (R_{min} = 6000 м; $h_{гор}$ = 0,25 м; μ = 2000)

Δ, м	Расстояние от первой ветви до дополнительной ветви палетки (K_1B_1), мм	Δ, м	Расстояние от первой ветви до дополнительной ветви палетки (K_1B_1), мм
0	∞	0,15	35,4
0,05	61,2	0,20	30,6
0,10	43,3	0,25	27,4

Полученные величины искомых заложений откладывают влево от правой первой ветви заложений на соответствующих шкалах. Аналогичным путем строят симметричную дополнительную ветвь палетки заложений, для чего эти же величины заложений откладывают вправо от левой первой ветви палетки заложений (на рис. 43 показана пунктиром). Построением дополнительных ветвей оформление палетки заложений заканчивается. Дополнительные ветви палетки заложений были предложены Н. Н. Ермолаевым в 1947 г.

Для дефектовки и исправления любых форм рельефа на плане в горизонталях используют палетку, изображенную на рис. 43.

§ 13. Исправление склонов

Исправление склонов и их дефектовка, проводится по отдельным направлениям, применяя один из следующих способов: насыпью, выемкой, выемкой-насыпью.

Рассмотрим исправление данного склона в направлении I—I насыпью (рис. 44). Если рельеф участка левее точки 2 не

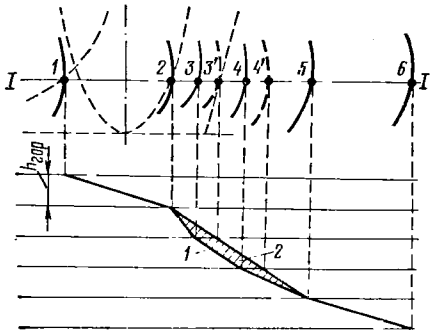


Рис. 44. Исправление недопустимой кривизны склона на плане в горизонталях:
1 — профиль черной поверхности; *2* — профиль проектной поверхности

требует исправления, проходящую через нее черную горизонталь следует оставить на месте. Отыскав на палетке заложение, равное заложению *1—2*, совместим его с заложением на плане так, чтобы вправо заложения уменьшались, т. е. воспользуемся правой стороной палетки. Иначе поступить в этом случае нерационально, так как справа от точки *2* расположено меньшее заложение. Наложив таким образом палетку на план участка, сразу же определяем положение следующей проектной горизонтали.

Если минимально допустимое соседнее заложение будет равно *2—3′*, следующая проектная горизонталь должна пройти через точку *3′* (проектные горизонтали показаны на рис. 44 пунктиром). Для последующего исправления рельефа рядом с заложением *2—3′* можно было бы отложить соответствующее ему максимально допустимое или минимально допустимое заложение. В первом случае проектная горизонталь окажется слишком далеко от точки *4*, что увеличит объем земляных работ, во втором пройдет вблизи точки *4*, и точку *5* придется передвигать против уклона, что потребует устройства выемки. В данном случае целесообразно еще раз отложить заложение, равное заложению *2—3′*, тогда следующая проектная горизонталь пройдет через точку *4′*. Точку *5* можно оставить на месте, так как при расположении заложения *4′—5* рядом с заложением *3′—4′* кривизна будет допустимой. Ввиду того что за заложением *4′—5* находится большее заложение *5—6*, кривизна на этом участке проверяется с использованием левой стороны палетки.

Таким образом, при исправлении склона насыпью сначала намечают верхнюю исходную точку, которая остается неизменной. Далее, действуя различными сторонами палетки, определяют местоположение проектных горизонталей. При этом необходимо, чтобы проектные горизонтали сдвигались по склону относительно одноименных черных горизонталей и по возможности меньше.

Аналогично исправляют склон выемкой. В этом случае в качестве исходной выбирают нижнюю точку склона, а проектные горизонтали смещают против уклона относительно одноименных черных горизонталей (см. рис. 27).

При способе выемка — насыпь в качестве исходной выбирают некоторую среднюю точку склона. Выше этой точки проектные горизонтали смещают против уклона, а ниже — по уклону относительно одноименных черных горизонталей (см. рис. 28).

Исходную точку выбирают таким образом, чтобы по возможности обеспечить равенство объемов выемки и насыпи в пределах данного дефектного места.

§ 14. Исправление водоразделов и тальвегов

Обычно водоразделы и тальвеги исправляют выемкой-насыпью. Иногда водоразделы исправляют выемкой, а тальвеги — насыпью. Другие способы исправления этих форм рельефа применяются редко.

При исправлении водораздела выемкой горизонтали нужно смещать против уклона. Водораздел можно исправлять как с нижней, так и верхней его части. Воспользуемся шкалой палетки $\Delta = h_{гор}$. Среднюю часть этой шкалы наложим на план водораздела так, чтобы точки x_0, принадлежащие первой ветви палетки, совместились с горизонталью 10,00 в точках *1* и *1′* (сечение *I—I* на рис. 45). Тогда средняя точка шкалы укажет положение вершины проектной горизонтали 10,25 (точка O_1). Действительно, для того чтобы кривизна в сечении *I—I* была допустимой, расстояние от точки O_1 до точек *1* и *1′* должно быть не менее x_0.

Таким же путем найдем вершину проектной горизонтали 10,50. Для этого сдвигаем палетку вверх до тех пор, пока точки, принадлежащие первой ветви палетки на шкале $\Delta = h_{гор}$, не совместятся с горизонталью 10,25. Пусть это произойдет в

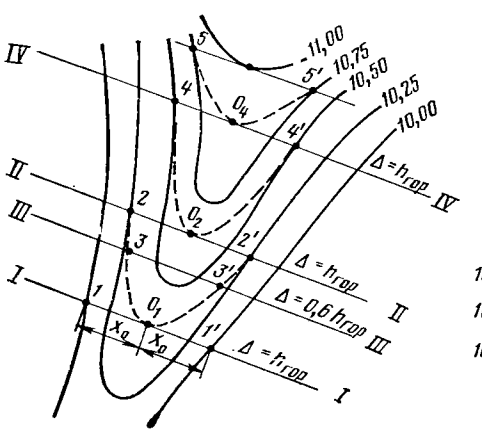
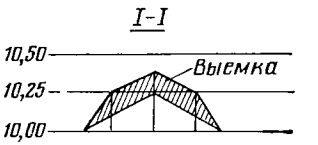


Рис. 45. Исправление водораздела выемкой



точках 2 и 2′ (сечение II—II). Тогда точка O_2 определит положение вершины проектной горизонтали 10,50, а точки 2 и 2′— положение проектной горизонтали 10,25 в сечении II—II.

Соединив точки 2, 2′ и O_1 плавной линией, получим очертание проектной горизонтали 10.25 (проектные горизонтали на рис. 45 изображены пунктиром). Чтобы получить более точное очертание этой горизонтали, следует воспользоваться другими шкалами палетки. Для этого необходимо наметить дополнительное сечение (например, III—III). Путем интерполяции между точками O_1 и O_2 находят величину Δ для этого сечения. Пользуясь соответствующей шкалой заложений, определяют дополнительные точки, принадлежащие горизонтали 10,25 (точки 3 и 3′ в сечении III—III). Так же определяют положение проектных горизонталей 10,50 и 10,75. Горизонталь 11,00, как видно из рис. 45, исправления не требует.

Таким образом, действуя палеткой, можно определить в каждом рассматриваемом сечении не только положение трех найденных проектных точек (одна водораздельная и две точки ближайшей младшей горизонтали), но и положение точек последующих проектных горизонталей, захватывающих данное сечение. Например, в сечении IV—IV одновременно с точками 4, 4 и 4′ следует определить положение точек, принадлежащих горизонталям 10,25 и 10,00. Для этого в примере использованы вторая и третья ветви палетки заложений. Вообще говоря, эти части водораздела представляют собой склоны, поэтому для их исправления следует применять рассмотренные ранее приемы.

Исправление тальвега насыпью аналогично исправлению водораздела выемкой. Однако величина Δ в каждом сечении тальвега определяется как превышение ближайшей к оси тальвега горизонтали над его дном.

Обычно водоразделы и тальвеги исправляют способом выемки-насыпи с обеспечением частного баланса, т. е. равенства их объемов. Равенство объемов выемки и насыпи в пределах рефектного места будет обеспечено с достаточной для практических целей точностью при равенстве сумм площадей, заключенных между одноименными проектными и черными горизонталями (площади горизонтальных профилей) на участках выемки и насыпи (рис. 46). Этим правилом следует руководствоваться при исправлении водоразделов и тальвегов. Когда целесообразнее водораздел или тальвег исправить так, чтобы объем выемки превышал объем насыпи (или наоборот), соответственно увеличивают площади горизонтальных профилей на участке выемки (насыпи).

Можно рекомендовать такой прием решения водоразделов тальвегов способом выемки-насыпи. Придерживаясь требуемого соотношения объемов выемки и насыпи, намечают на

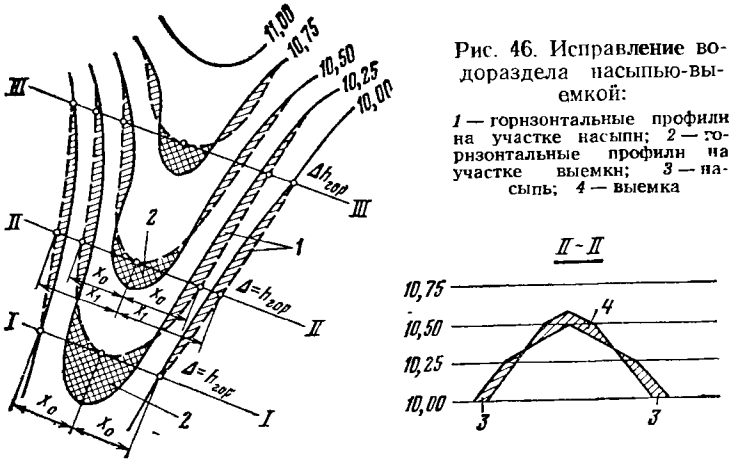


Рис. 46. Исправление водораздела насыпью-выемкой:
1 — горизонтальные профили на участке насыпи; *2* — горизонтальные профили на участке выемки; *3* — насыпь; *4* — выемка

глаз проектные горизонтали. Затем, пользуясь палеткой заложений, корректируют их размещение и очертание. Можно поступить иначе — сначала решить водораздел или тальвег одним видом работ (выемкой или насыпью), а затем полученные проектные горизонтали сместить так, чтобы достичь нужного соотношения объемов выемки и насыпи. При смещении проектных горизонталей в новое положение возможна некоторая корректировка их очертания для лучшего вписывания в рельеф местности.

§ 15. Исправление всхолмлений и блюдец

Блюдце можно представить в виде сочетания двух тальвегов. Здесь также есть особая точка — дно, которое имеет наименьшую отметку. Всхолмление можно рассматривать как сочетание двух водоразделов. Для этой формы рельефа характерно наличие особой точки — вершины. Возможны несимметричные блюдца и всхолмления (рис. 47). В этих случаях каждое всхолмление можно рассматривать как сочетание нескольких водоразделов и тальвегов. То же можно сказать и о несимметричных видах блюдец.

При таком рассмотрении всхолмлений и блюдец представляется возможным использовать приемы исправления водоразделов и тальвегов.

Исправление всхолмления выемкой (см. рис. 47) целесообразно начинать с водораздельных участков, используя приемы исправления водораздела выемкой. Одну из горизонталей принимают за исходную и последовательно исправляют следующие за ней старшие горизонтали, начиная с нижней части всхолмления. После выполнения этого этапа становится ясным,

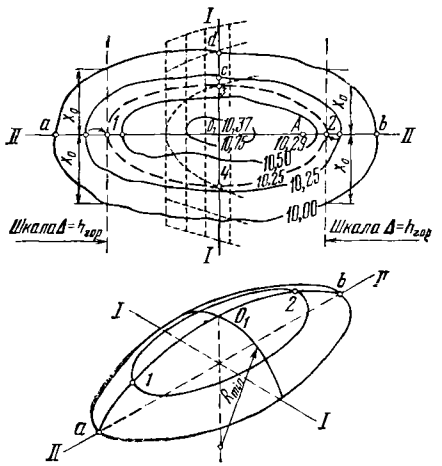


Рис. 47. Исправление всхолмления выемкой

какие из горизонталей всхолмления исчезнут в результате срезки, а какие следует заменить проектными. В примере, изображенном на рис. 47, за исходную приняли горизонталь 10,00. Затем с помощью верхней шкалы палетки исправляли горизонталь 10,25.

Таким путем были определены точки *1* и *2*, принадлежащие этой горизонтали.

Если так же определять точки проектной горизонтали 10,50, то легко убедиться, что она и следующая горизонталь 10,75 исчезают в результате срезки верхней части всхолмления. Полученные точки далеко не полностью определяют очертание и высотное положение проектной поверхности; необходимо еще найти проектную отметку вершины всхолмления, что позволит одновременно получить дополнительные точки, принадлежащие проектным горизонталям.

Рассмотрим сечение, проходящее через вершину всхолмления по направлению наибольшей кривизны (сечение *I—I*). Требуется определить дополнительные точки только горизонтали 10,25. Здесь, как и ранее, следует стремиться к наименьшему смещению проектных горизонталей относительно черных. Исходя из этого, попытаемся оставить на месте точку *c*, принадлежащую черной горизонтали 10,25. Подобрав с этой целью на палетке соответствующую шкалу, совместим точку *c* с первой ветвью палетки, а середину шкалы — с вершиной всхолмления. Тогда соответствующая этой шкале величина Δ определит допустимое превышение вершины всхолмления над ближайшей горизонталью 10,25. При таком наложении палетки Δ=0,17 м, а отметка вершины всхолмления равна 10,42.

Определяя таким путем проектную отметку вершины всхолмления, нужно обратить внимание на нижерасположенные горизонтали. В примере, изображенном на рис. 47, оказалось, что при наложении шкалы Δ=0,17 точка *d* горизонтали 10,00 должна быть сдвинута по уклону, т. е. образуется насыпь.

Чтобы избежать этого, для определения отметки вершины всхолмления нужно взять за исходную не горизонталь 10,25, а горизонталь 10,00. Вновь накладываем на план палетку так, чтобы середина одной из шкал совпадала с вершиной всхолмления, а вторая ветвь палетки совпадала с точкой *d*. Величина Δ этой шкалы определит новую отметку вершины всхолмления, а точки шкалы, расположенные справа и слева от ее середины (точки *3* и *4*), определят положение проектной горизонтали в заданном сечении. Такой шкалой оказалась шкала Δ=0,12, и проектная отметка вершины всхолмления будет равна 10,37. Уменьшение проектной отметки означает увеличение срезки всхолмления. При данной отметке в сечении *I—I* нужна только выемка. Теперь можно соединить точки, принадлежащие одноименным проектным горизонталям (в нашем случае точки *1, 2, 3, 4*). При полученной проектной отметке вершины может оказаться, что кривизна в других сечениях всхолмления будет недопустимой. Ведь отметка вершины определена из условия допустимости кривизны только в сечении *I—I*. После этого целесообразно перейти к сечению, совпадающему с направлением наименьшей кривизны поверхности (сечение *II—II*).

Полученные точки, принадлежащие проектным горизонталям, соединяют плавными линиями (на рис. 47 и далее проектные горизонтали изображены пунктиром).

Поверхность всхолмлений несимметричной формы исправляют выемкой, используя те же приемы (рис. 48). Вначале проектируют выемку на водораздельном участке, затем намечают сечения, совпадающие с наибольшей кривизной, которые используют для уточнения местоположения проектных горизонталей. Можно наметить несколько таких сечений, располагаемых по радиальным направлениям.

Исправление всхолмлений только насыпью значительно проще. Если в предыдущем случае главная трудность заключалась в определении проектной отметки вершины всхолмления, то в данном случае такой вопрос не возникает, так как отметка вершины остается неизменной. Поэтому построение проектной поверхности рекомендуется начинать с вершины.

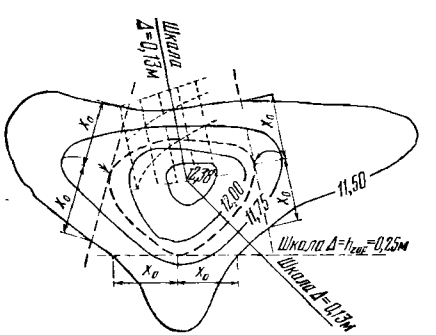


Рис. 48. Исправление несимметричного всхолмления выемкой

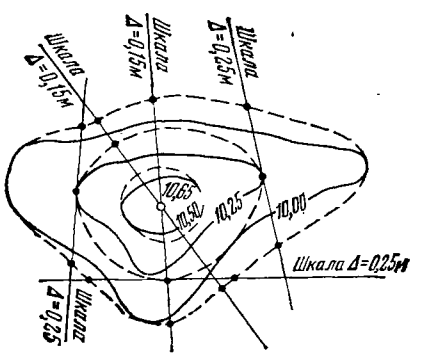


Рис. 49. Исправление всхолмления насыпью

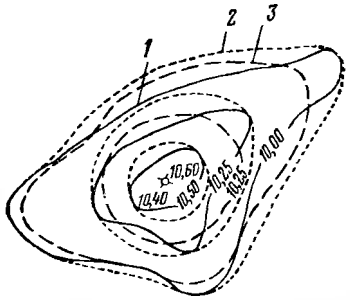


Рис. 50. Исправление всхолмления насыпью-выемкой:
1 — черные горизонтали; *2* — проектные горизонтали в насыпи; *3* — то же, в насыпи-выемке

Для построения проектной поверхности намечают сечения по направлениям наибольшей кривизны (рис. 49). Далее вычисляют превышение вершины над ближайшей горизонталью, т. е. величину Δ. Это сразу определит шкалу палетки, которой следует пользоваться для выяснения местоположения проектных горизонталей на направлениях, проходящих через вершину всхолмления. В рассматриваемом примере Δ=0,15. На водораздельных участках используют приемы исправления водоразделов насыпью.

Исправлению всхолмления способом выемки-насыпи (рис. 50) соответствует некоторое промежуточное высотное положение проектной поверхности. Иначе говоря, можно либо приподнять проектную поверхность, полученную при исправлении всхолмления выемкой, либо опустить проектную поверхность, полученную при исправлении насыпью. Такой подход к задаче определяет и прием ее решения. Исправить всхолмление насыпью проще, поэтому целесообразно использовать его в качестве исходного решения. Имея для этого случая проектные горизонтали, следует «сжать» их к вершине всхолмления. Это можно сделать сначала на глаз, затем скорректировать с помощью палетки заложений.

При смещении проектных горизонталей к вершине можно руководствоваться упоминавшимся ранее правилом о соотношении площадей горизонтальных профилей на участках выемок и насыпей. Эти площади также должны быть равны, если желаем получить равенство объемов насыпей и выемок.

Блюдце представляет собой как бы зеркальное отражение всхолмления, поэтому приемы его исправления выемкой аналогичны приемам исправления всхолмления насыпью. Величина Δ в каждом сечении блюдца определяется как разность между отметками вышележащей горизонтали и дна блюдца.

§ 16. Исправление седловин

Седловина обычно образуется двумя тальвегами и водоразделами (рис. 51). Если седловину рассечь по оси тальвегов (сечение *I—I*), будет получен выпуклый продольный профиль (рис. 51,*б*), если по оси водоразделов — вогнутый продольный профиль (рис. 51, *в*). Это следует иметь в виду при дефектовке и исправлении кривизны седловин с помощью палетки заложений, так как величины Δ для этих направлений будут различны.

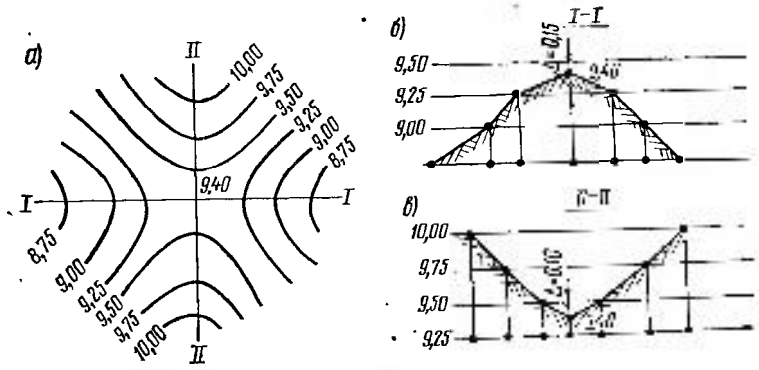


Рис. 51. Седловина:
а — план в горизонталях; *б* — разрез по *I—I*; *в* — разрез по *II—II*

Близкое расположение водоразделов и тальвегов определяет в большинстве случаев наиболее рациональное решение седловин в выемке-насыпи: водоразделы исправляют выемкой тальвеги — насыпью. Объемы выемки и насыпи зависят от того, какая принята проектная отметка центра седловины. При увеличении этой отметки объем выемки уменьшается, а объем насыпи увеличивается; с уменьшением отметки центра седловины соотношение объемов выемки и насыпи изменяется в пользу выемки. Таким образом, выбором проектной отметки центра седловины можно достичь желаемого соотношения объемов выемки и насыпи.

При исправлении поверхности седловины вначале исправляют рельеф по осям водоразделов и тальвегов, для чего задаются отметкой центра седловины. Она сразу определяет шкалы палетки заложений, которыми следует пользоваться при исправлении рельефа. Если в нашем примере (рис. 52) отметку центра седловины оставить неизменной, то при исправлении рельефа по оси тальвегов нужно пользоваться шкалой Δ= =0,15 (Δ=9,40 — 9,25= =0,15 м), а по оси водоразделов шкалой Δ=0,10 (Δ= =9,50—9,40=0,10 м).

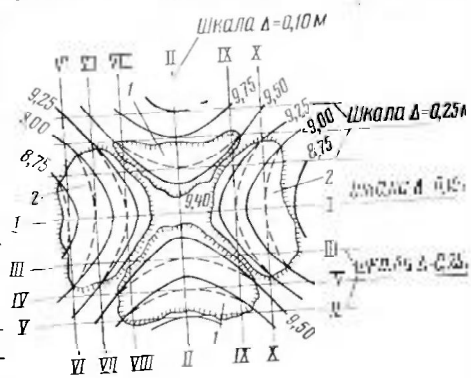


Рис. 52. Исправление седловины выемкой-насыпью:
1 — участки выемки; *2* — участки насыпи

Далее одну из них необходимо совместить с соответствующей осью седловины, а центр шкалы—с центром седловины. Точки, лежащие на этой шкале па-

летки заложений, укажут положение вершин проектных горизонталей в данном сечении (сечение *I—I*). То же следует выполнить в сечении *II—II*, пользуясь соответствующей шкалой палетки заложений.

Для дальнейшего исправления поверхности седловины следует применять приемы, которые использовались при исправлении поверхностей тальвегов и водоразделов. Исправление начинают как с тальвежных, так и с водораздельных участков. Зная положение вершин горизонталей и используя шкалу палетки $\Delta = h_{гор}$, можно определить дополнительные точки, принадлежащие проектным горизонталям в сечениях *III—III*, *IV—IV*, *V—V*, *VI—VI* и др. При выполнении этого этапа возможны изменения положения проектных горизонталей.

§ 17. Сопряжение проектной и естественной поверхностей

После решения вертикальной планировки элементов аэродрома необходимо выполнить сопряжение проектных поверхностей с примыкающими к ним участками естественной поверхности. Такая задача возникает при сопряжениях поверхностей БПБ, обочин перронов, спецплощадок и РД, расположенных вне пределов летных полос.

Сопряжения осуществляют с помощью переходных поверхностей-откосов. Для их устройства необходимо выполнить дополнительные объемы земляных работ, иногда довольно значительные. Объем земляных работ на сопряжениях зависит от принятой крутизны откоса: чем больше его крутизна, тем меньше объем земляных работ. С этой точки зрения желательно, чтобы крутизна откоса была максимальной. Однако при чрезмерно большой крутизне возможно оползание откосов. Максимально допускаемая крутизна откосов зависит от прочности грунтов, характеризуемых их сцеплением и коэффициентом внутреннего трения. На основе многолетней практики строительства СНиП II-Д.5-72 рекомендуют принимать крутизну откосов из глинистых грунтов для насыпей высотой до 6 м 1:1,5, высотой до 2 м 1:4 (исходя из удобства производства земляных работ).

При сопряжениях поверхности летной полосы с прилегающей естественной поверхностью необходимо соблюдать нормативные требования к высоте препятствий, определяемые условиями безопасности полетов. Для аэродромов высоких классов условная плоскость, исходящая от боковой границы рабочей части летной полосы, должна иметь восходящий уклон не более 1:10, а от границы КБП — не более 1:200. Руководствуясь этими требованиями, следует назначать и уклоны переходных поверхностей.

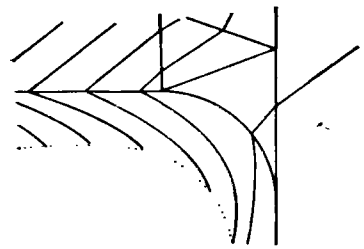


Рис. 53. Криволинейные горизонтали откосов

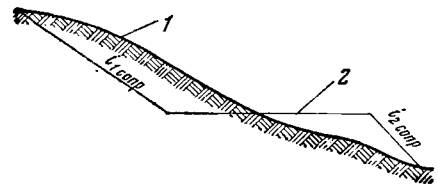


Рис. 54. Направление поверхностей откосов выемок и насыпей:
1 — естественная поверхность; *2* — проектная поверхность

Отметим некоторые особенности изображения горизонталей откосов. Грунтовые поверхности БПБ, обочин РД и перронов — сложные кривые поверхности, поэтому их горизонтали, а также горизонтали откосов также будут кривые (рис. 53).

Если сопрягаемая проектная поверхность представляет собой плоскость, то при постоянной крутизне откоса его поверхность тоже будет плоскостью, а горизонтали откоса — прямыми параллельными линиями, равно отстоящими друг от друга. При изменении продольного уклона проектной поверхности изменяется уклон откосной плоскости и направление ее горизонталей.

В выемках по мере удаления от границы проектной поверхности отметки горизонталей будут увеличиваться (уклон направлен вверх от проектной поверхности), а в насыпях — уменьшаться (уклон направлен вниз, рис. 54).

Для проектирования сопряжений обычно используют способ горизонталей. Рассмотрим приемы и последовательность проектирования сопряжений.

Например, имеется площадка *ABCD* с наведенными в пределах ее контура проектными горизонталями (рис. 55). Требуется осуществить сопряжение этой площадки с примыкающей поверхностью, рельеф которой изображен черными горизонталями. При проектировании сопряжений целесообразно придерживаться такой последовательности:

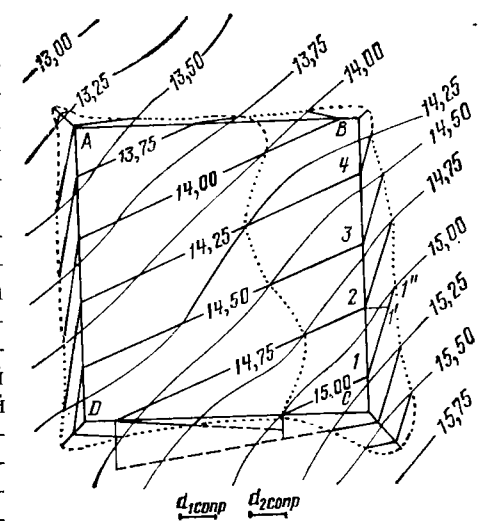


Рис. 55. Сопряжение проектной и естественной поверхностей

1. Внутри контура проектной поверхности проводят границы земляных работ (границы, разделяющие выемки и насыпи), проходящие через точки пересечения одноименных черных и проектных горизонталей. Это определит направление уклонов будущих поверхностей откосов. Возможны случаи планировки только в насыпи или в выемке. Тогда границы земляных работ не пересекут проектную поверхность.

2. Определяют минимально допустимое заложение горизонталей поверхностей откосов по формуле

$$d_{\text{сопр}} = \frac{h_{\text{гор}} \cdot 1000}{i_{\text{сопр}}\,\mu},$$

где $i_{\text{сопр}}$ — максимально допустимый поперечный уклон поверхности откоса; $h_{\text{гор}}$ — сечение горизонталей, м; μ — знаменатель масштаба.

Например, для $h_{\text{гор}}=0{,}25$, $i_{\text{сопр}}=0{,}100$ и $\mu=2000$

$$d_{\text{сопр}} = \frac{0{,}25 \cdot 1000}{0{,}100 \cdot 2000} = 1{,}25 \text{ мм}.$$

Следует иметь в виду, что уклоны поверхностей откосов выемок и насыпей могут быть различны.

3. Наводят проектные горизонтали на участках сопряжений. Точки *1*, *2*, *3*, *4* выхода проектных горизонталей на кромку площадки принадлежат и проектным горизонталям плоскости откосов на участке *BC* (участок выемки, см. рис. 55). Например, точка *1* принадлежит горизонтали 15,00, а точка *2* — горизонтали 14,75. Чтобы определить местоположение каждой проектной горизонтали, необходимо найти хотя бы еще одну принадлежащую ей точку. Например, дополнительную точку, принадлежащую горизонтали 15,00, можно найти следующим образом. Учитывая, что на участке имеется выемка, горизонталь 15,00 должна пройти правее точки *2* на расстоянии $d_{1\text{сопр}}$. Для выполнения этого условия от точки *2* отложим отрезок $d_{1\text{сопр}}$ по перпендикуляру к границе проектной поверхности. Полученная точка *1′* принадлежит горизонтали 15,00. Тогда проектная горизонталь 15,00 пойдет по прямой из точки *1* в направлении точки *1′* до пересечения с одноименной черной горизонталью в точке *1″*. Пересечение одноименных горизонталей может произойти раньше, чем проектная горизонталь достигнет точки *1′*. Таким же путем могут быть построены и другие горизонтали поверхностей откосов.

Рассмотрим некоторые особенности построения на угловых участках сопряжения. Например, около угла *A*, где имеется насыпь, для построения горизонталей 13,50 и 13,25 использовано то же правило: горизонтали каждой плоскости откоса должны быть параллельны ранее построенным горизонталям и расположены на расстоянии $d_{2\text{сопр}}$. Точка пересечения горизонталей двух смежных плоскостей будет лежать на прямой, исходящей из вершины угла. Положение этой прямой в плане зависит от соотношения продольных и поперечных уклонов пересекающихся плоскостей откосов. Когда эти уклоны равны, линия пересечения откосов будет биссектрисой угла, образованного границами проектной поверхности. Проектные горизонтали около угловых участков проводят до тех пор, пока плоскости откосов не достигнут естественной поверхности. Об этом можно судить по соотношению проектных и черных отметок. В углу *A* (см. рис. 55) построение закончено проектной горизонталью 13,25. Построение следующей горизонтали 13,00 дало бы выемку (откос врезается в естественную поверхность).

4. Проводят границы земляных работ на участках сопряжения. Эти границы будут переходить через пересечения одноименных черных и проектных горизонталей и замыкаться на ранее проведенную границу земляных работ внутри площадки (если она имеется).

Глава IV. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛАНИРОВКИ ИСКУССТВЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

§ 18. Требования к очертанию и высотному положению поверхности искусственных покрытий

В современных аэропортах взлет и посадка самолетов, их техническое обслуживание проводят только на участках с искусственным покрытием.

Учитывая роль, которую играют искусственные покрытия в наземном обеспечении авиации, их долговечность и сравнительно высокую стоимость, к очертанию их поверхности предъявляют более жесткие требования, чем к грунтовым поверхностям. Например, максимально допустимый продольный уклон грунтовых взлетно-посадочных полос (ГВПП) аэродромов высоких классов равен 0,020, а максимально допустимый продольный уклон взлетно-посадочных полос с искусственным покрытием (ИВПП) аэродромов этих же классов — 0,0125. Минимальные радиусы кривизны поверхности ГВПП и ИВПП аэродромов высоких классов соответственно равны 10^4 м и $3 \cdot 10^4$—$2 \cdot 10^4$ м.

Вторым, не менее важным фактором, который следует учитывать при вертикальной планировке искусственных покрытий, является водный режим основания и подстилающего грунта. При чрезмерном увлажнении подстилающего грунта грунтовыми водами или проникающими под покрытие поверхностными водами снижается его несущая способность. Проникающая под

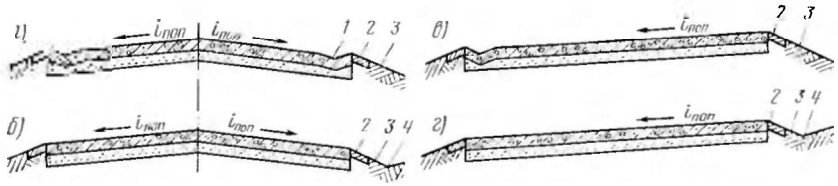


Рис. 56. Типы поперечных профилей искусственных покрытий:
а и *б* — двускатный; *в* и *г* — односкатный;
1 — открытый лоток в кромке покрытия; *2* — отмостка; *3* — обочина; *4* — грунтовой лоток

покрытие поверхностная вода может вымыть в отдельных местах основание, что вызовет преждевременный выход из строя искусственных покрытий. Кроме того, скопление воды в неровностях покрытия и ее замерзание резко снижают на этих участках сцепление колес с ИВПП, создавая опасность внезапных разворотов самолетов при пробеге. Чтобы исключить эти нежелательные явления, предусматривается ряд инженерных мероприятий, среди которых важное место занимает вертикальная планировка.

Прежде всего создают надежный водоотвод путем придания поверхности покрытия поперечных уклонов и устройства открытых лотков.

В практике проектирования используют два типа поперечных профилей искусственных покрытий: двускатный и односкатный (рис. 56).

Поверхностная вода стекает с покрытий в открытые лотки или на обочины, откуда по водоотводной системе (на рисунке не показана) транспортируется за пределы аэродрома.

Согласно «Указаниям по проектированию аэродромных покрытий» открытые лотки вдоль кромок искусственных покрытий устраивают лишь в зонах избыточного и переменного увлажнения при ширине покрытия более 40 м и наличии глинистых и пылеватых грунтов, склонных к пучению.

В других случаях поверхностную воду, стекающую с покрытий на обочины, по грунтовым лоткам, тальвежным колодцам и перепускам направляют в коллекторы. Ось грунтового лотка должна быть расположена от кромки покрытия ИВПП не ближе 25 м, от кромки покрытия РД — 15 м. Эти расстояния одновременно определяют и минимальную ширину обочин.

В зонах засушливой и недостаточного увлажнения, а также в других зонах при наличии хорошо фильтрующих грунтов не устраивают открытые и грунтовые лотки, тальвежные колодцы и коллекторы.

Наибольшее применение находит двускатный симметричный поперечный профиль. Благодаря меньшей длине склона (расстояние от гребня покрытия до лотка) при двускатном поперечном профиле создаются лучшие условия для отвода поверхностной воды с покрытия. Это позволяет несколько уменьшить величину поперечного уклона покрытия по сравнению с поперечным уклоном для односкатного профиля. Например, согласно нормам проектирования максимальный поперечный уклон покрытия двускатного профиля принимается равным 0,012, односкатного — 0,015, а минимальный поперечный уклон — 0,005. Симметричность поперечного профиля с одновременным уменьшением уклона создает благоприятные условия для выполнения взлетно-посадочных операций.

При небольших поперечных уклонах грунтовой поверхности двускатный симметричный профиль хорошо вписывается в окружающий рельеф (рис. 57,*а*). С увеличением поперечного уклона местности под низовой кромкой покрытия может потребоваться значительная насыпь. Она будет тем выше, чем больше поперечный уклон местности и ширина ИВПП. Уменьшить высоту насыпи можно путем устройства грунтового лотка с верховой стороны (рис. 57,*б*).

При поперечных уклонах местности, равных или больше принятого значения поперечного уклона покрытия, может оказаться целесообразным односкатный поперечный профиль (рис. 57,*в*). При значительных поперечных уклонах местности насыпь можно также снизить путем устройства грунтового лотка (рис. 57, *г*), соблюдая требуемое возвышение кромки покрытия над дном грунтового лотка.

При выборе типа поперечного профиля следует иметь в виду, что односкатный профиль допускается как исключение и с должным обоснованием. Имея в виду эксплуатационные недостатки односкатного поперечного профиля ИВПП, следует отдавать предпочтение двускатному профилю даже в тех случаях, когда это связано с некоторым увеличением объема земляных работ. Таким образом, выбор типа поперечного профиля ИВПП определяется в основном величиной поперечного уклона местности.

Следует избегать также изменения типа поперечного профиля ИВПП (переходить от двускатного к односкатному про-

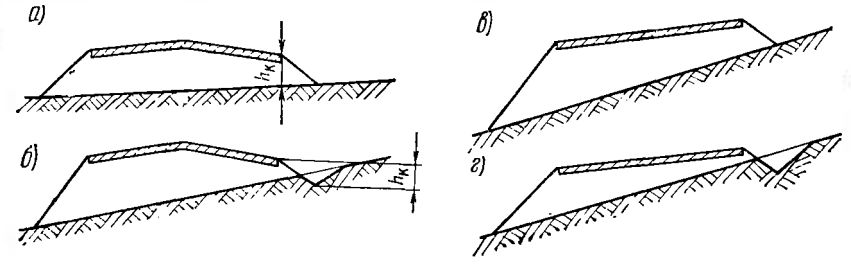


Рис. 57. Типы поперечного профиля ИВПП

филю или наоборот). Необходимость таких переходов должна быть обоснована технико-экономическими расчетами.

Несимметричный двускатный поперечный профиль ИВПП применяется лишь в исключительных случаях, например при трудности раскладки плит покрытия в поперечном направлении в соответствии с шириной захвата бетоноукладочной машины. Несимметричный двускатный поперечный профиль образуется также на участках перехода от симметричного двускатного профиля к односкатному и наоборот.

Менее жесткие требования к очертанию поверхности рулежных дорожек, их меньшая ширина по сравнению с ИВПП и благодаря этому лучшие условия для стока поверхностной воды позволяют проектировать поперечные профили РД как двускатными, так и односкатными. Рулежные дорожки, расположенные в пределах рабочей части летной полосы, через которые возможен разбег самолета при взлете или пробег при посадке, проектируются с поперечным уклоном, равным уклону грунтовой поверхности.

Минимальные продольные уклоны по оси покрытий ИВПП, РД, МС не ограничиваются (уклон может быть даже нулевым). Вместе с тем продольный уклон по оси лотков необходимо принимать равным не менее 0,0025. Практика показала, что при меньшем уклоне не обеспечивается надежный сток и создаются условия для заиливания лотков.

Поэтому поверхности покрытия по оси ИВПП желательно придавать уклон также не менее 0,0025. Если это сделать не удается, дну лотков придают уклоны, отличные от уклонов оси покрытия, т. е. создают так называемые пилообразные лотки.

Как указывалось выше, от водного режима грунтов оснований в значительной степени зависит прочность и долговечность покрытий. Выбором высотного положения поверхности аэродромных покрытий можно существенно улучшить водный режим грунтов оснований. Однако при решении этой задачи следует учитывать экономические соображения, так как от положения проектной поверхности зависит объем земляных работ на аэродроме и, следовательно, стоимость строительства.

При выборе высотного положения проектной поверхности аэродромных покрытий определяющим фактором является обеспечение их прочности и долговечности. Аэродромные покрытия должны быть надежно защищены от притока дождевых и талых вод. С этой целью нужно предусматривать возвышение кромки покрытия над грунтовой поверхностью (на рис. 56 величина $h_к$) и устройство обочин вдоль кромок покрытия. Из этих условий величину $h_к$ обычно принимают равной 0,3—0,5 м. По предложению А. В. Полякова величину $h_к$ можно назначать из предпосылки, чтобы корыто целиком устраивалось только в насыпи. При таком решении несколько увеличивается

объем земляных работ, но улучшается отвод воды из дренирующего основания.

При некоторых условиях не исключается устройство корыта в выемке. Это возможно, например, при естественных основаниях, сложенных из фильтрующих грунтов.

Высотное положение проектной поверхности зависит также от гидрогеологических условий участка и, в частности, от уровня грунтовых вод или длительной верховодки (табл. 3).

Таблица 3

Минимальное возвышение дна корыта над уровнем грунтовых вод

Вид грунта естественного основания	Дорожно-климатическая зона			
	II	III	IV	V
	Величина возвышения, м			
Пески среднезернистые	0,8	0,7	0,6	0,5
» мелкозернистые и супеси	1,3	0,9	0,9	0,8
Суглинки, пылеватые пески, пылеватые супеси и пылеватые суглинки	2,0	1,6	1,5	1,4
Тяжелые суглинки, глины	2,0	1,5	1,2	1,1

В районах устойчивой вечной мерзлоты наряду с водным режимом естественных грунтов под основанием искусственных покрытий следует учитывать их тепловой режим. С целью сохранения вечномерзлого грунта искусственные покрытия нужно проектировать, как правило, в насыпях, сохраняя верхний мохоторфяной слой. Насыпь должна включать термоизоляционный и дренирующий слои. Необходимая высота насыпи определяется теплотехническим расчетом в зависимости от принципа (принципы IA, IB и II) использования грунтов в качестве естественных оснований покрытий [6].

На просадочных грунтах покрытия следует устраивать, как правило, также в насыпи; превышение кромки покрытия над естественной поверхностью грунта в этом случае должно быть не менее 0,5 м [6].

§ 19. Особенности проектирования поверхности искусственных покрытий

Используемые в практике проектирования методы расчета искусственных покрытий учитывают большое число факторов, оказывающих влияние на их прочность и устойчивость. Поэтому для обеспечения надежности работы покрытий под нагрузками допустимы лишь незначительные отклонения их толщины в сторону уменьшения. Нежелательным также является отклонение от проектной толщины в сторону увеличения ввиду сравнительно большой стоимости материалов покрытий. Таким образом, необходимо с определенной точностью выдерживать

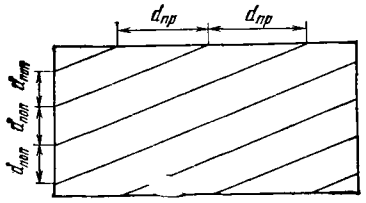


Рис. 58. Участок искусственного покрытия с постоянными продольным и поперечным уклонами

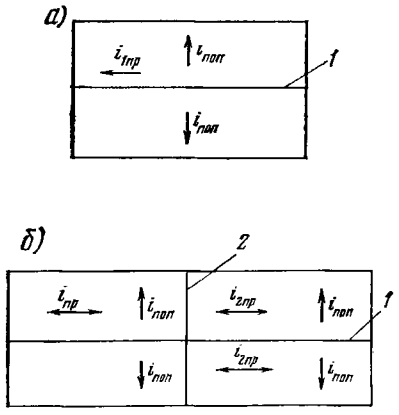


Рис. 59. Размещение плоскостей, образующих поверхность двускатного поперечного профиля ($i_{1пр} \neq i_{2пр}$):
1 — гребень; *2* — поперечник

принятую по расчету толщину конструктивных слоев искусственных покрытий. Это может быть выполнено при обеспечении требуемой точности выноса проектных отметок в натуру и контроле качества выполнения и приемки работ по устройству покрытия.

Последнее позволяет также создавать более ровную поверхность, что важно для обеспечения благоприятных условий движения самолета по покрытию. С этой целью поверхность искусственного покрытия проектируется в виде системы сопрягаемых между собой плоскостей. Только при этом условии можно достигнуть требуемой точности выдерживания принятой толщины покрытий и высоко механизировать процессы их укладки.

Такое проектирование покрытий вносит ряд особенностей как в изображение самой поверхности горизонталями и отметками, так и в технику проектирования.

Горизонтали поверхности покрытия в пределах каждой плоскости изображаются параллельными прямыми, отстоящими на равных расстояниях друг от друга. Это обусловлено тем, что в пределах плоскости продольный и поперечный уклоны остаются неизменными, следовательно, остаются неизменными соответствующие им заложения $d_{пр}$ и $d_{поп}$ (рис. 58).

Если имеется участок двускатного симметричного поперечного профиля с постоянными продольными и поперечными уклонами, поверхность покрытия образуется двумя плоскостями, пересекающимися по линии, совпадающей с осью покрытия — гребнем (рис. 59, *а*).

Для изменения продольного уклона покрытия необходимо повернуть эти плоскости около прямой, перпендикулярной к его оси. Отрезок этой прямой в пределах плоскости покрытия называют *поперечником*. Таким образом, введением поперечника можно изменить только продольный уклон. Поперечные

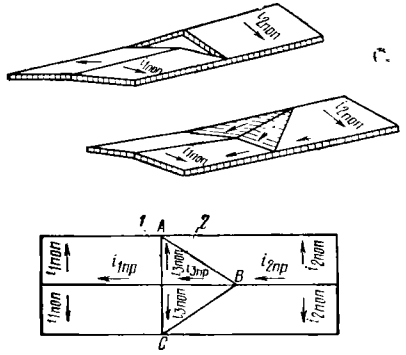


Рис. 60. Сопряжение участков поверхности двускатного поперечного профиля, имеющих различные поперечные уклоны ($i_{1поп} = i_{3поп} \neq i_{2поп}$; $i_{1поп} \neq i_{3пр}$):
1 — поперечник; *2* — диагональ

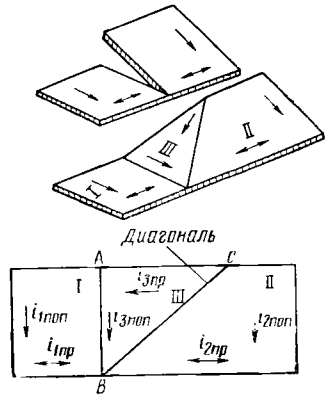


Рис. 61. Сопряжение участков поверхности односкатного поперечного профиля, имеющих различные поперечные уклоны ($i_{1поп} = i_{3поп} \neq i_{2поп}$; $i_{1пр} \neq i_{3пр}$)

уклоны сопрягаемых плоскостей останутся при этом неизменными.

Участок покрытия с двускатным поперечным профилем и измененным продольным уклоном в плане будет иметь вид, изображенный на рис. 59,*б* (пересечения плоскостей показаны прямыми линиями). В этом случае поверхность покрытия будет образована четырьмя плоскостями.

Для сопряжения участков покрытия, имеющих различные поперечные уклоны, требуются одна или несколько заполняющих плоскостей (рис. 60 и 61). Из приведенных примеров видно, что, кроме поперечников, появляются дополнительные прямые линии перелома плоскостей, расположенные в плане под некоторым углом к оси покрытия (линия *AB* и *BC*). Отрезки этих прямых в пределах покрытия принято называть *диагоналями*. Таким образом, наличие хотя бы одной диагонали говорит об изменении поперечного уклона.

В частном случае поперечника может и не быть. Чтобы убедиться в этом, повернем заполняющую плоскость *III* (см. рис. 61) вместе с плоскостью *II* относительно прямой *AB* так, чтобы продольные уклоны плоскостей *I* и *III* стали равными. Тогда поперечник *AB* исчезнет, останется только диагональ *BC* (рис. 62). Отсюда также следует, что при наличии только одной диагонали продольные уклоны плоскостей *I* и *II* обязательно будут различными. Итак, при повороте плоскости относительно диагонали одновременно изменяются поперечный и продольный уклоны. Если задаться поперечным уклоном плоскости *II*, ее продольный уклон в каждом конкретном случае

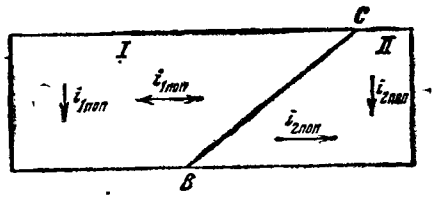


Рис. 62. Размещение плоскостей поверхности искусственных покрытий, имеющих различные поперечные уклоны ($i_{1поп} \neq i_{2поп}$; $i_{1поп} \neq i_{2поп}$)

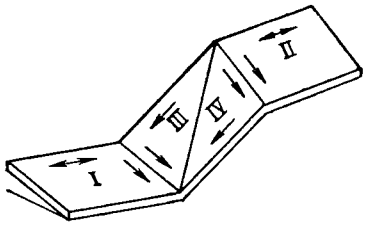
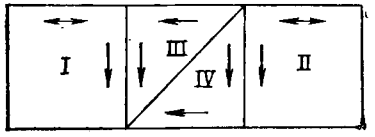


Рис. 63. Сопряжение плоскостей поверхности искусственных покрытий, не имеющих общих точек



будет вполне определенным. Когда по местным условиям возникает необходимость придать поверхности покрытия другой продольный уклон, нужно дополнительно к диагонали ввести поперечник. Поперечник можно располагать с той или другой стороны заполняющей плоскости.

При решении задач, связанных с проектированием поверхности искусственных покрытий, возможны случаи, когда сопрягаемые плоскости не имеют общих точек. Для сопряжения этих плоскостей в общем случае необходимо не менее двух заполняющих плоскостей (на рис. 63 плоскости *III* и *IV*) и введение поперечников и диагонали. Из двух возможных положений диагонали следует выбирать то, которому соответствуют меньшие изломы поверхности покрытия.

§ 20. Построение поверхности искусственных покрытий

Положение проектной поверхности покрытия в пространстве в пределах каждой плоскости однозначно определяется отметками и горизонталями, если заданы: не менее двух горизонталей; не менее трех отметок точек плоскости; хотя бы одна горизонталь и одна отметка точки, расположенной вне горизонтали.

В практике проектирования поверхности аэродромных покрытий используются все три способа задания положения плоскости в пространстве, а именно: горизонталями; отметками; горизонталями и отметками.

Рассмотрим характерные задачи на вычисление отметок и построение горизонталей поверхности покрытия, отличающиеся способом задания проектных плоскостей.

Задача 1. Положение участка поверхности искусственного покрытия задано двумя или более горизонталями (рис. 64). Заданы горизонтали 52, 50 и 52, 25. Из условия задачи следует, что заложения $d_{пр}$ и $d_{поп}$, соответствующие продольному и поперечному уклонам плоскости, также известны. Тогда горизонталь 52,00 должна пройти через точки A и B, которые определяются так, как показано на рисунке.

Последующие горизонтали строят аналогичным образом. Для построения достаточно наметить точки *1, 2* и т. д. и провести через них прямые, параллельные заданным горизонталям.

Задача 2. Положение участка проектной поверхности покрытия в пространстве задано отметкой точки H_A и двумя уклонами $i_{пр}$ и $i_{поп}$ (рис. 65). Требуется определить отметки угловых точек участка и построить горизонтали.

Если задана отметка H_A, то отметку любой точки (например, H_B), которая лежит на прямой, совпадающей с направлением уклона $i_{пр}$, можно определить по формуле

$$H_B = H_A + l_{AB} i_{пр},$$

где l_{AB} — расстояние между точками с отметками H_A и H_B.

Таким же образом можно определить отметку H_C:

$$H_C = H_A - l_{AC} i_{поп}.$$

Отметки трех точек определяют положение плоскости в пространстве.

Например, задано: отметка H_A=52,38; продольный уклон $i_{пр}$=0,0006; поперечный уклон $i_{поп}$=0,01; сечение горизонтали $h_{гор}$=0,25 м; знаменатель масштаба μ=2000; l_{AB}=160 м; l_{AC}=30 м.

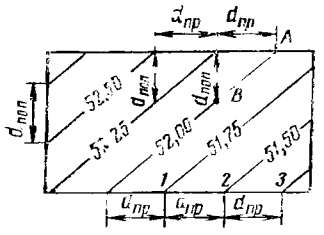


Рис. 64. Построение горизонталей участка поверхности искусственных покрытий по двум горизонталям

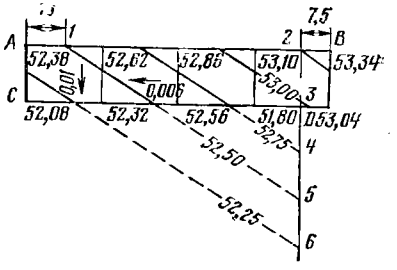


Рис. 65. Построение горизонталей и вычисление отметок поверхности покрытий по одной отметке и двум уклонам

Определим отметки вершин заданного прямоугольника:

$$H_B = 52{,}38 + 160 \cdot 0{,}006 = 53{,}34;$$

$$H_C = 52{,}38 - 30 \cdot 0{,}01 = 52{,}08;$$

$$H_D = 53{,}34 - 30 \cdot 0{,}01 = 53{,}04.$$

Для построения горизонталей найдем местоположение точки *1*, принадлежащей горизонтали 52,50. Расстояние искомой точки *1* с отметкой 52,50 от точки с отметкой $H_A = 52{,}38$ определим из соотношения $H_1 = H_A + l_{A1} i_{пр}$,

$$\text{откуда } l_{A1} = \frac{(H_1 - H_A) \cdot 10^3}{\mu\, i_{пр}} = \frac{(52{,}50 - 52{,}38)\, 10^3}{2 \cdot 10^3 \cdot 0{,}006} = 10 \text{ мм}.$$

Таким же путем определим расстояние точки *2*, принадлежащей горизонтали 53,25, от точки с отметкой $H_B = 53{,}34$:

$$l_{B2} = \frac{(H_B - H_2)\, 10^3}{\mu\, i_{пр}} = \frac{(53{,}34 - 53{,}25)}{2 \cdot 10^3 \cdot 0{,}006} = 7{,}5 \text{ мм}.$$

Далее определим заложение горизонталей, соответствующее поперечному уклону $i_{поп} = 0{,}01$:

$$d_{поп} = \frac{h_{гор} \cdot 10^3}{\mu\, i_{поп}} = \frac{0{,}25 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^3 \cdot 0{,}01} = 12{,}5 \text{ мм}.$$

Проведем через точку *2* вспомогательный поперечник и отложим на нем вниз отрезки длиной 12,5 мм. Этим приемом условно расширяется поверхность покрытия в нужном нам направлении. Тогда через точку *3* должна проходить горизонталь 53,00, через точку *4* — горизонталь 52,75 и т. д. В пределах участка поверхности покрытия отметка младшей горизонтали равна 52,25. Поэтому на поперечнике необходимо отложить вниз от точки *2* четыре отрезка. Соединив точки *1* и *6*, имеющие одинаковые отметки, получим горизонталь 52,25. Другие горизонтали будут параллельны горизонтали 52,25 и проходить через соответствующие точки, как показано на рис. 65.

Поверхность покрытия в пределах одной плоскости может быть задана также: только отметками трех или более фиксированных точек, не лежащих на одной прямой; отметками двух точек и уклоном, одной горизонталью и одним уклоном.

Все эти задачи в конечном счете могут быть сведены к двум рассмотренным выше. Поверхность покрытий элементов аэродрома (ИВПП, РД и др.) в целом образуется системой пересекающихся плоскостей, поэтому при решении последующих

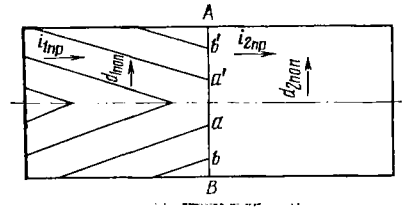


Рис. 66. Сопряжение участков поверхности двускатного поперечного профиля с различными продольными уклонами одного направления ($i_{1пр} \neq i_{2пр}$; $i_{1поп} = i_{2поп}$)

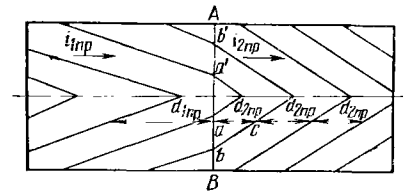
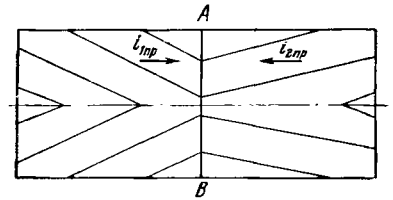


Рис. 67. Сопряжение участков поверхности двускатного поперечного профиля с продольными уклонами различного направления ($i_{1пр} \neq i_{2пр}$; $i_{1поп} = i_{2поп}$)



задач будем исходить из того, что горизонтали одной плоскости, принадлежащей поверхности покрытия, уже построены, заданы границы смежной плоскости, уклоны или отметки.

Задача 3. Осуществить сопряжение плоскостей, имеющих различные продольные ($i_{1пр} \neq i_{2пр}$) и одинаковые поперечные уклоны ($i_{1поп} = i_{2поп}$). Ранее было установлено, что когда поперечный уклон остается неизменным, линией сопряжения будет поперечник.

Пусть дан участок двускатного покрытия (рис. 66), продольные уклоны которого характеризуются заложениями $d_{1пр}$ и $d_{2пр}$ ($d_{1пр} \neq d_{2пр}$).

Для построения горизонталей на заданном участке отложим в продольном направлении от одной из точек выхода горизонталей (например, от точки *a*) на поперечник заложение $d_{2пр}$. Соединив точки *b* и *c*, получим очертание горизонтали сопрягаемой плоскости. Остальные горизонтали на сопрягаемом участке строятся весьма просто.

Если на поперечнике *AB* продольный уклон меняется на обратный, то для построения горизонталей используются те же приемы, а решение будет иметь вид, показанный на рис. 67.

При решении задачи могут возникнуть трудности, если горизонтали не имеют выхода на поперечник. Тогда можно условно продолжить сопрягаемые плоскости и выполнить аналогичные построения, проводя линии горизонталей в пределах границ покрытий (рис. 68).

Задача 4. Осуществить сопряжение плоскостей, имеющих различные поперечные уклоны. Заданы уклоны участков покрытия $i_{1пр}$, $i_{1поп}$ и $i_{2поп}$ (рис. 69), характеризуемые заложениями $d_{1пр}$, $d_{1поп}$ и $d_{2поп}$ ($d_{1поп} \neq d_{2поп}$), и линия сопряжения — диагональ *AB*.

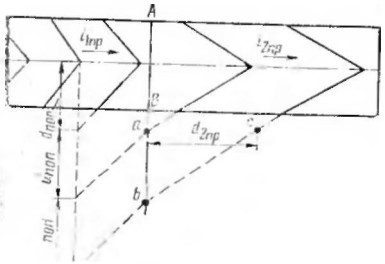


Рис. 68. Сопряжение участков поверхности искусственных покрытий для случая, когда горизонтали не имеют точек на поперечнике ($i_{1пр} \neq i_{2пр}$; $i_{1поп} = i_{2поп}$)

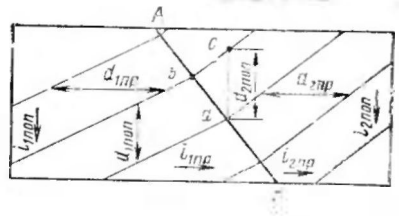


Рис. 69. Сопряжение участков поверхности искусственных покрытий, имеющих различные поперечные уклоны ($i_{1поп} \neq i_{2поп}$; $i_{1пр} \neq i_{2пр}$)

Напомним, что при поворотах плоскости относительно диагонали одновременно изменяются поперечный и продольный уклоны.

Отложим от одной из точек на диагонали AB (например, от точки a) заданное заложение $d_{2поп}$. Соединив полученную таким путем точку c с точкой b, получим горизонталь сопрягаемой плоскости. Теперь нетрудно построить и другие горизонтали этой плоскости. Следовательно, продольные уклоны сопрягаемых плоскостей в этом случае будут различны ($i_{1пр} \neq i_{2пр}$).

На рис. 70 показано решение задачи, когда на диагональ AB выходит только одна горизонталь. В этом случае можно условно продолжить сопрягаемые плоскости и диагональ, построить горизонталь за пределами покрытия (показан пунктиром), а затем провести из точки a линию, параллельную этой горизонтали.

Задача 5. Построить горизонтали на участке перехода двускатного симметричного профиля ИВПП в односкатный при

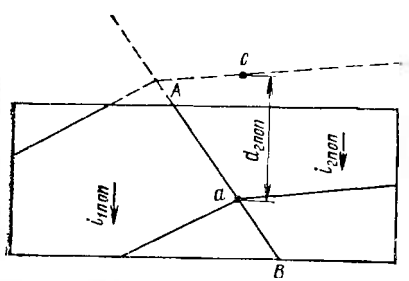


Рис. 70. Сопряжение участков поверхности для случая, когда на диагональ выходит одна горизонталь ($i_{1поп} \neq i_{2поп}$)

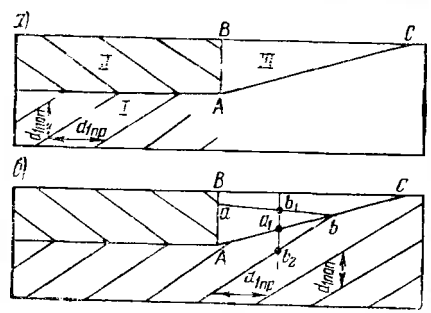


Рис. 71. Построение горизонталей на участке перехода от двускатного к односкатному поперечному профилю

условии сохранения продольного уклона по оси ИВПП. Заданы положение гребня и горизонталей на участке симметричного двускатного профиля, положение поперечника AB (рис. 71,*а*) и гребня AC на участке перехода. В результате образуются три плоскости *I*, *II*, *III*.

Так как по заданию поперечный и продольный уклоны по оси ИВПП остаются неизменными, то горизонтали плоскости *I* будут параллельны и расположены на одинаковых расстояниях ($d_{1поп}$ и $d_{1пр}$), соответствующих заданным продольному и поперечному уклонам (рис. 71, *б*). Поперечные уклоны плоскостей *II* и *III* будут одинаковы, а продольные различны. Этим объясняется наличие поперечника AB. Горизонтали плоскости *III* можно получить, если соединить точки выхода одноименных горизонталей на поперечник AB и гребень AC (например, точка a и b). Остальные горизонтали будут параллельны построенным.

Горизонтали плоскости *III* можно построить другим путем. Поскольку поперечные уклоны плоскостей *I* и *III* одинаковы, то их горизонтали будут расположены симметрично относительно гребня AC. Следовательно, в любом сечении, совпадающем с направлением поперечного уклона (в примере на рис. 71—перпендикулярно оси ИВПП), расстояния в плане от гребня до одноименных горизонталей будут одинаковы ($a_1b_1 = a_1b_2$). Это свойство горизонталей можно использовать при их построении на участках двускатного профиля с одинаковыми поперечными уклонами скатов.

Следует отметить, что при переходе с двускатного профиля на односкатный или наоборот неизбежно образуется излом поверхности покрытия в продольном профиле (в рассмотренном примере излом образуется на поперечнике AB). Величину этого излома можно определить следующим образом.

Пусть направления продольных и поперечных уклонов будут такими, как показано на рис. 72. Отметка точки A считается заданной. Определим уклон $i_{пр}$ по кромке покрытия BC.

Отметка точки C $H_C = H_A \pm l_{AB} i_{пр} + b i_{поп}$; точки B $H_B = H_A - b i_{поп}$.

Знак «+» или «—» при определении отметки точки ставится в зависимости от направления продольного уклона.

Превышение точки C над точкой B:

$$\Delta H_{CB} = H_C - H_B = \pm l_{BC} i_{пр} + 2b i_{поп}.$$

Продольный уклон $i'_{пр}$ плоскости *III*:

$$i'_{пр} = \frac{\Delta H_{CB}}{l_{BC}} = \pm i_{пр} + \frac{2b i_{поп}}{l_{BC}}. \qquad (20)$$

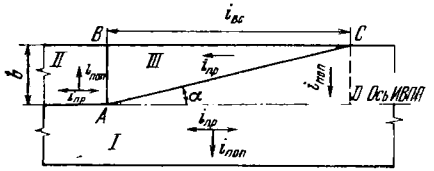


Рис. 72. Размещение плоскостей на участке перехода от двускатного к односкатному поперечному профилю

Из выражения (20) следует, что продольный уклон плоскости *III* отличается от продольного уклона плоскости *II* на величину

$$\Delta i = \frac{2b\, i_{поп}}{l_{BC}}. \qquad (21)$$

Знак «+» или «—» в формуле (20) означает, что в зависимости от направления продольного уклона ИВПП уклон плоскости *III* может быть больше или меньше этого уклона.

Заменим величину l_{BC} в формуле (21) выражением

$$l_{BC} = \frac{b}{\operatorname{tg}\alpha},$$

где α — угол наклона гребня AC к оси ИВПП.

Тогда $$\Delta i = 2i_{поп} \operatorname{tg}\alpha. \qquad (22)$$

Таким образом, величина излома поверхности покрытия в продольном профиле на поперечнике AB прямо пропорциональна величине поперечного уклона и тангенсу угла наклона косого гребня AC к оси покрытия.

Так как величина излома поверхности покрытия в продольном профиле ограничивается нормами, то ее следует контролировать при проектировании. При заданном поперечном уклоне поверхности величину излома можно регулировать величиной угла наклона α, как это следует из выражения (22). Чем больше угол α, тем больше излом поверхности.

Однако уменьшение угла α влечет за собой увеличение длины переходного участка, что нежелательно с точки зрения производства работ по строительству покрытий. Таким образом, углу α целесообразно придавать предельно допустимое или несколько меньшее значение.

Пример. Дано: $i_{поп}=0{,}010$; минимально допустимый радиус кривизны поверхности покрытия в продольном направлении $R_{min}=10^4$ м.

Допустимая величина излома поверхности покрытия $\Delta i_{max}=\frac{a}{R_{min}}=\frac{40}{10^4}=0{,}004$.

Из формулы (22) следует, что

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\Delta i_{max}}{2i_{поп}} = \frac{0{,}004}{2\cdot 0{,}01} = 0{,}20 \text{ или } CD : AD = 1 : 5.$$

С повышением требований к кривизне поверхности угол наклона косого гребня уменьшается, а длина переходного участка увеличивается.

Так, при $\Delta i_{max}=0{,}002$ (для ИВПП аэродромов класса Б) и $i_{поп}=0{,}012$ $\operatorname{tg}\alpha=0{,}083$ (1 : 12), а длина переходного участка

$$l_{BC}=\frac{22{,}5}{0{,}083}\approx 270 \text{ м}.$$

При $\Delta i_{max}=0{,}0013$, ширине ИВПП, равной 60 м (аэродром класса А), и $i_{поп}=0{,}012$ $\operatorname{tg}\alpha=0{,}054$ (1 : 19), а длина переходного участка будет равна 560 м.

Таким образом, переход с двускатного к односкатному поперечному профилю (или наоборот) ухудшает эксплуатационные качества ИВПП и требует устройства переходных участков значительной протяженности. Это делает нецелесообразным изменение типа поперечного профиля ИВПП, особенно на аэродромах высоких классов.

§ 21. Проектирование поверхности покрытий методом числовых отметок и вертикальных профилей

Для получения поверхности, удовлетворяющей эксплуатационным и экономическим требованиям, проектирование осуществляется в несколько этапов. Это позволяет проводить в процессе проектирования корректировку решения при переходе от этапа к этапу. В целях получения лучшего решения не исключается повторение некоторых этапов проектирования. Для осуществления проектирования необходимо наличие исходных данных, указанных в § 5.

Рассмотрим этапы проектирования поверхности ИВПП методом числовых отметок и вертикальных профилей на стадии рабочих чертежей.

На первом этапе предварительно намечают высотное положение поверхности ИВПП. С этой целью строят продольный профиль естественной поверхности по оси ИВПП, включая КПБ и прилегающие к ним участки местности, и продольный профиль проектной поверхности. Для построения продольного профиля используют черные отметки, имеющиеся на плане топографической съемки. Горизонтальный масштаб продольного профиля принимают равным масштабу плана топографической съемки. Вертикальный масштаб выбирают из условия нагляд-

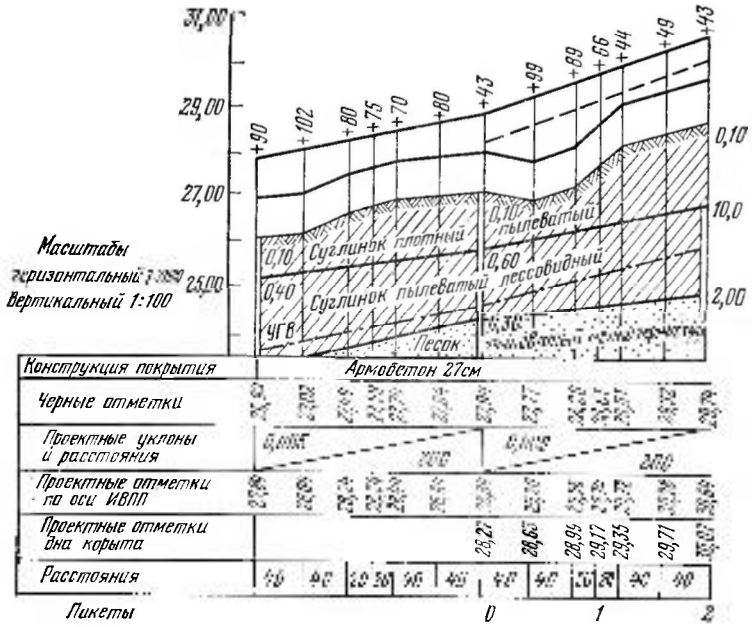


Рис. 73. Продольный профиль по оси ИВПП

ности изображения рельефа. Обычно используют масштабы: горизонтальный 1 : 2000 и вертикальный 1 : 100—1 : 50.

На продольном профиле (рис. 73), кроме того, отражают грунтовые условия участка и уровень грунтовой воды (в том числе верховодки).

В целях наглядности для изображения грунтов может быть принят более крупный вертикальный масштаб, например 1:50.

При нанесении проектной линии ИВПП на продольный профиль необходимо руководствоваться следующими положениями:

1. Изломы проектной линии совмещают с основными изломами естественной поверхности. Изломы проектной линии с изменением направления уклона на обратное допускаются только на основных водоразделах и тальвегах. Число изломов должно быть минимальным (на ИВПП аэродромов высших классов их следует избегать).

2. Длину участков с максимально допустимым продольным уклоном рекомендуется ограничивать 300 м.

3. Для отвода поверхностной воды дну открытых лотков рекомендуется придавать продольный уклон не менее 0,0025, так как при меньших уклонах ИВПП устраиваются открытые лотки пилообразного профиля, что усложняет устройство покрытий и системы водоотвода.

Уклоны, меньшие 0,0025 (в том числе и нулевые уклоны), допускаются лишь с целью смягчения изломов продольного профиля на участках ИВПП, где продольный уклон меняется на обратный. На других участках продольные уклоны ИВПП, меньшие 0,0025, допускаются лишь при достаточном технико-экономическом обосновании.

4. Изломы проектной линии в продольном профиле должны быть меньше или равны максимальным, допускаемым нормами. В связи с трудностями выполнения этого условия при построении проектной поверхности необходимо использовать некоторые приемы для смягчения изломов. Например, минимально допустимому радиусу кривизны поверхности ИВПП для аэродрома класса $А$ $R_{min}=30\cdot10^3$ м соответствует максимально допустимый излом, равный 0,0013. Если направление уклона меняется на обратное, то даже при минимальных с точки зрения водоотвода уклонах ИВПП, равных 0,0025, величина излома достигает 0,005, что значительно превышает норму. Смягчение излома до нормативной величины можно осуществить с помощью переходных отрезков, равных по длине минимальному шагу проектирования (рис. 74).

5. Все изломы проектной линии необходимо совмещать с линиями сетки квадратов или пикетами; значения продольных уклонов принимать кратными 0,0005 (например, 0,00025; 0,003; 0,0035 и т. д.).

6. Следует стремиться к примерному равенству объемов насыпей и выемок в пределах ИВПП. Это в значительной степени предопределяет баланс земляных работ на аэродроме в целом. Чрезмерная разница в объемах насыпей и выемок требует дополнительного перемещения значительных масс грунта.

Превышение объема выемок над объемом насыпей в пределах аэродрома может оказаться целесообразным, когда требуется подсыпка участков служебно-технической территории или возведение насыпей на объектах УВД, радионавигации и посадки (например, возведение насыпей для установки антенн обзорных радиолокаторов).

При реконструкции аэродрома (удлинение существующих или строительство новых летных полос, расширение перронов и МС) возникают трудности в назначении мест для отсыпки излишнего грунта или закладки резервов. В этом случае следует стремиться к балансу земляных работ в пределах реконструируемого элемента аэродрома.

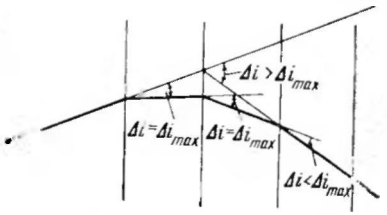


Рис. 74. Изменение уклонов ИВПП на участке с недопустимым изломом поверхности

7. Следует строго соблюдать требования к высотному положению дна корыта с учетом грун-

товых, гидрогеологических и климатических условий участка строительства.

Должны быть выполнены требования к видимости на ИВПП и перед антенной курсового радиомаяка.

Полученная на первом этапе проектная линия не дает необходимого представления о положении проектной поверхности относительно естественной поверхности в направлении, перпендикулярном оси ИВПП. Кроме того, остался пока нерешенным вопрос о поперечном профиле ИВПП.

На *втором этапе* для решения этих вопросов и уточнения положения проектной линии продольный профиль ИВПП дополняется системой поперечных профилей, которые бывают необходимы и как рабочие чертежи при строительстве.

Поперечные профили (рис. 75) должны вычерчиваться в таком количестве, чтобы полнее характеризовалось положение проектной поверхности ИВПП относительно грунтовой. Их нужно вычерчивать для участков, где меняется естественный рельеф, и между изломами проектной линии — на участках насыпей и выемок. Поперечные профили позволяют выявить условия на кромках покрытия и местах его сопряжения с прилегающей грунтовой частью аэродрома, а также решить вопрос о выборе поперечного профиля ИВПП.

Согласно нормативным требованиям аэродромные покрытия сопрягают с прилегающей грунтовой поверхностью грунтовыми обочинами шириной не менее 25 м для ИВПП и 15 м для РД с уклоном в сторону от покрытия, величина которого назначается в пределах 0,015—0,025.

Когда из-за недостаточного возвышения кромки покрытия обочины заглубляются ниже прилегающей поверхности, образуется грунтовой лоток (см. рис. 75). Все это отражается на поперечном профиле покрытия. Поперечные профили позволяют проконтролировать размещение дна корыта относительно грунтовой поверхности после того, как будет осуществлено сопряжение покрытия с прилегающей местностью. При необходимости высотное положение проектной поверхности может быть изменено.

Поперечные профили помещают над продольным профилем ИВПП на соответствующих пикетах или вычерчивают отдельно.

В результате описанных выше действий будет получено окончательное высотное положение и очертание проектной поверхности. После этого может быть окончательно оформлен продольный профиль по оси ИВПП с продолжением его на концевые полосы безопасности. Для этого уточняют проектные отметки верха покрытия по оси ИВПП.

Проектные отметки дна корыта (рис. 76) в любой точке поперечного профиля между внутренними кромками лотков вычисляют как разность между проектной отметкой верха покры-

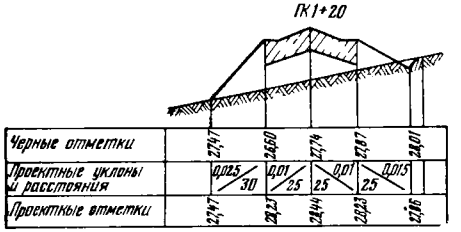


Рис. 75. Поперечный профиль ИВПП

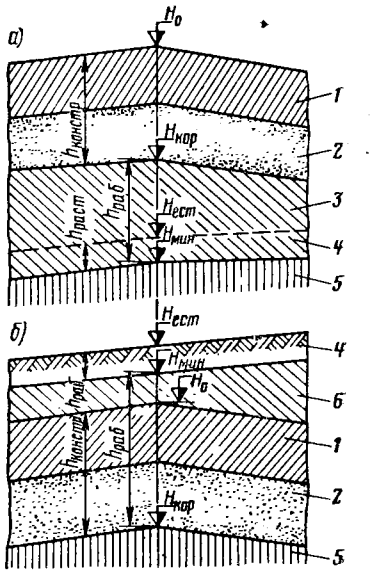


Рис. 76. Проектные и рабочие отметки дна корыта:

1 покрытие; *2* — искусственное основание; *3* — насыпной минеральный грунт; *4* — удаляемый растительный грунт; *5* минеральный подстилающий грунт; *6* — удаляемый минеральный грунт

тия и его толщиной (собственно покрытие + искусственное основание). В частности, проектные отметки дна корыта по оси ИВПП определяются из выражения $H_{кор}=H_0-h_{констр}$.

На продольном профиле непосредственно у проектной линии надписываются в сантиметрах рабочие отметки по оси ИВПП, отнесенные ко дну корыта. Если корыто устраивают в насыпи, рабочую отметку пишут выше проектной линии со знаком «+», в выемке — ниже проектной линии со знаком «—».

При вычислении рабочих отметок необходимо учитывать, что в местах устройства покрытий растительный грунт снимают полностью или частично и отвозят на грунтовые участки летной полосы в соответствии со схемой перемещения грунта.

Рабочая отметка дна корыта по оси ИВПП в насыпи (рис. 76,*а*) или выемке (рис. 76,*б*) определяется следующим образом:

$$h_{раб}=H_{кор}-H_{мин}=H_{кор}-(H_{ест}-h_{раст})=(H_{кор}-H_{ест})+h_{раст}.$$

Для насыпи разность отметок, стоящая в скобках, является величиной положительной ($H_{кор}>H_{ест}$), для выемки — отрицательной. Следовательно, чтобы вычислить рабочую отметку дна корыта, нужно абсолютную величину его рабочей отметки относительно естественной поверхности в случае насыпи уве-

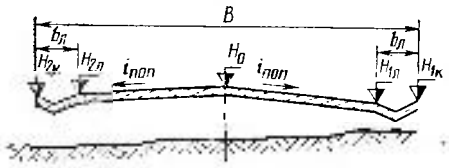


Рис. 77. Проектные отметки поверхности покрытия двускатного поперечного профиля

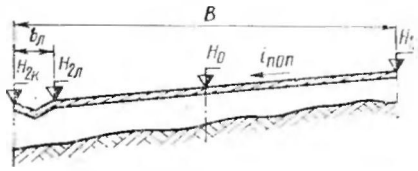


Рис. 78. Проектные отметки поверхности покрытия односкатного поперечного профиля

личить на толщину растительного слоя, а в случае выемки уменьшить на ту же величину.

На КПБ рабочие отметки вычисляют как разность между проектной отметкой грунтовой поверхности и ее естественной поверхностью, т. е. без учета растительного слоя. После вычисления рабочих отметок по оси ИВПП оформление продольного профиля может быть закончено.

Для полного представления о положении проектной поверхности покрытия должны быть вычислены проектные и рабочие отметки кромки покрытия.

Полагая известными отметки верха покрытия по оси ИВПП, отметки кромок покрытия и бровок лотков можно определить по формулам:

для двускатного поперечного профиля (рис. 77)

$$H_{1к} = H_{1л} = H_{2к} = H_{2л} = H_0 - \left(\frac{B}{2} - b_л\right) i_{поп};$$

для односкатного поперечного профиля (рис. 78)

$$H_{1к} = H_0 + \frac{B}{2} i_{поп}; \quad H_{2к} = H_{2л} = H_0 - \left(\frac{B}{2} - b_л\right) i_{поп}.$$

Вычисление проектных отметок дна корыта под кромками покрытий имеет некоторые особенности. Нужно учитывать, что дно корыта в пределах лотка непараллельно поверхности покрытия.

Имеет особенности и вычисление рабочих отметок под кромкой покрытия. Здесь следует различать две рабочие отметки (рис. 79):

рабочую отметку дна корыта, вычисляемую относительно поверхности минерального грунта:

$$h_{1кор} = H_{1кор} - H_{1мин} = H_{1кор} - H_{1ест} + h_{раст};$$

рабочую отметку на сопряжении кромки покрытия с прилегающей грунтовой поверхностью, вычисляемую без учета предварительно снимаемого слоя растительного грунта:

$$h_{1конр} = H_{1кр} - H_{1ест}.$$

Положительное или отрицательное значение рабочей отметки дна корыта под кромкой покрытия указывает на размещение корыта соответственно в насыпи или в выемке.

Все вычисленные проектные и рабочие отметки вписывают на план вертикальной планировки, что дает необходимый исходный материал для выполнения третьего этапа проектирования рассматриваемым методом.

На *третьем этапе* строят горизонтали поверхности покрытия ИВПП, сопрягая ее с прилегающей грунтовой поверхностью.

Горизонтали в этом методе играют вспомогательную роль, позволяя наглядно представить поверхность ИВПП на всем ее протяжении, и служат одновременно контролем правильности вычисления отметок поверхности. Построение горизонталей поверхности ИВПП производится по правилам, изложенным в § 20.

Следует учитывать некоторые особенности построения горизонталей в пределах открытых лотков. Лотки имеют вогнутый двускатный симметричный профиль, поэтому их горизонтали направлены своим острием против продольного уклона в отличие от горизонталей поверхности ИВПП, которые направлены острием в направлении продольного уклона.

Точки выхода горизонталей на внутреннюю бровку лотка (рис. 80, точки *1* и *2*) принимаются в качестве исходных для построения горизонталей лотка. При переходе через внутреннюю бровку лотка горизонтали ломаются, так как поперечный уклон ската лотка больше, чем поперечный уклон ската ИВПП.

Точка 1″, принадлежащая горизонтали лотка, определяется в зависимости от продольного уклона и глубины лотка:

$$x_л = \frac{h_л}{i_л}.$$

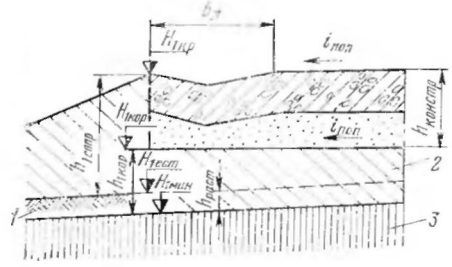


Рис. 79. Рабочие отметки дна корыта под кромками покрытий:
1 — растительный слой; *2* — насыпной грунт; *3* — подстилающий естественный грунт

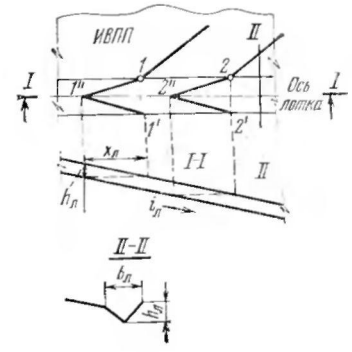


Рис. 80. Построение горизонталей открытого лотка покрытий

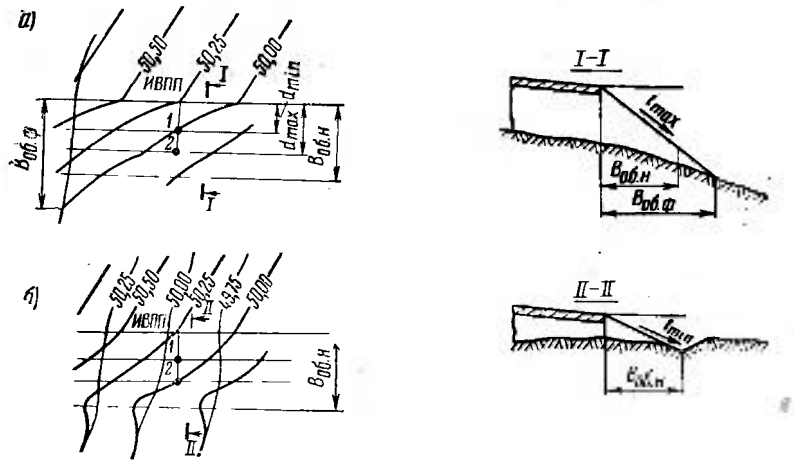


Рис. 81. Построение горизонталей поверхности обочин при различной высоте насыпи:
а — максимальный уклон обочин; *б* — минимальный уклон обочин

Сопряжение поверхности покрытия с прилегающей к ИВПП грунтовой поверхностью осуществляется посредством обочин. При проектировании рельефа обочин необходимо соблюдать нормативные требования к их ширине и уклонам.

Горизонтали поверхности обочин можно построить, используя следующий прием. На плане вертикальной планировки проводят прямую, параллельную кромке ИВПП на расстоянии 25 м, что составляет нормативную ширину обочины (рис. 81). Далее параллельно кромке ИВПП проводят еще две прямые: одну на расстоянии d_{max}, соответствующем минимально допустимому уклону обочины ($i_{min}=0{,}015$), и другую на расстоянии d_{min} ($i_{max}=0{,}025$).

Ориентируясь на эти заложения, выбирают уклон обочины, рациональный с точки зрения минимума земляных работ. Если возвышение кромки покрытия большое, обочине целесообразно придавать максимальный уклон (рис. 81,*а*), если оно небольшое — минимальный (рис. 81,*б*). При некотором возвышении кромки покрытия может оказаться выгодным промежуточный уклон. Когда возвышение кромки покрытия небольшое, возможно образование грунтового лотка, ось которого будет совпадать с границей обочины. Дно грунтового лотка должно иметь предельный уклон не менее 0,005.

Описанный прием предполагает, что уклон обочины по длине ИВПП не остается постоянным, а выбирается в зависимости от возвышения кромки покрытия. В результате может образоваться довольно сложная поверхность.

Так как поверхность обочин образуется не только плоскостями, но и кривыми поверхностями, полученное очертание горизонталей нужно скорректировать. С этой целью следует на отдельных участках осреднить поперечный уклон, выдержав его в пределах этих участков примерно постоянным, само очертание горизонталей сделать более плавным, ось грунтового лотка спрямить, а уклон дна лотка назначить не менее 0,005. После такой корректировки уклоны и ширина обочин должны оставаться в пределах норм.

Если по условиям рельефа уклон дна грунтового лотка получается менее 0,005, проводят дополнительные мероприятия по отводу поверхностных вод («лоток в лотке», трубчатые осушители). Возможно также устройство пилообразного грунтового лотка с установкой в пониженных местах тальвежных колодцев.

Метод отметок и вертикальных профилей может быть использован для проектирования вертикальной планировки искусственных покрытий и на стадии технического проекта. Отличие состоит в том, что на этой стадии вертикальная планировка разрабатывается на топографическом плане масштаба 1:5000 без разбивки съемочной сетки квадратов, но с разбивкой пикетов через 100 м по оси ИВПП. Поэтому при решении первого этапа проектирования границы участков покрытия с различными поперечными профилями или продольными уклонами совмещают пикетами или с точками +50.

Для построения продольного профиля естественной поверхности используют отметки пикетов или определяют черные отметки по черным горизонталям.

Рабочие отметки дна корыта по оси ИВПП определяют с учетом предварительно снимаемого растительного слоя.

Для построения проектных горизонталей поверхности покрытия используют приемы, рассмотренные в § 20. Исходными данными для построения горизонталей здесь будут отметки поверхности покрытия по оси ИВПП, взятые с продольного профиля, и принятый поперечный уклон ИВПП. Продольный уклон покрытия на каждом участке определяют как частное от деления разности отметок точек по оси ИВПП в начале и конце участка на его протяженность.

Ввиду малости масштаба открытые лотки покрытий на плане вертикальной планировки не показывают и поперечные профили ИВПП не вычерчивают.

§ 22. Построение проектной поверхности в узлах искусственных покрытий

Под узлами понимаются участки искусственных покрытий, которые образуются в местах перехода от одного элемента аэродрома к другому: участки примыканий РД к ИВПП, пер-

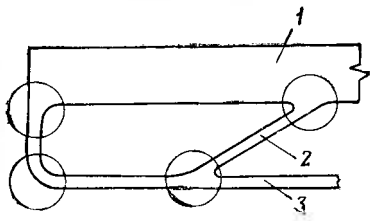


Рис. 82. Узлы искусственных покрытий:
1 — ИВПП; *2* — соединительная РД; *3* магистральная РД

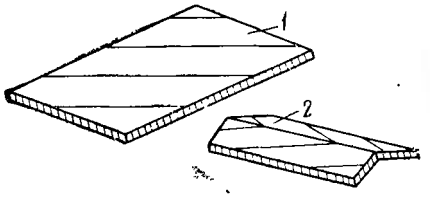


Рис. 83. Взаимное положение двух элементов аэродрома, требующих сопряжения:
1 — ИВПП; *2* — РД

ронам и МС, участки пересечений и поворотов РД и др. (рис. 82).

В связи с этим возникает задача построения сопряжений поверхностей, имеющих различное очертание и положение в пространстве. Например, для сопряжения поверхностей магистральной РД и ИВПП (рис. 83) необходима переходная поверхность, так как их продольные и поперечные уклоны и высотное положение могут отличаться. Решение этой задачи связано с особенностями и требует использования специальных приемов проектирования.

Для обеспечения плавного разворота самолета в пределах узла нормы предусматривают минимальные радиусы закруглений РД, которые обычно относят не к оси РД, а к ее внутренней кромке. Например, для аэродромов класса А минимальный радиус закругления внутренней кромки РД на участках примыкания к ИВПП составляет 60 м, а на пересечениях и поворотах — 50 м.

В процессе строительства круговые кривые на поворотах часто заменяют ломаными в виде хорд круговой кривой. Чем больше число хорд, тем ломаная ближе к круговой кривой. В некоторых случаях строители осуществляют закругление по круговой кривой путем укладки опалубки из изогнутых досок. Соответственно и в рабочих чертежах вертикальной планировки могут быть различные способы изображения закруглений РД. Иногда этот вопрос заранее согласовывается с представителем подрядной строительной организации.

Для безопасности движения самолетов на поворотах устраивают уширение РД, величина которого определяется по специальной методике и в зависимости от типа самолета и класса аэродрома колеблется от 0 до 4 м.

Можно сформулировать рекомендации, которыми следует руководствоваться при проектировании поверхности узлов:

1. Для обеспечения безопасности и плавности движения самолета в пределах узла необходимо стремиться к уменьшению числа переходных плоскостей и снижению величины изломов. Такое решение упрощает вынос проекта в натуру и последующее выполнение строительных работ. На участках поворотов РД и их примыкания к ИВПП следует устраивать виражи.

2. С целью повышения сроков службы покрытий на узлах следует строго выдерживать требования о возвышении кромок покрытия над грунтовой поверхностью (или дном грунтового лотка) и обеспечивать надежный водоотвод. Это особенно важно при стоке поверхностной воды непосредственно на обочины. Необходимость соблюдения данной рекомендации обусловлена также более тяжелыми условиями работы покрытий в пределах узлов по сравнению с другими участками РД. При движении самолетов в пределах узла могут возникать боковые силы сцепления колес с покрытием, дополнительные динамические нагрузки при переезде изломов, что может привести к преждевременному разрушению покрытия.

3. При проектировании поверхности узлов следует стремиться к тому, чтобы вода с покрытий узлов стекала непосредственно в водоотводные системы ИВПП и РД. Важное значение имеет последовательность проектирования элементов аэродрома, образующих узел, и непосредственно самого узла. Здесь возможны два случая:

1. Решена вертикальная планировка только одного из сопрягаемых элементов аэродрома, поверхность другого элемента решается после вертикальной планировки узла, т. е. проектирование ведут в такой последовательности: первый элемент аэродрома → узел → второй элемент аэродрома. Например: ВПП ⟶ узел ⟶ РД; магистральная РД ⟶ узел ⟶ соединительная → РД.

При такой последовательности высотное положение второго сопрягаемого элемента определяется в процессе проектирования путем последовательного перехода от первого элемента к узлу, а затем ко второму элементу.

2. Решена вертикальная планировка обоих сопрягаемых элементов аэродрома и только после этого проектируется поверхность узла, т. е. проектирование ведут в такой последовательности: первый элемент аэродрома → второй элемент аэродрома → узел. Например, ВПП→РД→узел.

При такой очередности проектирования высотное положение сопрягаемых элементов уже определено и требуется заполнить пространство между ними переходной поверхностью — узлом. В самом процессе проектирования целесообразно придерживаться такой последовательности.

1. Наметить принципиальную схему водоотвода. На этом этапе должны быть намечены направления стока поверхностной воды в пределах узла так, чтобы вода стекала в водоотводные системы ИВПП и РД. На рис. 84,*а* (примыкание двускатной РД к ИВПП) короткими стрелками показаны возможные направления стока поверхностной воды. Это не единствен-

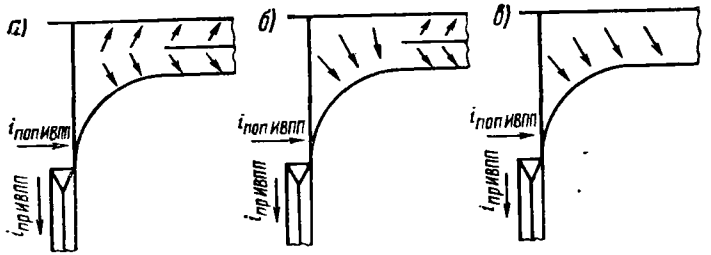


Рис. 84. Возможные направления стока поверхностной воды на участках примыкания РД к ИВПП

ный для данного узла вариант решения. Можно наметить другую схему стока (рис. 84,*б*). На рис. 84,*в* показано направление стока, когда примыкающая РД имеет односкатный поперечный профиль без открытых бетонных лотков.

2. Произвести разбивку узла на заполняющие плоскости. Границами плоскостей будут поперечники и диагонали, вокруг которых осуществляются повороты плоскостей в местах изменения уклонов. Количество заполняющих плоскостей в пределах каждого узла и их взаимное размещение в плане зависят от намеченной схемы водоотвода, вида проектируемого узла, направления и величины уклонов элементов аэродрома, образующих узел, и принятой последовательности проектирования.

Рассмотрим узел, образованный примыканием магистральной РД к ИВПП (рис. 85). Проектирование осуществляется по схеме ИВПП→узел→РД. Заданы контуры и высотное положение ИВПП (проектные отметки по кромкам покрытия), поперечный ($i_{поп ИВПП}$) и продольный ($i_{пр ИВПП}$) уклоны ИВПП. Кроме того, на плане заданы контуры и поперечный уклон ($i_{поп РД}$) РД. Продольный уклон РД может быть предварительно определен в соответствии с рельефом местности.

Перед разбивкой узла на плоскости необходимо зафиксировать точки *A, B, C, D, F*, через которые пройдут будущие границы плоскостей. В целях упрощения проектирования и последующего производства работ в качестве таких точек назначают характерные точки, положение которых четко определяется на плане узла (точки излома контуров покрытия, граничные точки сопрягаемых элементов и др.).

Пусть точка *A* будет общей для ИВПП и РД (рис. 85,*а*). Примем также $i_{пр ИВПП} \neq i_{поп РД}$; $i_{поп ИВПП} \neq i_{пр РД}$. Для перехода от продольного уклона ИВПП к поперечным уклонам правого и левого скатов РД используются диагонали *AC* и *AD*; для перехода от поперечного уклона ИВПП к продольному уклону заполняющей плоскости *I* — поперечник *AB*, а для перехода от продольных уклонов заполняющих плоскостей *II* и *III*

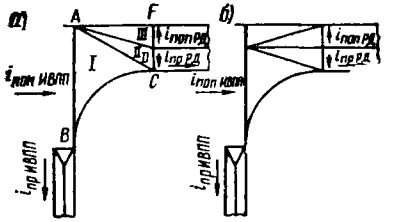


Рис. 85. Разбивка поверхности узла примыкания двускатной РД к ИВПП на заполняющие плоскости

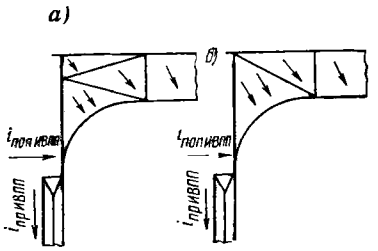


Рис. 86. Разбивка поверхности узла примыкания односкатной РД к ИВПП на заполняющие плоскости

к продольному уклону *РД* — поперечник *FC*. В процессе проектирования необходимо вести контроль величин изломов на границах плоскостей. Принятое здесь размещение заполняющих плоскостей и открытых лотков полностью соответствует намеченной схеме водоотвода.

Рассмотренное решение не является единственным. На рис. 85,*б* приведено другое возможное размещение плоскостей, соответствующее схеме водоотвода. Можно заметить, что в каждом из приведенных решений для сопряжения потребовались не менее двух диагоналей и один поперечник. Второй поперечник может отсутствовать.

На рис. 86 показаны возможные варианты разбивки поверхности узла на заполняющие плоскости для случая примыкания односкатной РД, которые между собой существенно отличаются. В частности, в первом из них (рис. 86,*а*) поверхность узла разбита на три заполняющие плоскости, во втором (рис. 86,*б*) — на две.

При проектировании по схеме ИВПП→РД→узел определение границ плоскостей производится с соблюдением тех же правил. Вместе с тем при увязке высотного положения и уклонов ИВПП и РД могут потребоваться дополнительные заполняющие плоскости. В частности, бывает необходим второй поперечник. Здесь также возможны различные варианты разбивки узла на заполняющие плоскости.

Во всех случаях предпочтение отдается варианту, при котором поверхность узла лучше вписывается в естественный рельеф с учетом необходимых возвышений кромок покрытия, обеспечиваются более благоприятные условия движения самолета, проще решается поверхность узла и система отвода поверхностных вод.

3. Решить вертикальную планировку узла. Для этой цели обычно используют метод отметок. Горизонтали поверхности строят на заключительном этапе для контроля и наглядности решения, а также для сопряжения с прилегающей к покрытию грунтовой поверхностью.

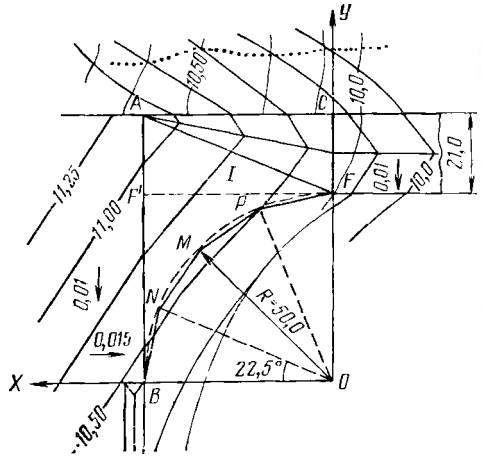


Рис. 87. Вертикальная планировка узла примыкания магистральной РД к ИВПП

Исходными для проектирования являются известные проектные отметки точек, принадлежащие либо одному из сопрягаемых элементов, например ИВПП (если проектирование ведется по схеме ИВПП—→ —→узел—→РД), либо двум сопрягаемым элементам, например ИВПП и РД (если проектирование ведется по схеме ИВПП —→ РД —→ —→узел).

Далее назначают отметки основных точек узла с учетом конкретных рельефных, грунтовых и гидрогеологических условий, намеченной разбивки узла на плоскости и схемы водоотвода, требований к уклонам и изломам поверхности узла. Затем вычисляют другие необходимые проектные отметки покрытия узла.

Согласно нормам технологического проектирования аэродромов ГА минимальный радиус кривизны поверхности магистральных и соединительных РД в продольном направлении для аэродромов всех классов должен приниматься равным 6000 м. Этому радиусу соответствует предельно допустимый излом 0,007. Вместе с тем минимальные радиусы кривизны поверхности ИВПП для аэродромов различных классов существенно отличаются (например, 30 000 м для аэродромов класса А и 10 000 м классов Г и Д).

Логично было бы, на наш взгляд, дифференцировать нормативные требования и к кривизне поверхности РД в зависимости от класса аэродромов.

На примыканиях к ИВПП соединительных РД скоростного схода требования к кривизне поверхности могут быть, наоборот, повышены и назначаться с учетом расчетных скоростей движения самолетов на участке схода.

Пример. Требуется решить вертикальную планировку узла на участке примыкания магистральной РД к ИВПП (рис. 87).

Задано: $i_{\text{прИВПП}} = 0{,}010$; $i_{\text{допИВПП}} = 0{,}015$;

$i_{\text{допРД}} = 0{,}010$; $H_A = 11{,}12$; $H_B = 10{,}41$.

Нормативные требования: радиус кривизны поверхности РД $R_{\min}=6000$ м ($\Delta i_{\max}=0{,}007$); $i_{\max\,\text{РД}}=0{,}020$; радиус закругления РД по внутренней кромке 50 м; ширина РД 21 м.

Решение. Проектирование ведется по схеме ИВПП—→узел—→ —→РД. Приняв схему водоотвода и разбив поверхность узла на плоскости, задаемся отметкой точки F, что одновременно определит и отметку точки C ($H_C=H_F$).

Отметки точек C и F определим исходя из следующих условий:

1) должно быть обеспечено необходимое возвышение кромки покрытия в точке F над грунтовой поверхностью. Из этого условия

$$H_F = H_C = 10{,}00 + 0{,}30 = 10{,}30;$$

2) продольный уклон заполняющей плоскости I в направлении FF' и излом поверхности на поперечнике AB не должны превышать максимально допустимых значений. Для проверки выполнения этого условия определим:

отметку точки F': $H_{F'}=H_A-l_{AF'}\,i_{\text{прИВПП}}=11{,}12-21\cdot0{,}01=$ $=10{,}91$;

уклон по линии FF': $i_{FF'}=\dfrac{H_{F'}-H_F}{l_{FF'}}=\dfrac{10{,}91-10{,}30}{50}=0{,}012$;

излом поверхности на поперечнике AB: $\Delta i_{AB}=i_{\text{допИВПП}}-$ $-i_{FF'}=0{,}015-0{,}012=0{,}003$.

В результате проверки устанавливаем, что продольный уклон плоскости I и излом поверхности на поперечнике AB удовлетворяют нормативным требованиям.

Проверим уклон по линии AC:

$$i_{AC}=\frac{H_A-H_C}{l_{AC}}=\frac{11{,}12-10{,}30}{50}=\frac{0{,}82}{50}=0{,}015.$$

Он также меньше максимально допустимого уклона.

Излом поверхности на поперечнике CF зависит от продольного уклона РД. Этот уклон следует назначать исходя из рельефа местности с учетом требований к уклонам и кривизне поверхности. В частном случае поперечника CF может не быть.

Иногда возникает необходимость в определении местоположения проектных отметок дополнительных точек узла, в частности точек, принадлежащих кромкам покрытия на закруглениях.

Определим для примера местоположение и проектные отметки точек N, M и P (см. рис. 87). Если начало координат

поместить в точку O, а оси координат направить так, как показано на рис. 87, то координаты этих точек:

$$x_N = R \cdot \cos 22{,}5° = 50 \cdot 0{,}92 = 46{,}0 \text{ м};$$

$$y_N = R \cdot \sin 22{,}5° = 50 \cdot 0{,}38 = 19{,}0 \text{ м};$$

$$x_M = 50 \cdot \cos 45° = 35{,}0 \text{ м};$$

$$y_M = 50 \cdot \sin 45° = 35{,}0 \text{ м};$$

$$x_P = 50 \cdot \cos 67{,}5° = 19{,}0 \text{ м};$$

$$y_P = 50 \cdot \sin 67{,}5° = 46{,}0 \text{ м}.$$

Зная продольный и поперечный уклон переходной плоскости I, можно определить искомые отметки:

$$H_N = H_B + y_N i_{\text{пр ивпп}} - (R - x_N) i_{FF'} = 10{,}41 + 19 \cdot 0{,}01 - $$
$$- (50 - 46)\, 0{,}012 = 10{,}55;\ H_M = 10{,}58;\ H_P = 10{,}50.$$

Таким же путем можно определить координаты и проектные отметки любых точек кромки покрытия.

Проектирование заканчивается построением горизонталей в пределах узла и на участках его сопряжений с прилегающей грунтовой поверхностью.

Пример. Требуется решить вертикальную планировку узла на участке примыкания односкатной соединительной РД к магистральной РД (рис. 88).

Задано: отметки $H_A = 17{,}16$; $H_Д = 16{,}75$; $H_E = 16{,}59$, $H_N = 16{,}67$; уклоны $i_{\text{пр МРД}} = 0{,}005$; $i_{\text{поп МРД}} = 0{,}01$; $i_{\text{поп СРД}} = 0{,}01$.

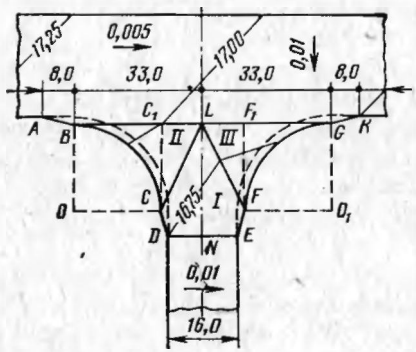


Рис. 88. Вертикальная планировка узла пересечения соединительной и магистральной РД

Нормативные требования: радиус закругления РД по внутренней кромке 25 м, минимальный радиус кривизны поверхности 6000 м ($\Delta i_{\max} = 0{,}007$), ширина соединительной РД 16 м. На поворотах РД предусматриваются уширения по 1 м. Длина участка отгона уширения равна 8,0 м. Для перехода от поперечного уклона соединительной РД к продольному уклону МРД вводятся диагонали CL и FL, а для перехода к поперечному уклону МРД — поперечники BL и LG.

Решение. Определим проектные отметки фиксированных точек контура покрытий МРД:

$$H_B = 17{,}16 - 8 \cdot 0{,}005 - 1{,}0 \cdot 0{,}01 = 17{,}11;$$

$$H_L = 17{,}11 - 33 \cdot 0{,}005 = 16{,}95;$$

$$H_G = 17{,}11 - 66 \cdot 0{,}005 = 16{,}78;$$

$$H_k = 17{,}16 - 82 \cdot 0{,}005 = 16{,}75.$$

Определим продольный уклон переходной плоскости I:

$$L_{LN} = \frac{H_L - H_N}{l_{LN}} = \frac{16{,}95 - 16{,}67}{32} = 0{,}009.$$

Определим проектные отметки точек C и F:

$$H_C = H_N + l_{NN_1} i_{NN_1} + l_{N_1C} i_{\text{поп СРД}} = 16{,}67 + 8{,}0 \cdot 0{,}009 +$$
$$+ 9 \cdot 0{,}01 = 16{,}83;$$

$$H_F = 16{,}67 + 8 \cdot 0{,}009 - 9 \cdot 0{,}01 = 16{,}65.$$

Для вычисления продольных уклонов переходных плоскостей II и III определим проектные отметки вспомогательных точек C_1 и F_1:

$$H_{C_1} = H_B - R_1 \cdot 0{,}005 = 17{,}11 - 24{,}0 \cdot 0{,}005 = 16{,}99;$$

$$H_{F_1} = 16{,}95 - 9 \cdot 0{,}005 = 16{,}90.$$

Тогда искомые продольные уклоны будут:

$$i_{CC_1} = \frac{16{,}99 - 16{,}83}{24} = 0{,}0075;\quad i_{FF_1} = \frac{16{,}90 - 16{,}65}{24} = 0{,}01.$$

Определим изломы поверхности на поперечниках BL и LG:

$$\Delta i_{BL} = 0{,}0075 - 0{,}005 = 0{,}0025;\ \Delta i_{LG} = 0{,}01 - 0{,}005 = 0{,}005.$$

Полученные изломы поверхности не превышают максимально допустимой величины. Используя прием, рассмотренный в предыдущем примере, можно определить координаты и проектные отметки дополнительных точек на кромках покрытия.

Возможны другие варианты решения вертикальной планировки рассмотренного узла. Например, вместо двух диагоналей CD и FL ввести только одну диагональ FD или какую-либо другую.

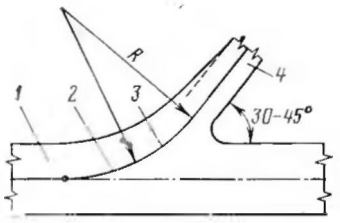


Рис. 89. Примыкание соединительной РД скоростного схода к ИВПП:
1 — ИВПП; *2* — переходная кривая; *3* — круговая кривая; *4* — РД

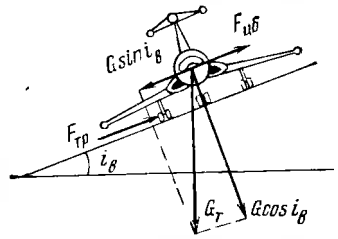


Рис. 90. Силы, действующие на самолет при движении по кривой

Размещение соединительных РД под углом 90° к ИВПП, как показано на рис. 88, применяется главным образом на аэродромах низших классов при сравнительно малых скоростях схода самолетов (25—30 км/ч) с ИВПП и сравнительно небольшой интенсивности движения самолетов в аэропорту. Безопасность самолета на поворотах должна в этих случаях обеспечиваться выбором соответствующих радиусов.

Для увеличения пропускной способности ИВПП необходимо сократить время пребывания на них самолетов. Одной из эффективных мер сокращения этого времени является устройство соединительных дорожек скоростного схода, позволяющих безопасное оруливание самолетов с ИВПП на повышенных скоростях. Соединительные РД скоростного схода устраивают под углом 30—45° к оси ИВПП (рис. 89). Расчетные скорости отворота самолетов с ИВПП на соединительных РД скоростного схода назначают в соответствии с характеристиками самолетов, опытом их эксплуатации и колеблются в пределах 80—100 км/ч. Траекторию схода самолета с ИВПП на РД на покрытии обозначают маркировочными линиями.

В рассмотренных проектных решениях узлов аэродромных покрытий не предусматривалось устройство виражей, которое допускается на участках поворота магистральных РД. Величина поперечного односкатного профиля на участках виража принимается в пределах $i_в = 0{,}03 - 0{,}05$. Величина радиуса поворота РД с учетом уклона виража может быть получена из условия равновесия сил, действующих на самолет при движении по кривой (рис. 90):

$$\frac{G v^2_{рул}}{g R_{пов}} < G \sin i_в + F_{тр} = G \sin i_в + G f_б \cos i_в, \qquad (23)$$

где G — вес самолета; $v_{рул}$ — скорость движения самолета на участке поворота; $g = 9{,}81$ м/с^2; $R_{пов}$ — радиус поворота; $i_в$ — поперечный уклон РД (уклон виража); $F_{тр}$ — сила трения; $f_б$ — коэффициент бокового сцепления колес с поверхностью ВПП.

Полагая при малых углах $\cos i_в = 1$; $\sin i_в = i_в$, получаем следующее неравенство, определяющее требования к радиусам поворотов РД:

$$R_{пов} \geqslant \frac{v^2_{рул}}{g (i_в + f_б)} \qquad (24)$$

Величина коэффициента $f_б$, характеризующего боковые силы сцепления колес самолета с поверхностью ИВПП, зависит от типа и состояния покрытия.

Как это следует из формулы (24), принятие того или иного значения коэффициента $f_б$ определяет минимальный радиус поворота. От величины этого радиуса зависит величина центробежного ускорения, которое может вызвать у пассажира неприятные ощущения. Опытным путем установлено [10]: при $f_б \leqslant 0{,}1$ пассажиры не замечают, что движение происходит по кривой; если $f_б = 0{,}15$, пассажиры чувствуют это движение, но не ощущают беспокойства или неудобства; если $f_б = 0{,}3$, пассажиры чувствуют беспокойство, а переход с прямого участка на кривую ощущается ими, как толчок. Учитывая это, расчетное значение коэффициента бокового сцепления можно принимать равным 0,15.

Рассмотрим разбивку поверхности узла на участке поворота двускатной магистральной РД с устройством виража (рис. 91). Прямые AC и A_1D являются линиями отгона гребня для перехода от двускатного профиля РД к односкатному профилю виража. Прямые AK_1 и L_1A_1 служат диагоналями, с помощью которых осуществляется переход от поперечного уклона РД к поперечному уклону виража. Диагонали FF_1, GG_1 позволяют осуществить плавное сопряжение двускатных участков виража с различными направлениями поперечных уклонов. Это может быть достигнуто и с помощью меньшего числа диагоналей, но при таком решении увеличится излом поверхности.

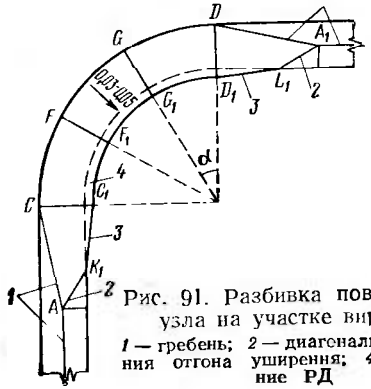


Рис. 91. Разбивка поверхности узла на участке виража:
1 — гребень; *2* — диагональ; *3* — линия отгона уширения; *4* — уширение РД

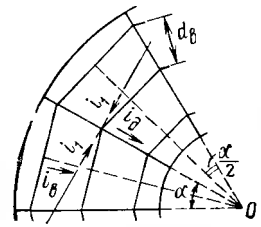


Рис. 92. Определение величины излома поверхности виража на диагоналях

Поперечники CC_1 и DD_1 разграничивают плоскости с различными продольными уклонами.

При сравнительно небольших уклонах естественной поверхности земли оправдано проектирование симметричного виража. В этом случае высотные отметки точек C и D принимаются равными и, следовательно, уклон по верхней кромке виража будет равен нулю. Сток воды осуществляется за счет поперечного уклона виража. При этом отметки точек C_1 и D_1 также принимаются равными.

Рассмотрим вопрос о числе и размещении переходных плоскостей на поверхности виража. Решение его связано с величиной изломов поверхности виража по диагонали. Уклон переходной плоскости в направлении, перпендикулярном диагонали, зависит от угла α наклона диагонали (рис. 92) и уклона виража: $i_1 = i_в \sin \frac{\alpha}{2}$.

Учитывая, что уклоны смежных плоскостей имеют противоположные направления, величина излома на диагонали в перпендикулярном ей направлении будет равна:

$$\Delta i = 2i_в \sin \frac{\alpha}{2}. \qquad (25)$$

При заданном значении уклона виража излом поверхности будет определяться только углом α. Например, при $i_в = 0{,}04$, одной диагонали и $\alpha = 45°$: $\Delta i = 2 \cdot 0{,}04 \sin \frac{45°}{2} = 0{,}030$.

Это значительно превышает нормативную величину излома поверхности, соответствующей $R_{min} = 6000$ м ($\Delta i_{max} = 0{,}007$).

Из соотношения (25) можно определить предельное значение угла α_{max}, соответствующее максимально допустимому излому поверхности. Для принятых исходных данных

$$\alpha_{max} = 2 \arcsin \frac{0{,}007}{2 \cdot 0{,}04} = 10°.$$

Такая разбивка виража обеспечивает плавное движение самолета, но затрудняет вынос проекта в натуру и устройство покрытия. Учитывая, что в процессе строительства границы между переходными плоскостями сглаживаются и поверхность покрытия получается более плавной, можно пойти на увеличение угла α, т. е. на уменьшение числа переходных поверхностей.

Рассмотрим проектирование виража на участке поворота двускатной магистральной РД (рис. 93).

Пример. Заданный поперечный уклон РД $i_{поп\,РД} = 0{,}01$; ширина РД $b_{РД} = 21$ м; уклон виража $i_в = 0{,}04$; величина уширения РД на повороте $\Delta = 3{,}5$ м; радиус закругления РД по ее

внутренней кромке $R = 40$ м; проектная отметка поверхности покрытия $H_в = H_{в1} = 100{,}90$.

Решение. Примем $\alpha = 22{,}5°$, при котором будет четыре переходных поверхности.

Проектирование вертикальной планировки виража начнем с назначения проектной отметки точки D_1, так как в рассматриваемом примере грунтовая поверхность над этой точкой имеет бо́льшую отметку, чем над точкой C_1:

$$H_{D1} = H_{гр} + 0{,}30 = 100{,}75 + 0{,}30 = 101{,}05.$$

Для симметричного виража проектные отметки точек C_1, F_1, G и M_1 также будут равны 101,05.

Определим проектные отметки точек C и D.

Из рис. 92 следует, что заложения горизонталей $d_д$ по диагоналям виража связаны с заложением горизонталей $d_в$, соответствующих уклону $i_в$, зависимостью $d_д = \frac{d_в}{\cos \frac{\alpha}{2}}$.

Отсюда следует, что уклоны по диагоналям виража могут быть выражены формулой $i_д = i_в \cos \frac{\alpha}{2}$.

Тогда искомые проектные отметки определятся следующим образом:

$$H_C = H_D = H_{C_1} + CC_1 i_в \cos \frac{\alpha}{2} = 101{,}05 + 24{,}5 \cdot 0{,}04 \cdot 0{,}98 = 102{,}01.$$

Такие же проектные отметки будут иметь точки F, G и M.

Для выноса проекта в натуру вычисляют координаты точек внешней и внутренней кромок РД на закруглениях.

После того, как найдены проектные отметки всех характерных точек узла, определяют продольные уклоны переходных плоскостей, изломы поверхности на образовавшихся поперечниках и сравнивают их с нормативными значениями.

Следует обратить внимание, что величина продольных уклонов переходных плоскостей зависит от принятой длины переходных участков CB и DE.

Рассмотренное решение виража не всегда может быть рациональным. При повышенных уклонах естественной поверхности может оказаться целесообразным не придержи-

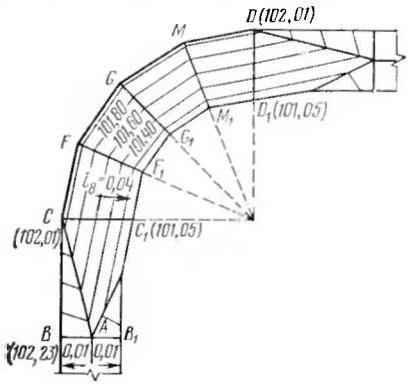


Рис. 93. Вертикальная планировка симметричного виража

ваться симметричного построения, а придавать плоскостям, образующим вираж, продольные уклоны в соответствии с рельефом местности.

Проектирование заканчивается построением горизонталей в пределах узла и на участках его сопряжений с прилегающей грунтовой поверхностью.

Глава V. ВЫЧИСЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ И РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУНТА

§ 23. Общие сведения

Вычисление объемов земляных работ — один из этапов проектирования вертикальной планировки. Знание частных объемов грунта (объемов выемок и насыпей по отдельным квадратам и массивам) необходимо для последующей разработки схемы перемещения грунта и определения технико-экономических показателей проекта вертикальной планировки (суммарного объема земляных масс, среднего расстояния перемещения грунта, суммарной работы по перемещению грунта из выемок в насыпи). Все это является основой для определения сметной стоимости земляных работ, обоснованного выбора типов и числа землеройных и землеройно-транспортных машин, составления проекта организации строительства (ПОС) и проекта производства работ (ППР).

Земляные работы принято условно разделять на глубинные и планировочные. К глубинным относят земляные работы, при которых рабочая отметка по абсолютной величине превышает 10 см. При меньших рабочих отметках земляные работы относят к планировочным. Объемы глубинных земляных работ измеряются в кубических метрах, планировочных — в гектарах или квадратных метрах. Особо выделяются работы по снятию и восстановлению слоя растительного грунта, которые обычно производятся на участках глубинных земляных работ.

В практике проектирования вертикальной планировки аэродромов используются следующие способы подсчета частных объемов земляных работ: горизонтальных профилей, изолиний рабочих отметок, квадратов, треугольников, поперечных профилей.

Целесообразность применения каждого из них зависит от рельефа и способа его изображения, вида сооружения и стадии проектирования.

§ 24. Вычисление объемов земляных работ способом горизонтальных профилей

Рассмотрим фигуры, образованные одноименными черными и проектными горизонталями (на рис. 94 заштрихованы). Данные фигуры получены в результате сечения насыпи или выемки горизонтальными плоскостями и называются *горизонтальными профилями*. Каждые две соседние горизонтальные плоскости высекают из выемки или насыпи некоторое тело. Основаниями этого тела являются два горизонтальных профиля, боковая поверхность образуется черной и проектной поверхностями, а высота равна сечению горизонталей. Таким образом, вся насыпь (выемка) рассекается на ряд элементарных объемов.

Каждый элементарный объем может быть определен как произведение полусуммы площадей нижнего и верхнего горизонтальных профилей на сечение горизонталей

$$V_1 = \frac{F_1 + F_2}{2} h_{\text{гор}}; \quad V_2 = \frac{F_2 + F_3}{2} h_{\text{гор}}; \quad V_3 = \frac{F_3 + F_4}{2} h_{\text{гор}}.$$

Для определения полного объема массива необходимо вычислить элементарные объемы $V_{\text{верх}}$ и $V_{\text{нижн}}$, находящиеся соответственно в верхней и нижней частях массива. Эти объемы могут быть приближенно определены следующим образом:

$$V_{\text{верх}} = \frac{1}{2} F_1 h_{\text{верх}}; \quad V_{\text{нижн}} = \frac{1}{2} F_4 h_{\text{нижн}}$$

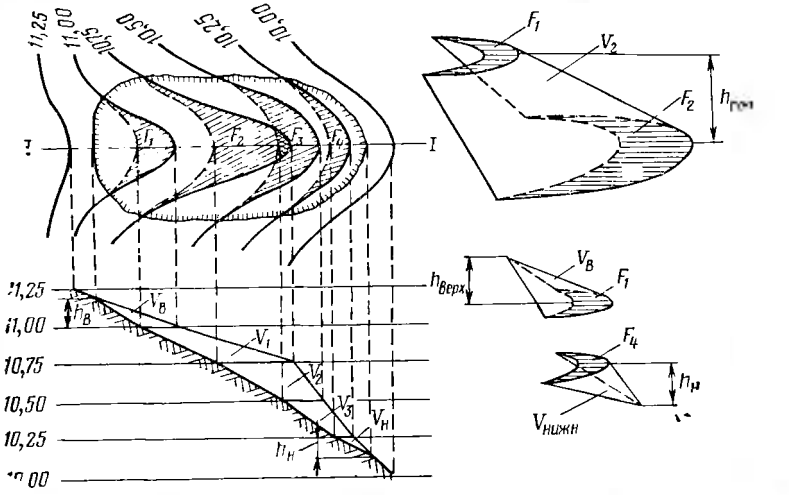


Рис. 94. Вычисление объемов земляных работ способом горизонтальных профилей

где $h_{верх}$ и $h_{нижн}$ — расстояния по вертикали от самого верхнего (нижнего) горизонтального профиля до самой верхней (нижней) точки нулевых работ, которые могут быть найдены путем интерполяции.

В общем случае при наличии n горизонтальных профилей общий объем массива насыпи (выемки) определится как сумма элементарных объемов:

$$V_{общ} = V_{верх} + \sum_{i=1}^{n} V_i + V_{нижн} = \frac{1}{2} F_1 h_{верх} + \frac{F_1 + F_2}{2} h_{гор} +$$

$$+ \frac{F_2 + F_3}{2} h_{гор} + \cdots + \frac{F_{n-1} F_n}{2} h_{гор} + \frac{1}{2} F_n h_{нижн}.$$

После приведения подобных членов и их перегруппировки получим

$$V_{общ} = \left(\frac{F_1 + F_n}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} F_i \right) h_{гор} + \frac{F_1 h_{верх} + F_n h_{нижн}}{2}.$$

С достаточной для практических целей точностью можно принять $h_{нижн} = h_{верх} = h_{гор}$.

Тогда $V_{общ} = h_{гор} \sum_{i=1}^{n} F_i$.

Площади горизонтальных профилей на плане в горизонталях могут быть определены с помощью планиметра.

Достоинство способа горизонтальных профилей — его простота. Он может быть применен на стадии технического проекта, когда рельеф участка изображен только горизонталями. Способ горизонтальных профилей удобно использовать при сравнительно небольших рабочих отметках насыпей и выемок, когда горизонтальные профили не перекрывают друг друга или перекрывают лишь частично.

§ 25. Вычисление объемов земляных работ способом изолиний рабочих отметок

При больших рабочих отметках горизонтальные профили могут накладываться друг на друга. В таких случаях способ горизонтальных профилей теряет свою наглядность и его использование становится затруднительным. Поэтому при больших рабочих отметках, превышающих сечение горизонталей, применяют другой способ определения объемов земляных работ, называемый способом изолиний рабочих отметок.

Изолинией рабочей отметки называют геометрическое место точек, имеющих одинаковые рабочие отметки.

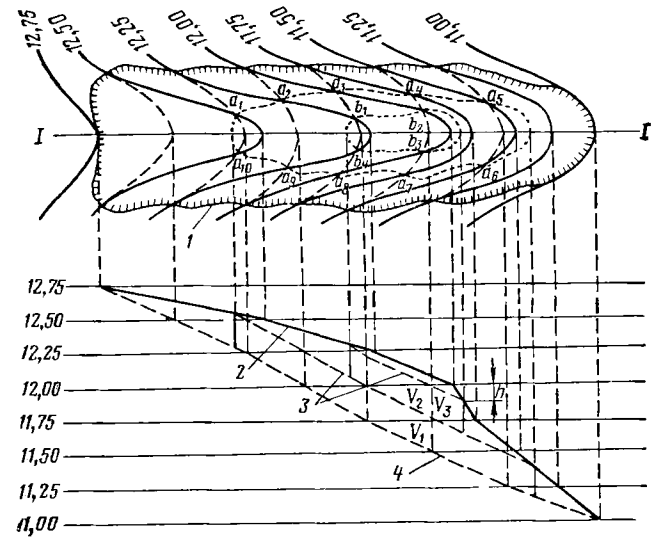


Рис. 95. Вычисление объемов земляных работ способом изолиний рабочих отметок
1 — нулевая изоляция; *2* — профиль черной поверхности; *3* — профили изоповерхностей; *4* — профиль проектной поверхности

Таких изолиний, каждая из которых соответствует определенной рабочей отметке, в пределах каждого массива выемки или насыпи можно провести много. Но обычно проводят нулевую изолинию (рабочая отметка равна нулю) и изолинии рабочих отметок, кратные сечению горизонталей ($h_{гор}$, $2h_{гор}$ и т. д.). Нулевая изолиния проходит через точки пересечения одноименных горизонталей. В этих точках проектная и рабочая отметки равны и, следовательно, рабочая отметка равна нулю. Изолинии рабочих отметок, кратных $h_{гор}$, проходят через точки, в которых пересекаются черные и проектные горизонтали, отличающиеся на одно сечение горизонталей, на два сечения горизонталей и т. д. Эти точки очень легко выявляются на плане в горизонталях.

Таким образом, чтобы построить изолинии рабочих отметок, необходимо соединить плавными кривыми точки пересечения проектных и черных горизонталей, разность в отметках которых составляет одну и ту же величину, т. е. где высоты насыпей или глубины выемок одинаковы. Например, на рис. 95 плавная кривая, проходящая через точки a_1, a_2, a_3, ..., a_{10}, является изолинией 0,25 м, а кривая, проходящая через точки b_1, b_2, b_3 и b_4 — изолинией 0,5 м.

Каждая изолиния является замкнутой кривой, ограничивающей некоторую область, в пределах которой все рабочие отметки больше рабочей отметки, соответствующей данной изо-

линии. Например, в области, ограниченной изолинией 0,25 м, все рабочие отметки больше 0,25 м, а в области, ограниченной изолинией 0,5 м, — больше 0,5 м. Представим, что через каждую изолинию проходит некоторая поверхность, повторяющая проектную. Все точки каждой поверхности будут равно удалены от проектной поверхности, поэтому их можно назвать *изоповерхностями*. Удаление каждой изоповерхности от проектной поверхности также кратно сечению горизонталей и численно равно рабочей отметке изолинии, через которую она проходит.

Изоповерхности разделяют массив выемки или насыпи на ряд слоев, причем толщина каждого слоя равна сечению горизонталей. Объем каждого слоя приближенно определяется как произведение полусуммы площадей, ограниченных двумя соседними изолиниями, на высоту сечения горизонталей. Если обозначить через F_i площадь, ограниченную i-й изолинией, то объем слоя, заключенного между i-й и $(i+1)$-й изоповерхностями, может быть определен по формуле $V_i = \frac{F_i + F_{i+1}}{2} h_{\text{гор}}$.

Объем верхней части массива (в выемке) или нижней части (в насыпи) приближенно можно определить по формуле

$$V_n = \frac{1}{2} F_{nh},$$

где F_n — площадь, ограниченная последней (n-й) изолинией; h — высота верхней части массива, отсекаемого последней (n-й) изолинией.

Объем массива определится как сумма объемов всех слоев:

$$V_{\text{общ}} = \sum_{i=0}^{n-1} V_i + V_n$$

$$\text{или } V_{\text{общ}} = \left(\frac{F_0 + F_h}{2} + \sum_{i=1}^{n-1} F_i \right) h_{\text{гор}} + \frac{1}{2} F_n h.$$

Способ изолиний рабочих отметок был предложен Г. Т. Зверевым и В. И. Стрельчевским в 1932 г.

§ 26. Вычисление объемов земляных работ способом квадратов

Способ квадратов, предложенный инженерами Г. Т. Зверевым и В. И. Стрельчевским в 1929—1930 гг., получил широкое распространение благодаря его простоте. Он основан на использовании нивелировочной сетки квадратов. Для определения объемов земляных работ способом квадратов необходимо иметь рабочие отметки в вершинах квадратов. В зависимости

от знаков рабочих отметок можно выделить следующие типы квадратов: полные, переходные и неполные.

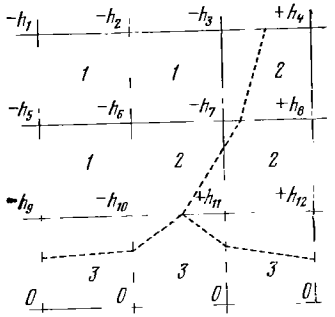


Рис. 96. Типы квадратов

Рабочие отметки в вершинах *полных квадратов* (рис. 96, *1*) имеют один знак. Это означает, что квадрат расположен полностью либо в массиве выемки, либо в массиве насыпи. Границы земляных работ через такие квадраты не проходят.

В *переходных квадратах* (рис. 96,*2*; вершины имеют рабочие отметки разного знака. Это означает, что часть квадрата расположена в массиве выемки, а часть — в массиве насыпи.

В *неполных квадратах* (рис. 96,*3*) часть вершин имеет нулевые рабочие отметки. Это означает, что земляные работы захватывают только часть площади такого квадрата, а на остальной площади земляные работы не производятся. Внутри неполных и переходных квадратов проходит граница земляных работ (нулевая линия).

При подсчете объемов земляных работ в пределах одного квадрата независимо от его типа исходят из следующих геометрических предпосылок: черная поверхность условно принимается за плоскость; боковыми гранями земляного тела являются вертикальные плоскости, проведенные через линии сетки квадратов; проектная поверхность представляет собой плоскость.

а. Вычисление объемов земляных работ в полных квадратах

Исходя из принятых предпосылок (рис. 97) объем земляных работ в пределах одного полного квадрата

$$V_1 = a^2 \left(\frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4} \right) = a^2 \sum_{i=1}^{4} h_i, \qquad (26)$$

где a — размер стороны квадрата, м; $h_i (i = 1, 2, 3, 4)$ — рабочие отметки в вершинах квадрата, м.

Если в формулу (26) подставить рабочие отметки в сантиметрах, то для получения объема в кубических метрах необходимо разделить полученный результат на 100. Тогда формула примет вид $V = \frac{a^2}{400} \Sigma h$,

где Σh — сумма рабочих отметок, см.

Полагая, что $a = 40$ м, получаем $V = 4\Sigma h$. (27)

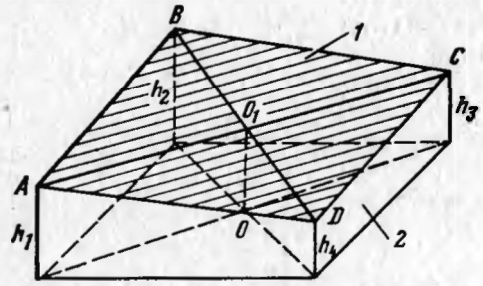


Рис. 97. Вычисление объема земляных работ в полном квадрате:
1 — черная поверхность; *2* — проектная поверхность

Таким образом, объем земляных работ в пределах полного квадрата равен учетверенной сумме рабочих отметок в вершинах квадратов, выраженной в сантиметрах.

Здесь следует отметить, что формула (27) дает точный результат лишь в случае, когда черная поверхность является плоскостью.

Это возможно при условии пересечения диагоналей AC и BD в центре квадрата (см. рис. 97), т. е. если соблюдается равенство $\frac{h_1 + h_3}{2} = \frac{h_2 + h_4}{2}$.

В общем случае черная поверхность может быть представлена в виде двух пересекающихся плоскостей. В зависимости от расположения линии пересечения этих плоскостей черная поверхность, при одних и тех же рабочих отметках может иметь выпуклый или вогнутый профиль (см. рис. 101). Каждому варианту соответствует земляной массив в виде двух треугольных косоусеченных призм. Нетрудно убедиться, что объем земляных работ для каждого варианта будет различен и эти объемы будут также отличаться от объема земляных работ, определяемого по формуле (27).

При вычислении объемов земляных работ способом квадратов это обстоятельство не учитывается, что в некоторых случаях приводит к существенным погрешностям.

б. Вычисление объемов земляных работ в переходных квадратах

Нулевая линия, проходящая в пределах переходного квадрата, может пересекать две противоположные стороны (рис. 98,*а*) или две соседние стороны квадрата (рис. 98,*б*).

В первом случае образуются два массива грунта, имеющие в основании трапеции, во втором один из массивов будет иметь в основании пятиугольник, другой — треугольник.

Для обоих рассмотренных случаев В. И. Стрельчевским предложены формулы, позволяющие определять отдельно объемы насыпи и выемки в переходных квадратах:

$$V_н = \frac{a^2}{4} \frac{(\Sigma h_н)^2}{\Sigma h}; \quad (28)$$

$$V_в = \frac{a^2}{4} \frac{(\Sigma h_в)^2}{\Sigma h}, \quad (29)$$

где $\Sigma h_н$ и $\Sigma h_в$ — соответственно суммы рабочих отметок насыпей и выемок, м; Σh — сумма абсолютных значений всех рабочих отметок квадрата, м.

Формулы (28) и (29) могут быть получены следующим путем. Определим объем выемки (рис. 99): $V_в = F_{ср} a$, где $F_{ср} = \frac{AB \cdot AC}{2}$ — средняя площадь массива выемки в вертикальной плоскости.

Сторону AC найдем из подобия треугольников ABC и CDE:

$$\frac{AC}{AB} = \frac{CD}{DE}, \text{ откуда } AC = AB \frac{CD}{DE}.$$

Имея в виду, что $AB = \frac{h_1 + h_2}{2}$; а $CD = a - AC$ и $DE = \frac{h_3 + h_4}{2}$, получим $AC = \frac{a(h_1 + h_2)}{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}$.

С учетом полученных выражений $F_{ср} = \frac{a(h_1 + h_2)^2}{4\Sigma h}$.

Тогда $V_в = \frac{a^2 (h_1 + h_2)^2}{4 \Sigma h} = \frac{a^2}{4} \cdot \frac{(\Sigma h_в)^2}{\Sigma h}$.

Таким же путем может быть получена формула (28).

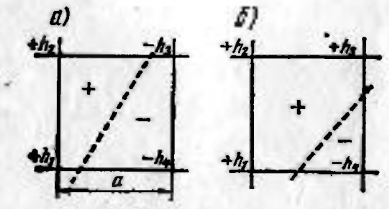


Рис. 98. Переходные квадраты с различным положением нулевой линии

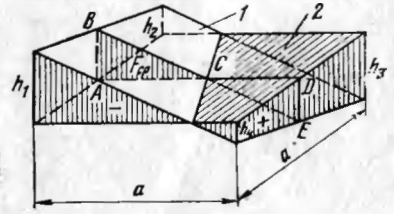


Рис. 99. Вычисление объемов земляных работ в переходном квадрате:
1 — черная поверхность; *2* — проектная поверхность

Если рабочие отметки выразить в сантиметрах, то при $a=40$ м формулы (28) и (29) будут иметь вид:

$$V_в = \frac{4(\Sigma h_в)^2}{\Sigma h}; \quad V_н = \frac{4(\Sigma h_н)^2}{\Sigma h}.$$

При пользовании этими формулами будут получены объемы земляных работ в кубических метрах.

в. Вычисление объемов земляных работ в неполных квадратах

Объем земляных работ в неполных квадратах приближенно определяется как произведение площади земляных работ на среднюю рабочую отметку в пределах этой площади:

$$V = \frac{\Sigma h}{n} F. \qquad (30)$$

В число рабочих отметок n следует включать и две нулевые рабочие отметки точек пересечения нулевой линии со сторонами квадрата.

В зависимости от того, как проходит линия нулевых работ в пределах квадрата, меняется число n. Например, для случая, изображенного на рис. 100, *а*, $n=3$, поэтому объем земляных работ определится как

$$V = \frac{cb}{2} \cdot \frac{h_1 + 0 + 0}{3} = cb\frac{h_1}{6}.$$

Для случая, изображенного на рис. 100, *б*, $n=4$. Поэтому объем земляных работ $V = a\frac{b+d}{2} \cdot \frac{h_1 + h_2}{4}$.

При $n=5$ (рис. 100, в) $V = \left(a^2 - \frac{cd}{2}\right)\frac{h_1 + h_2 + h_3}{5}$.

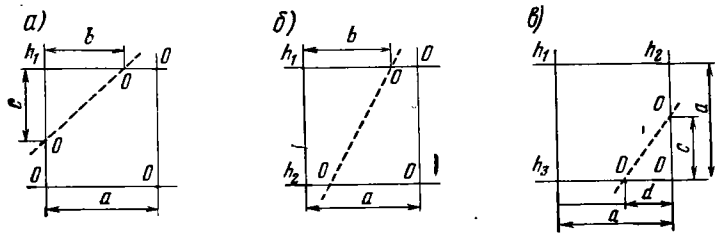


Рис. 100. Неполные квадраты с различным положением нулевой линии, образующей в плане:
а — треугольник; *б* — трапецию; *в* — пятиугольник

Часто при вычислении объемов выделяют глубинные земляные работы. Тогда в пределах переходных и неполных квадратов наряду с нулевой линией будут переходить изолинии ±10 см. В этих случаях для вычисления объемов земляных работ в переходных и неполных квадратах пользуются формулами для неполных квадратов, в которые нужно подставлять соответствующую площадь земляных работ, а вместо нулевых рабочих отметок — рабочие отметки, равные 0,10 м.

§ 27. Вычисление объемов земляных работ способом треугольников

Способ треугольников предложен значительно раньше способа квадратов, но не получил практического применения из-за его недостаточной разработки.

Научно-теоретические обоснования преимуществ способа треугольников перед способом квадратов и разработка практических рекомендаций по его применению выполнены В. И. Мулиным [12].

При вертикальной планировке аэродромов наиболее распространенными являются полные квадраты. Вместе с тем именно в этих квадратах возможны наибольшие погрешности при определении объемов земляных работ способом квадратов. Как уже указывалось в предыдущем параграфе, при тех же рабочих отметках черная поверхность может быть представлена в двух вариантах в зависимости от направления ребра, образованного пересечением двух плоскостей (рис. 101). Это обстоятельство не учитывается в методе квадратов.

Способ треугольников предполагает членение земляного массива, расположенного в пределах квадрата, на два массива по ребру двухгранной черной поверхности. В результате образуются две косоусеченные треугольные призмы.

Первому варианту (рис. 101,*а*) соответствует объем земляных работ в пределах квадрата:

$$V_1 = V'_{тр} + V''_{тр} = \frac{a^2}{2}\left(\frac{h_1 + h_2 + h_4}{3} + \frac{h_2 + h_3 + h_4}{3}\right) =$$

$$= \frac{a^2}{6}[h_1 + h_3 + 2(h_2 + h_4)]. \qquad (31)$$

Второму варианту (рис. 101,*б*) соответствует

$$V_2 = \frac{a^2}{2}\left(\frac{h_1 + h_3 + h_4}{3} + \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3}\right) = \frac{a^2}{6} \cdot \qquad (32)$$

$$[h_2 + h_4 + 2(h_1 + h_3)].$$

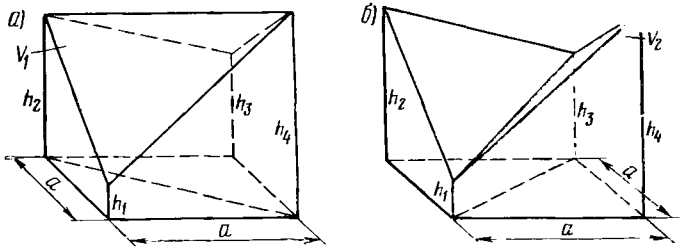


Рис. 101. Два варианта очертания черной поверхности в пределах квадрата

Из выражений (31) и (32) следует, что при определении объема земляных работ способом треугольников, сумма рабочих отметок, лежащих на расчетной диагонали квадрата, удваивается.

Тогда объем земляных работ в пределах одного квадрата, определяемый способом треугольников,

$$V_{тр}^{кв} = \frac{a^2}{6}(\sigma_1 + 2\sigma_2), \qquad (33)$$

где σ_1 — сумма рабочих отметок, лежащих вне расчетной диагонали; σ_2 — сумма рабочих отметок, лежащих на расчетной диагонали.

Таким образом, при вычислении объемов земляных работ рассматриваемым способом не требуется производить подсчет, по треугольникам, так как формула (32) дает объем земляных работ сразу на квадрат.

С учетом принятых обозначений формула для определения объемов земляных работ по способу квадратов будет иметь вид

$$V_{кв} = \frac{a^2}{4}(\sigma_1 + \sigma_2).$$

Определим погрешности способа квадратов по сравнению со способом треугольников:

абсолютная погрешность

$$\Delta V_{кв} = V_{кв} - V_{тр}^{кв} = a^2\left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{4} - \frac{\sigma_1 + 2\sigma_2}{6}\right) = \frac{a^2}{12}(\sigma_1 - \sigma_2);$$

относительная погрешность $\overline{P}_{кв} = \frac{\Delta V_{кв}}{V_{кв}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{3(\sigma_1 + \sigma_2)}$.

Оценим величину относительной погрешности при предельных значениях сумм накрест лежащих рабочих отметок.

Сумма рабочих отметок точек, лежащих вне расчетной диагонали, $\sigma = 0$ (черная поверхность предельно вогнута). Тогда

$$\overline{P}_{кв} = \frac{-\sigma_2}{3\sigma_2} = -\frac{1}{3}, \text{ или } 33{,}3\%.$$

Сумма рабочих отметок точек, лежащих на расчетной диагонали, $\sigma_2 = 0$. Тогда

$$\overline{P}_{кв} = \frac{\sigma_1}{3\sigma_1} = \frac{1}{3}, \text{ или } 33.3\%.$$

Полученные погрешности свидетельствуют о том, что при использовании способа квадратов возможны существенные ошибки в определении частных объемов земляных работ.

При способе треугольников важное значение имеет выбор расчетной диагонали. Сравним абсолютную и относительную разность объемов земляных работ при различных расчетных диагоналях и одинаковых рабочих отметках в вершинах квадрата:

абсолютная разность

$$\Delta V = \frac{a^2}{6}[(2\sigma_1 + \sigma_2) - (\sigma_1 + 2\sigma_2)] = \frac{a^2}{6}(\sigma_1 - \sigma_2);$$

относительная разность $\overline{P} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2\sigma_1 + \sigma_2} 100\%$.

При $\sigma_1 = 0$ $\overline{P} = -100\%$; при $\sigma_2 = 0$ $\overline{P} = 50\%$.

Полагая, что одна из диагоналей правильно отражает характер рельефа в пределах квадрата, можно сделать вывод

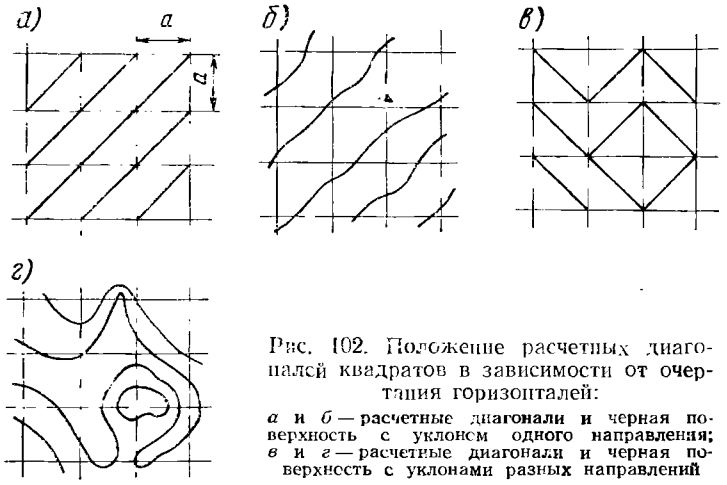


Рис. 102. Положение расчетных диагоналей квадратов в зависимости от очертания горизонталей:

а и *б* — расчетные диагонали и черная поверхность с уклоном одного направления; *в* и *г* — расчетные диагонали и черная поверхность с уклонами разных направлений

что следствием неправильного выбора расчетной диагонали могут быть существенные ошибки в определении частных объемов работ способом треугольников.

При выборе расчетной диагонали следует руководствоваться правилом В. В. Чихачева [14], по которому расчетная диагональ должна быть параллельна направлению горизонталей. На рис. 102, заимствованном из [12], приведены примеры членения квадратов расчетными диагоналями при различном расположении горизонталей. Из сказанного следует, что при слабо выраженном рельефе способ треугольников использовать не рационально.

§ 28. Вычисление объемов земляных работ способом поперечных профилей

Способ поперечных профилей применяют для вычисления объемов земляных работ при строительстве дорог, каналов, дамб и других сооружений, имеющих большую протяженность. При вычислении объемов земляных работ этим способом используют формулу

$$V = l\left(\frac{F_1 + F_2}{2} - q\right),$$

где l — расстояние между соседними профильными сечениями, м; F_1 и F_2 — площади поперечных профильных сечений, м^2; q — поправка, зависящая от крутизны склонов и разности рабочих отметок поперечных профильных сечений.

Объем насыпи между двумя соседними поперечными сечениями считают как для призматоида, разделив его плоскостями на призму, две пирамиды и клин (рис. 103).

Формула для вычисления объема земляных работ между соседними поперечными сечениями имеет вид

$$V = \frac{F_1 + F_2}{2} l - \frac{m}{6}(h_1 - h_2)^2 l; \qquad (34)$$

где $F_1 = Bh_1 + m h_1^2$; $F_2 = Bh_2 + mh_2^2$;

$$F_3 = 0{,}5\, m\,(h_2 - h_1)^2.$$

Если рабочие отметки соседних профильных сечений $h_2 - h_1 \leqslant 2$ м, а расстояние между ними $l \leqslant 50$ м, вторым членом выражения (34) пренебрегают и пользуются приближенной формулой

$$V = \frac{F_1 + F_2}{2} l.$$

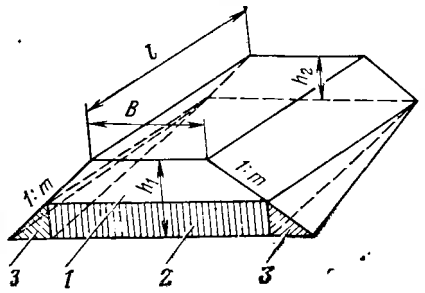


Рис. 103. Призматоид.
1 — прямая призма; *2* — клин; *3* — пирамида

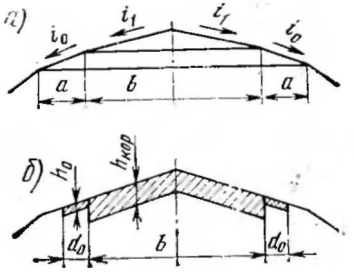


Рис. 104. Площади сточной призмы и сечения дорожной одежды

Так как поверхность дороги имеет поперечные уклоны и на земляное полотно укладывают дорожную одежду, при подсчете земляных работ по приведенным формулам вводят поправку на устройство проезжей части, которая учитывает увеличение объема насыпи для образования сточной призмы (рис. 104,*а*) $\Delta V_1 = \left(a^2 i_0 + \frac{b^2 i}{4} + ba\, i_0\right) a$ и уменьшение объема земляных работ за счет устройства корыта для дорожной одежды (рис. 104,*б*) $\Delta V_2 = (b\, h_{кор} + 2 d_к h_к)\, l$.

Объемы выемок подсчитывают аналогично, а поправки на поперечные уклоны и устройство корыта вводят с обратным знаком.

При подсчете земляных работ способом поперечных профилей используют таблицы [1] и номограммы.

§ 29. Поправки к объемам земляных работ на требуемую плотность грунта

Отсыпка насыпей на грунтовой части аэродрома и в пределах площади искусственных покрытий производится с послойным уплотнением грунта. Качество уплотнения грунта насыпи контролируют путем определения фактической плотности образцов, взятых без нарушения структуры и сравнения ее с требуемой плотностью, заданной проектом.

Требуемая плотность грунта характеризуется коэффициентом уплотнения, представляющим собой отношение требуемого объемного веса грунта $\delta_{тр}$ (объемного веса сухого скелета грунта) к максимальному объемному весу сухого скелета грун-

[1] Митин И. А. Таблицы для подсчета объемов земляного полотна автомобильных дорог. М., «Транспорт», 1977.

та δ_{max}, получаемому в приборе стандартного уплотнения при оптимальной влажности:

$$K_{упл} = \frac{\delta_{гр}}{\delta_{max}}.$$

При отсутствии в проекте указаний о требуемой плотности грунта значения наименьшего коэффициента уплотнения подстилающего грунта следует принимать в соответствии с табл. 4 [14].

Таблица 4

Наименьший коэффициент уплотнения подстилающего грунта

Грунт	Покрытия				Грунтовая часть летного поля	Полосы безопасности
	цементобетонные, асфальтобетонные		щебеночные, обработанные битумом, цементогрунтовые			
	Верхние слои в зоне промерзания	Слои ниже зоны промерзания	Верхние слои в зоне промерзания	Слои ниже зоны промерзания		
Пески, супеси	0,98	0,95	0,95	0,95	0,9	0,85
Суглинки	1	0,95	0,98	0,95	0,95	0,85
Глины	1	0,98	0,98	0,95	0,95	0,85

Примечание. В IV и V дорожно-климатических зонах коэффициент уплотнения должен приниматься по данным графы «Слои ниже зоны промерзания».

Плотность грунта в естественном залегании $\delta_{ест}$ (выемки, резервы) может отличаться от требуемой плотности грунта в насыпи, что должно быть учтено соответствующей поправкой при определении потребного объема грунта для отсыпки насыпей. Коэффициент уплотнения в этом случае будет представлять собой отношение $K_{упл} = \frac{\delta_{гр}}{\delta_{ест}}$.

Из этого следует, что для отсыпки в объеме $V_н$ фактически требуется грунта: $V'_н = V_н K'_{упл}$.

Плотность грунта $\delta_{ест}$ и коэффициент уплотнения $K'_{упл}$ определяются опытным путем. Обычно $K'_{упл} \geqslant 1$.

Рабочие отметки выемок в местах расположения летных полос должны определяться с учетом осадки поверхности при последующей работе планировочных и уплотняющих машин. Величину осадки грунта (недобор выемок) следует определять по результатам контрольных уплотнений на опытной площадке.

§ 30. Вычисление объемов земляных работ с растительным грунтом

Для повышения несущей способности, особенно в периоды переувлажнения и устранения пылимости в сухое время года, на грунтовой части аэродромов создается дерновый покров. Необходимым условием для произрастания дернообразующих трав является наличие на поверхности аэродрома почвенного (растительного) слоя, содержащего в достаточном количестве органические и минеральные вещества. Опыт показывает, что для устойчивого произрастания растений толщина растительного слоя должна быть не менее 10 см. Необходимая толщина растительного слоя устанавливается проектом агротехнических мероприятий исходя из местных условий.

На грунтовой части аэродрома с рабочими отметками не более 10 см планировочные работы выполняют без предварительного снятия растительного слоя. Здесь в процессе планировочных работ исправляют неровности до 10—12 см с последующим уплотнением грунта.

На участках глубинных земляных работ предусматривают дополнительные работы с растительным слоем, в процессе которых растительный грунт предварительно снимают на толщину, установленную проектом, измельчают, очищают от камней и корней деревьев, укладывают в валы (обваловывают), а после окончания глубинных земляных работ вновь разравнивают на поверхности.

Растительный слой большой мощности можно снимать частично, а при его недостаточной мощности может возникнуть необходимость в подвозе недостающего количества растительного грунта.

Строительные нормы не содержат обязательного требования о создании растительного слоя на грунтовой поверхности аэродрома. В некоторых условиях строительства мощность растительного слоя может оказаться очень мала или даже близка к нулю. В этих условиях прибегают к другим способам укрепления грунтовой поверхности. Завоз на летное поле недостающего объема растительного грунта бывает возможен лишь в исключительных случаях.

Обозначим мощность (толщину) растительного слоя через $h_р$ (располагаемая толщина), а растительного слоя, предусмотренного проектом, через $h_н$ (необходимая толщина). Рассмотрим три случая возможных соотношений $h_р$ и $h_н$.

1-й случай. Располагаемая толщина растительного слоя равна его необходимой толщине ($h_р = h_н$).

На рис. 105 и 106 схематически показаны операции, которые выполняют при создании растительного слоя на участках выемки и насыпи.

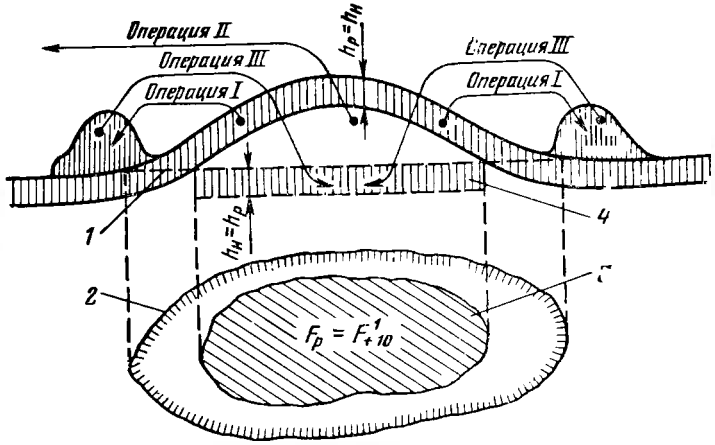


Рис. 105. Операции по снятию и восстановлению растительного слоя на участках выемки при $h_р = h_н$:
1 — проектная поверхность; *2* — нулевая линия; *3* — изолиния 10 см; *4* — корыто

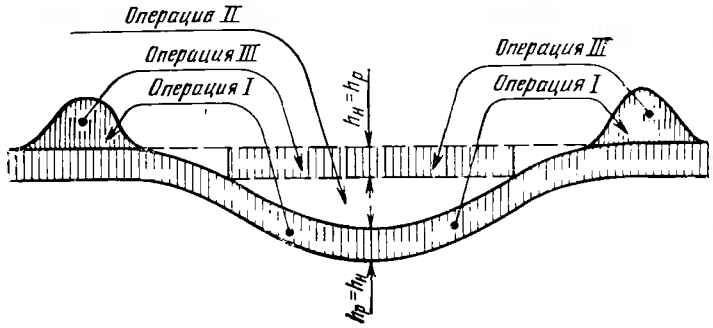


Рис. 106. Операции по снятию и восстановлению растительного слоя на участках насыпи при $h_р = h_н$

При выполнении первой операции снимают и обваловывают растительный слой. Обвалование осуществляют преимущественно в местах с нулевыми рабочими отметками. При больших площадях выемок допускается обвалование растительного грунта отдельными полосами в пределах контуров выемок. Обвалование растительного грунта за пределами контуров насыпей и выемок может быть односторонним и двусторонним.

Вторая операция включает работы с минеральным грунтом. На участке выемки разработку минерального грунта производят до отметок, меньших отметок проектной поверхности на толщину растительного слоя, т. е. отрывают корыто глубиной $h_р = h_н$. После выполнения последующей, третьей операции —

разравнивания растительного грунта — отметки поверхности благодаря наличию корыта станут равными проектным.

На участке насыпи минеральный грунт отсыпают также до отметок, меньших отметок проектной поверхности на величину $h_н$.

После разравнивания растительного грунта отметки поверхности достигают проектных (см. рис. 106).

Несмотря на указанное отличие отметок поверхности от проектных объем работ с минеральным грунтом не меняется и остается равным объему земляных работ, определенных для данного участка ранее рассмотренными способами. В случае выемки уменьшение объема работ с минеральным грунтом за счет снятия растительного слоя одновременно сопровождается его увеличением на такую же величину за счет создания корыта. Для насыпи предварительное снятие растительного грунта увеличивает объем работ с минеральным грунтом. На этот объем одновременно уменьшается на такую же величину ввиду уменьшения высоты отсыпки минерального грунта.

Таким образом, объем работ с минеральным грунтом не меняется, но появляется дополнительный объем работ с растительным грунтом, который приближенно можно определить по формуле

$$V_{раст} = F_{раст} h_н .$$

Площадь работ с растительным грунтом может быть приближенно принята равной площади, ограниченной нулевой изолинией. Однако при этом получается несколько завышенный объем работ с растительным грунтом. Учитывая, что при рабочих отметках, равных 10—12 см и менее, производятся планировочные работы, площадь работ с растительным грунтом можно принимать равной площади, ограниченной изолинией ± 10 см. Тогда объем дополнительных работ с растительным грунтом можно определить по формуле $V_{раст} = F_{\pm 10} h_н$.

2-й случай. Располагаемая толщина растительного слоя меньше его необходимой толщины ($h_р < h_н$).

Объем растительного грунта на участке выемки и насыпи (рис. 107), с которым производят операции, рассмотренные в предыдущем случае, определяется по формуле $v_1 = F_{\pm 10} h_р$. Объем привозного растительного грунта $v_2 = F_{\pm 10}(h_н - h_р)$.

Объемы V_1 и V_2 следует рассматривать отдельно, так как расстояния их перемещения и условия разработки различны. Недостающее количество растительного грунта может быть подвезено из пределов летного поля, с других участков глубинных работ или с участков искусственных покрытий. Согласно правилам производства строительных работ, растительный грунт полностью или частично удаляют из-под искусственных покрытий и его можно использовать для создания растительно-

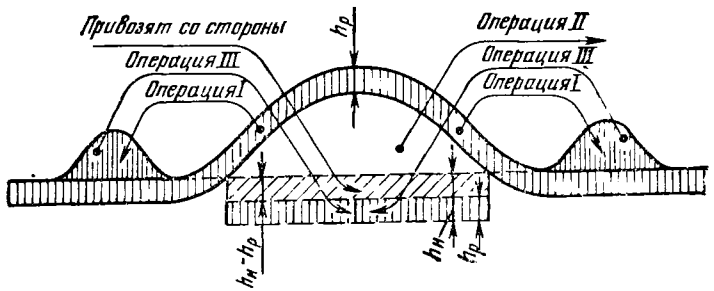


Рис. 107. Операции по снятию и восстановлению растительного слоя при $h_р < h_н$

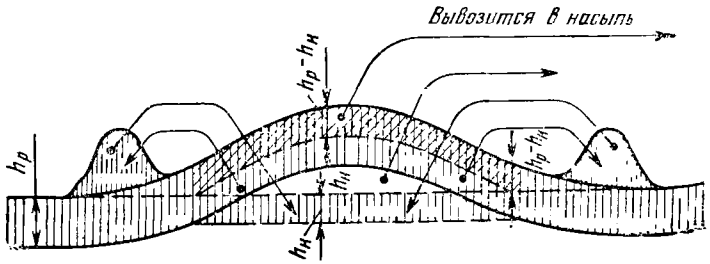


Рис. 108. Операции по снятию и восстановлению растительного слоя при $h_р > h_н$

го слоя. В этом случае объем растительного грунта V_2 не включается в объем дополнительных работ с растительным грунтом, так как он уже учтен в объеме земляных работ при устройстве корыта под искусственным покрытием.

При определении объемов земляных работ с минеральным грунтом следует учитывать некоторые особенности. Объем минерального грунта на участках выемки, вычисленный ранее без учета работ с растительным грунтом, следует увеличивать на величину V_2, так как корыто на этих участках отрывается на дополнительную глубину, равную $h_н - h_р$ (см. рис. 107). На участках насыпи, наоборот, объем минерального грунта должен быть уменьшен на величину V_2 за счет объема растительного грунта, подвозимого со стороны.

3-й случай. Располагаемая толщина растительного слоя больше его необходимой толщины ($h_р > h_н$).

На участках выемки дополнительные работы с растительным грунтом производят лишь на площади, ограниченной изолинией рабочей отметки $h_р - h_н$, так так после земляных работ вне этого контура остается слой растительного грунта толщиной более $h_н$ (рис. 108).

Тогда объем дополнительных работ с растительным грунтом $V_{раст} = F_{h_н - h_р} h_н$,

где $F_{h_р - h_н}$ — площадь, ограниченная изолинией рабочей отметки $(h_р - h_н)$.

При больших мощностях располагаемого растительного слоя возможен случай, когда после выполнения земляных работ толщина оставшегося растительного слоя на всей площади выемки будет равна или превышать его необходимую толщину $h_н$. При этом дополнительных работ с растительным грунтом не будет. Избыточный объем растительного грунта можно использовать для создания растительного слоя на других участках глубинных земляных работ.

На участке насыпи предварительно снимают и обваловывают растительный слой толщиной $h_н$, который затем возвращают в контур глубинных работ. В этом случае объем дополнительных работ с растительным грунтом: $V_{раст} = F_{+10} h_н$.

Растительный слой на участках насыпи можно полностью или частично создать за счет излишков растительного грунта, снятого при разработке выемок. При этом подвозимый с участков выемок растительный грунт не включают в объем дополнительных работ.

В некоторых районах строительства растительный грунт представляет собой большую ценность для народного хозяйства. Использование его в этих условиях для отсыпки насыпей или захоронение растительного грунта под слоем минерального грунта становится крайне нежелательным. В связи с этим возможны указания планирующих государственных органов о вывозе всех излишков растительного грунта в места, где он может быть использован для нужд сельского хозяйства.

§ 31. Вычисление объемов земляных работ в пределах искусственных покрытий

В пределах площади искусственных покрытий растительный грунт предварительно снимают, а затем либо разравнивают на поверхности прилегающих к покрытиям грунтовых участков слоем 10—20 см, либо направляют на участки глубинных земляных работ для создания растительного слоя.

Растительный грунт можно снимать из-под покрытия не на всю толщину. При большой мощности растительного слоя удаляется лишь его верхняя часть толщиной 15—20 см, наиболее богатая гумусом и корневыми остатками.

Объем растительного грунта, удаляемого из-под покрытия, определяется как произведение площади искусственных покрытий F на среднюю толщину удаляемого растительного грунта $h_р$:

$$V_{раст} = F h_р .$$

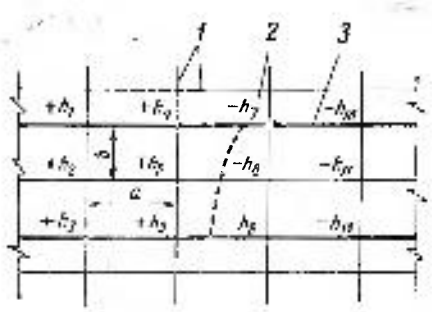


Рис. 109. План корыта:
1 — сетка квадратов; *2*—рабочие отметки дна корыта; 3 — контур покрытия

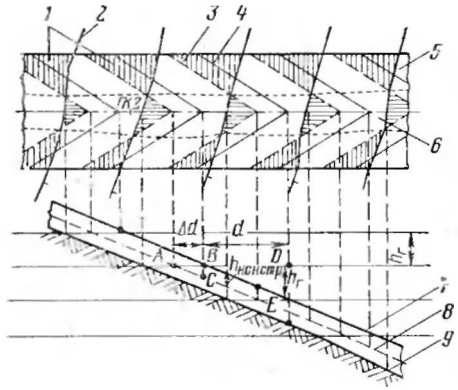


Рис. 110. Определение объема работ с минеральным грунтом способом горизонтальных профилей:
***1* — горизонтальные профили; *2* — черные горизонтали; *3* — горизонтали дна корыта; *4* — горизонтали поверхности покрытия; *5* — выемка; *6* — насыпь; *7* — поверхность покрытия; *8* — дно корыта; *9* — естественная поверхность**

Для определения объема работ с минеральным грунтом используют способ квадратов или способ горизонтальных профилей. Выбор того или иного способа зависит от характера исходных данных, т. е. от стадии проектирования.

Способ горизонтальных профилей может быть использован на стадии технического проекта, когда поверхность искусственных покрытий задана горизонталями, а способ квадратов—на стадии рабочих чертежей, когда поверхность покрытий задана числовыми отметками.

Так как ширина элементов аэродрома с искусственными покрытиями обычно не кратна 40 м, то в пределах покрытий в плане образуются не квадраты, а прямоугольники (рис. 109). Поэтому применительно к покрытиям рассмотренный способ квадратов правильнее именовать способом прямоугольников.

Объем выемки или насыпи:

в пределах полного прямоугольника

$$V_{в\,и} = \frac{ab}{400} \sum h,$$

в переходных прямоугольниках

$$V_в = \frac{ab\,(\sum h_в)^2}{400 \sum h}; \quad V_н = \frac{ab\,(\sum h_н)^2}{400 \sum h},$$

где a и b — стороны прямоугольников, м; Σh — сумма абсолютных значений всех рабочих отметок одного прямоугольника, см; $\Sigma h_в$, $\Sigma h_н$ — суммы рабочих отметок выемки или насыпи в пределах одного прямоугольника, см.

На участках узлов переходные плоскости, как известно, могут образовать в плане различные геометрические фигуры

(треугольники, трапеции и пр.). Определение объема работ в пределах таких фигур ведется по формуле

$$V_{в\,и} = F h_{ср},$$

где F — площадь фигуры, м²; $h_{ср}$ — средняя рабочая отметка в пределах фигуры, м.

Для определения объема работ с минеральным грунтом способом горизонтальных профилей необходимо знать площади контуров, заключенных между одноименными проектными и черными горизонталями.

Применительно к рассматриваемому вопросу проектными будут горизонтали дна корыта, а черными — горизонтали естественной поверхности с учетом предварительного снятия растительного слоя. При построении проектных горизонталей следует исходить из того, что дно корыта по своему очертанию повторяет поверхность покрытия (если пренебречь некоторыми отклонениями в пределах открытых лотков), а в высотном отношении расположена ниже на толщину конструкции покрытия $h_{констр}$. Таким образом, горизонтали дна корыта, во-первых, будут параллельны горизонталям поверхности покрытия; и, во-вторых, смещены против уклона на некоторую величину Δd (рис. 110). Величина этого смещения (в мм) определяется из подобия треугольников ABC и BDE:

$$\Delta d = d \frac{h_{констр}}{h_{гор}} \frac{10^3}{\mu},$$

где d — заложение горизонталей поверхности покрытия, м; $h_{констр}$ — толщина покрытия, м; $h_{гор}$ — сечение горизонталей, м; μ — знаменатель масштаба плана.

Аналогичным образом можно построить горизонтали поверхности земли, полученной после снятия растительного слоя:

$$\Delta d_0 = d \frac{h_р}{h_{гор}} \frac{10^3}{\mu}.$$

Полагая $d = \frac{h_{гор}}{i_{ест}}$, получаем $\Delta d_0 = \frac{h_р}{i_{ест}} \frac{10^3}{\mu}$,

где $h_р$ — толщина снимаемого растительного слоя; $i_{ест}$ — средний продольный уклон естественной поверхности на рассматриваемом участке.

Оценим порядок величины смещения горизонталей. Для этого примем масштаб плана 1:5000, $h_р = 0{,}20$ м, $i_{ест} = 0{,}02$. При таких данных $\Delta d_0 = \frac{0{,}20}{0{,}20} \cdot \frac{10^3}{5 \cdot 10^3} = 2$ мм.

Имея в виду столь незначительное смещение горизонталей естественной поверхности после снятия растительного слоя, неизбежные дополнительные графические погрешности и требуемую точность определения объема земляных работ на стадии технического проекта, в целях упрощения можно воспользоваться горизонталями естественной поверхности без учета снятия растительного слоя. Тогда горизонтальные профили будут образовываться одноименными горизонталями дна корыта и черными горизонталями естественной поверхности.

В результате упрощения несколько увеличивается объем земляных работ на участках выемок и уменьшается на участках насыпей.

В целях некоторого уточнения можно полученный таким путем объем работ с минеральным грунтом на участках выемки уменьшить, а на участках насыпи увеличить на величину объема предварительно снимаемого растительного грунта:

$$V_р = F_{в/и}\, h_р,$$

где $F_{в/н}$ — площадь покрытия на участке выемки (насыпи), м^2; $h_р$ — толщина снимаемого растительного грунта, м.

На участках РД ввиду их относительно малой ширины подсчет объемов земляных работ на плане масштаба 1:5000 методом горизонтальных профилей оказывается весьма затруднительным. В этих случаях для определения объема земляных работ можно воспользоваться методом поперечных профилей.

Площади поперечных сечений можно определить по известным значениям ширины РД, поперечных уклонов РД и черной поверхности, толщины конструкции покрытия и рабочих отметок. Величину рабочих отметок в рассматриваемых поперечных сечениях определяют интерполяцией, используя черные и проектные горизонтали.

Тогда объем насыпи или выемки, заключенный между двумя соседними поперечниками,

$$V_{в/н} = \frac{F_1 + F_2}{2}\, l,$$

где F_1 и F_2 — площади поперечных профилей, м^2; l — расстояние между поперечниками, м.

Для определения объема земляных работ на протяжении всей РД нужно суммировать объемы работ между поперечниками отдельно по насыпям и выемкам.

§ 32. Схема перемещения грунта

После определения контуров массивов насыпей и выемок и их объемов возникает необходимость рационально реализовать разработанный проект вертикальной планировки. В зависимости от естественного рельефа и решения проектной поверхности, выемки и насыпи могут быть размещены на плане самым различным образом.

Существует множество вариантов перемещения грунта из выемок в насыпи. В связи с этим возникает вопрос о выборе наиболее экономичного варианта. В итоге однозначно должно быть определено: откуда, в каком количестве и куда должен перемещаться растительный и минеральный грунт.

Основным критерием при решении этой задачи является величина суммарной работы по перемещению земляных масс из выемок в насыпи, которая может быть выражена как сумма произведений всех массивов грунта на расстояние их перемещения:

$$W = \sum V_i l_i,$$

где V_i — объем i-го массива грунта, м^3; l_i — расстояние перемещения i-го массива грунта, м.

От схемы перемещения грунта зависит в конечном счете себестоимость производства земляных работ, выбор числа и типов землеройных и землеройно-транспортных машин и продолжительность производства работ.

Выбор схемы перемещения грунта включает в себя решение следующих вопросов: определение центров тяжести отдельных массивов выемок и насыпей; определение расстояний между центрами тяжести массивов насыпей и выемок (средние дальности перемещения грунта); разработку самой схемы перемещения грунта; оценку решения по технико-экономическим показателям.

При решении задачи о перемещении земляных масс следовало, строго говоря, считать объемы грунта, заключенные внутри квадратов, как элементарные объемы и рассматривать перемещение грунта между квадратами выемки и квадратами насыпи. Но такой путь решения является весьма сложным и громоздким. С некоторым приближением эту задачу можно решать, беря в качестве элементарных объемы, заключенные внутри отдельных контуров выемок и насыпей. Тогда можно принять, что расстояние между центрами тяжести массивов выемок и насыпей будет дальностью перемещения грунта. Оно является средним расстоянием перемещения заданного объема грунта. Учитывая, что от среднего расстояния перемещения грунта зависит сметная стоимость строительства и выбор машин для производства земляных работ, для повышения точности решения целесообразно дополнительно делить отдельные массивы на части, рассматривая каждую из них как самостоятельный массив.

Положения центров тяжести массивов грунта и расстояния между ними часто определяют на глаз, что приводит к суще-

ственному искажению стоимости строительства. Глазомерное определение положения центра тяжести массива может быть в известной мере оправдано при несложном очертании его контура и более или менее симметричном размещении величин рабочих отметок относительно его геометрического центра. В других случаях положение центра тяжести массива грунта можно определить, используя аналитический способ, предложенный проф. Е. Ф. Страментовым в 1941 г. Для определения положения центра тяжести этим способом оси прямоугольных координат совмещают с направлениями нивелировочной сетки (рис. 111). Статические моменты массива относительно осей OX и OY определятся как произведение всего объема массива на расстояние от центра тяжести до соответствующей оси, т. е.

$$M_x = V_{\text{общ}}\, y_{\text{ц.т}};\ M_y = V_{\text{общ}}\, x_{\text{ц.т}}.$$

В то же время эти статические моменты могут быть определены как сумма статических моментов объемов, заключенных соответственно в вертикальных и горизонтальных полосах, образованных квадратами:

$$M_x = \sum_{j=1}^{m} V_{xj}\, y_j;\ M_y = \sum_{i=1}^{n} V_{yi}\, x_i,$$

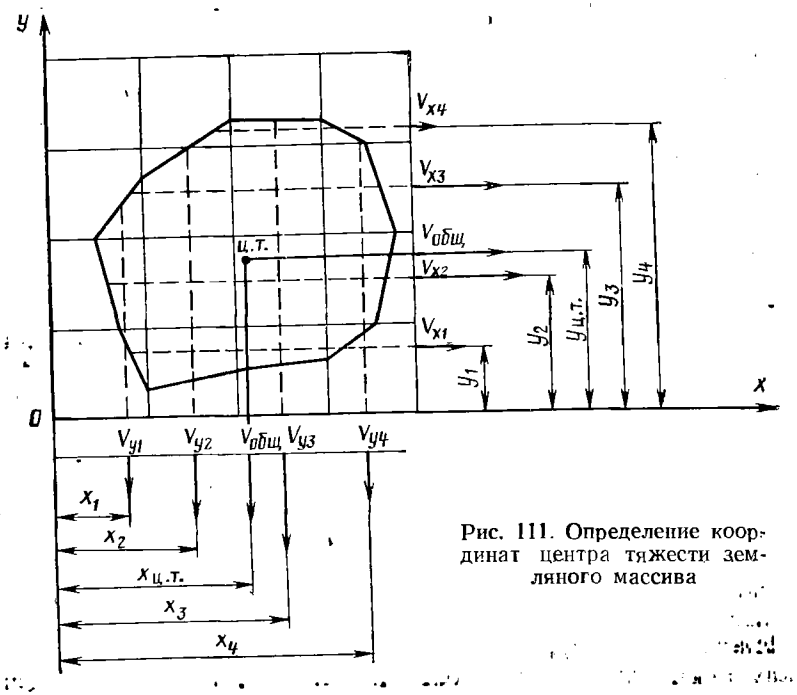


Рис. 111. Определение координат центра тяжести земляного массива

где x_i, y_i — расстояния от соответствующих осей координат до средней линии i-й вертикальной и j-й горизонтальной полосы квадратов; V_{y_i}, V_{x_j} — объемы земляных работ соответственно в i-й вертикальной и j-й горизонтальной полосах квадратов.

Приравнивая соответствующие выражения, получаем:

$$x_{\text{ц.т}} = \frac{\Sigma V_{yi}\, x_i}{V_{\text{общ}}};\quad y_{\text{ц.т}} = \frac{\Sigma V_{xj}\, y_j}{V_{\text{общ}}}.$$

Как следует из приведенных рассуждений при определении искомых координат, сделано допущение о том, что частные объемы грунта сосредоточены в центре тяжести квадратов или его частей, образованных пересечениями нулевой линии. Это допущение несколько снижает точность рассматриваемого способа.

Средняя дальность перемещения определяется по известной из аналитической геометрии формуле

$$L_{\text{ср}} = \sqrt{(x_{\text{ц.т(н)}} - x_{\text{ц.т(в)}})^2 + (y_{\text{ц/т(н)}} - y_{\text{ц.т(в)}})^2},$$

где $x_{\text{ц.т(н)}}$, $x_{\text{ц.т(в)}}$, $y_{\text{ц.т(н)}}$, $y_{\text{ц.т(в)}}$ — координаты центров тяжестей насыпи и выемки.

§ 33. Использование математических методов и ЭВМ при проектировании вертикальной планировки

Проект вертикальной планировки можно условно разделить на творческую часть и часть, требующую механического исполнения. К первой относится определение очертания и высотного положения проектной поверхности и разработка схемы перемещения грунта, ко второй — прежде всего подсчет объемов земляных работ, т. е. выполнение простейших расчетно-графических операций, не требующих творческого мышления.

Множество факторов, которые приходится учитывать при решении проектной поверхности, и значительный объем вычислений, связанный с разработкой проекта вертикальной планировки, усложняют поиск оптимального решения. В результате эксплуатационные, строительные и экономические показатели проекта вертикальной планировки аэродрома становятся в значительной степени зависимыми от квалификации и опыта инженера-проектировщика. В связи с этим представляется весьма актуальным внедрение электронно-вычислительной техники и математических методов.

Исследования методов и программ для решения на ЭВМ задач проектирования поверхности летных полос к настоящему времени достигли такого уровня, когда появилась возможность их практического использования [8]. Эти методы и программы были опробованы при проектировании реальных объектов и дали положительные результаты.

Целевая функция, оптимизирующая проектный продольный профиль летной полосы, учитывает такие показатели, как объем земляных работ на полосе, обочинах и сопряжениях полосы с грунтовой частью летного поля, возвышение кромок покрытия над грунтовой поверхностью, число изломов проектной линии.

Нормативные эксплуатационные и строительные требования, предъявляемые к проектному профилю летной полосы, учитываются системой ограничений, с помощью которой в ходе оптимизации отбрасываются все недопустимые решения.

В практике проектирования аэродромов схему перемещения грунта чаще всего инженер-проектировщик решает, руководствуясь некоторыми требованиями (минимальное расстояние, непересечение путей перемещения грунта и некоторые др.), реализация которых зависит от опыта проектировщика. При таком способе нет гарантии, что даже опытный инженер найдет оптимальное решение. Изучение этого вопроса [12] показало, что планы распределения грунта, составленные таким путем, отличаются по трудоемкости от оптимальных в среднем на 10—15%. Это может значительно удорожить строительство аэродрома, поскольку стоимость перемещения грунта из выемок в насыпи составляет, как правило, наибольшую часть общей стоимости земляных работ.

Учитывая, что контуры и объемы выемок и насыпей могут размещаться на территории участка самым различным образом, количество вариантов перемещения грунта при одних и тех же исходных данных может измеряться большим числом. Для получения единственного, оптимального решения необходима объективная методика.

Оптимизация схемы перемещения грунта может быть осуществлена с помощью алгоритмов транспортной задачи, являющейся частным случаем общей задачи линейного программирования. При сравнительно небольшом числе выемок и насыпей (порядка 10—15) решение схемы перемещения грунта в транспортной постановке может быть осуществлено вручную.

Сущность транспортной задачи состоит в следующем. Из ряда пунктов надо перевезти груз в несколько других пунктов. При этом известно, сколько груза имеется в каждом пункте отправления и сколько его требуется для каждого пункта назначения. Также известны стоимости перевозки единицы груза из каждого пункта отправления до каждого пункта назначения. Требуется установить, сколько и в какие пункты надо перевезти груза из каждого пункта отправления, чтобы весь груз был доставлен туда, где он требуется, а общая стоимость транспортной работы была минимальной.

При решении задачи приближенно полагаем, что стоимость возки единицы груза пропорциональна расстоянию перемещения. Тогда критерием оптимальности решения транспортной задачи станет суммарная работа транспортных средств по перемещению грузов.

В дальнейшем постановку транспортной задачи рассмотрим применительно к решению схемы перемещения грунта. Допустим, имеется m выемок и n насыпей. Обозначим: l_{ij} — расстояние перемещения грунта из i-й выемки в j-ю насыпь; v_{ij} — объем грунта, перемещаемый из i-й выемки в j-ю насыпь; $v_{вi}$ — объем i-й выемки; $v_{нj}$ — объем j-й насыпи. Здесь и далее через i обозначены номера массивов выемок ($i=1, 3, 5, \ldots, m$ — нечетные числа), а через j — номера массивов насыпей ($j=2, 4, 6, \ldots, n$ — четные числа).

В этих обозначениях условия транспортной задачи можно сформулировать следующим образом:

из каждой выемки (включая резервы) должно быть перевезено в насыпи количество грунта, равное объему этой выемки:

$$V_{вi} = \sum_{j=2}^{n} V_{ij}; \qquad (35)$$

в каждую насыпь (включая кавальеры) должно быть перевезено количество грунта, равное объему этой насыпи:

$$V_{нj} = \sum_{i=1}^{m} V_{ij}; \qquad (36)$$

суммарные объемы выемок и насыпей (с учетом резервов и кавальеров) должны быть равны:

$$\sum_{i=1}^{m} V_{вi} = \sum_{j=2}^{n} V_{нj}. \qquad (37)$$

При выполнении этих условий требуется найти оптимальное решение схемы перемещения грунта, соответствующее минимальной суммарной работе по транспортировке земляных масс из выемок в насыпи

$$W = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=2}^{n} V_{ij} l_{ij} \quad \min. \qquad (38)$$

Из приведенных условий следует, что все объемы грунта должны быть неотрицательными, т. е. $V_{вi} > 0$, $V_{нj} > 0$, $V_{ij} \geqslant 0$.

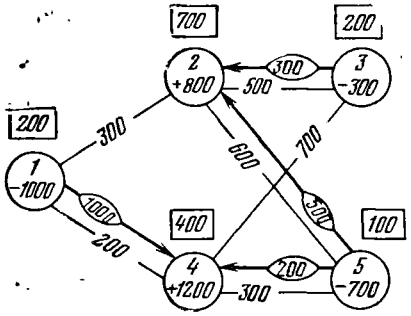


Рис. 112. Определение базисного плана перемещения грунта

В настоящее время разработан ряд алгоритмов решения транспортной задачи с выполнением расчетов вручную и на ЭВМ. При сравнительно небольшом числе выемок и насыпей (порядка 10—15) более эффективным является расчет вручную. Ниже рассмотрен один из таких алгоритмов, основанный на методе решения транспортной задачи, названном *методом потенциалов*. Идеи метода потенциалов разработаны акад. Л. В. Конторовичем в 1940 г.

Метод потенциалов основан на последовательном улучшении некоторого первоначального решения, называемого *базисным планом*, который является одним из множества допустимых решений задачи, поэтому обязательно должен удовлетворять условиям (35)—(37). В результате последовательных улучшений должно быть получено единственное *оптимальное решение (оптимальный план)*, которое, кроме того, должно удовлетворять условию (38). Чем лучше базисный план, т. е. чем ближе к оптимальному, тем меньше нужно сделать шагов (итераций) для получения оптимального плана. Поэтому прежде всего встает вопрос о нахождении базисного плана.

Транспортная задача может решаться методом потенциалов как в матричной, так и в сетевой постановке. В первом случае исходные данные для решения задачи оформляются в виде таблицы (матрицы), во втором — графически в виде схемы транспортной сети с нанесенными на нее пунктами расположения поставщиков и потребителей. Применительно к рассматриваемой задаче графическое изображение наиболее удобно и наглядно.

Для пояснения постановки и решения задачи в сетевой форме рассмотрим пример. На рис. 112 условно изображены три выемки и две насыпи с указанием их объемов. Выемки пронумерованы нечетными числами, насыпи четными. Каждой выемке и насыпи соответствует кружок, называемый *вершиной*. Они соединены линиями *(ребрами)*, показывающими, что между соответствующими выемками возможно движение транспортных средств. Если такое движение между вершинами невозможно (например, между выемкой и насыпью расположена ИВПП), то ребра не проводят. Каждому ребру соответствует определенное расстояние перемещения (между центрами тяжести массивов).

Изображенная схема не обязательно выполняется в масштабе, она должна количественно отражать исходные данные.

Решение задачи начинается с определения базисного плана. Смысл дальнейших действий сводится к последовательному улучшению этого плана вплоть до получения оптимального. Существует ряд способов его получения. Рассмотрим наиболее простой из них.

Распределение грунта начинаем с любой из вершин, соответствующей выемке (например, с вершины *1*). Рассмотрим примыкающие к вершине два ребра. Показатель ребра (расстояние перемещения) *1—4* меньше, следовательно, целесообразно вывозить грунт из выемки *1* именно по этому ребру. Направление перемещения грунта из одной вершины в другую будем обозначать стрелками, указывая на них объем грунта. Итак, рисуем стрелку от вершины *1* к вершине *4* и ставим на ней число 1000. Из вершины *3* перемещаем все 300 м³ грунта в вершину *2*. В вершину *2* перемещаем также 500 м³ грунта из вершины *5*, а оставшиеся в вершине *5* 200 м³ грунта перемещаем в вершину *4*. Таким образом, при определении базисного плана мы руководствовались принципом расстановки стрелок в первую очередь вдоль ребер с наименьшими расстояниями перемещения грунта.

По формуле (38) определим суммарную работу по перемещению грунта:

$$W = \sum_{i=1}^{5} \sum_{j=2}^{4} V_{ij} l_{ij} = 300 \cdot 500 + 500 \cdot 600 + 1000 \cdot 200 + 200 \cdot 300 =$$

$$= 710 \cdot 10^3 \text{ м}^3 \cdot \text{м}$$

Можно сформулировать следующие требования к базисному плану применительно к сетевой постановке задачи:

объем каждой выемки должен быть полностью распределен, а в каждую насыпь должен быть перевезен требуемый объем грунта;

к каждой вершине должна подходить или выходить из нее хотя бы одна стрелка;

общее количество стрелок должно равняться количеству вершин минус единица;

стрелки не должны образовывать замкнутую цепь, т. е. начав движение из какой-либо вершины по стрелке и переходя от одной стрелки к другой (не обращая при этом внимание на их направление), нельзя вернуться в ту же вершину.

Найденный таким путем базисный план является допустимым и лишь случайно может оказаться оптимальным. Поэтому следующий этап решения состоит в проверке этого плана на оптимальность с помощью потенциалов.

Потенциалами называются числа, определяемые следующим образом. Произвольно присваиваем одной из вершин потенциал. Пусть потенциал вершины *1* будет равен $P_1 = 200$. За-

писываем его в квадратике около вершины. Потенциалы вершины будем определять, двигаясь от вершины к вершине по линиям стрелок. От вершины *1* отходит одна стрелка к вершине *4*. Прибавив к потенциалу вершины *1* расстояние l_{14}, получим потенциал вершины *4*:

$$P_4 = P_1 + l_{14} = 200 + 200 = 400.$$

К вершине *4* подходит стрелка от вершины *5*. Ее направление противоположно направлению нашего движения, поэтому расстояние перемещения, соответствующее данной стрелке, вычитается:

$$P_5 = P_4 - l_{45} = 400 - 300 = 100.$$

Таким же путем определяем потенциалы других вершин

$$P_2 = P_5 + l_{52} = 100 + 600 = 700; \quad P_3 = P_2 - l_{23} = 700 - 500 = 200.$$

Далее, для проверки правильности выбора плана требуется знать *характеристики* ребер, которые определяются следующим образом. Любому ребру соответствуют два потенциала. Из большего потенциала вычитаем меньший, а разность вычитаем из расстояния перемещения, соответствующего данному ребру. Например, характеристика равна: для ребра *1—2*

$$E_{12} = l_{12} - (P_2 - P_1) = 300 - (700 - 200) = -200,$$

для ребра *1—4* $E_{14} = l_{14} - (P_4 - P_1) = 200 - (400 - 200) = 0$,

для ребра *3—4* $E_{34} = l_{34} - (P_4 - P_3) = 700 - (400 - 200) = 500$.

Характеристики ребер, которые уже имеют стрелки, всегда будут равны нулю. Это легко показать, например, на ребре *1—4*:

$$E_{14} = l_{14} - (P_4 - P_1) = l_{14} - (P_1 + l_{14} - P_1) = 0.$$

Этот результат для ребра *1—4* уже был получен выше. Поэтому характеристики следует определять только для ребер, не имеющих стрелок.

Признаком неудачного выбора плана распределения грунта является наличие хотя бы одной отрицательной характеристики ребра без стрелки. Это указывает на то, что существует лучшее решение. Для приближения к этому решению необходимо перераспределить грунт. Доказано, что перераспределение нужно производить так, чтобы в него обязательно попало ребро без стрелки, имеющее наибольшую по абсолютной величине отрицательную характеристику. В нашем примере такая характеристика соответствует ребру *1—2*.

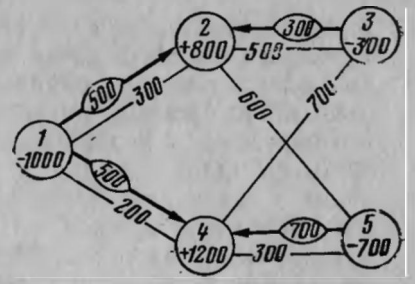


Рис. 113. Оптимальный план перемещения грунта

Для перераспределения грунта составляется *цепь* — замкнутая фигура, состоящая из ребра без стрелки, по которому она строится (ребра *1—2*), и ребер со стрелками. Направление стрелок здесь не принимается во внимание. В нашем примере цепь, помимо ребра *1—2*, включает ребра *2—5*, *5—4* и *4—1*.

Перераспределение грунта производим в следующем порядке (рис. 113). Вводим новую стрелку в ребре, по которому построена данная цепь (ребро *1—2*). Обводя цепь по направлению новой стрелки, отмечаем стрелки, имеющие противоположное направление. Среди них выбирается стрелка с наименьшим объемом перемещаемого грунта (у нас стрелка *2—5* с объемом перемещаемого грунта 500 м³). Этот объем прибавляем ко всем объемам в стрелках, имеющих то же направление, что и новая стрелка, и вычитаем из объемов в стрелках, имеющих противоположное направление. Объемы в стрелках, не входящих в цепь, остаются неизменными. В результате обязательно исчезает одна старая стрелка и появляется одна новая; получаем новый план распределения грунта, для которого критерий оптимальности имеет величину:

$$W = \sum_i \sum_j V_{ij} l_{ij} = 300 \cdot 500 + 500 \cdot 200 + 700 \cdot 300 + 500 \cdot 300 = 610 \cdot 10^3 \text{ м}^3 \cdot \text{м}.$$

Величина критерия снизилась на 10^5 ед., т. е. план существенно улучшен. Полученный план проверяют еще раз и при необходимости все операции повторяют. Этот процесс продолжается до тех пор, пока все характеристики не станут положительными, что служит признаком оптимальности плана.

Если потенциал вершины *1* оставить равным $P_1 = 200$, то потенциалы вершин для нового плана будут иметь величины $P_2 = 500$, $P_3 = 0$, $P_4 = 400$, $P_5 = 100$, а характеристики ребер без стрелок будут равны:

$$E_{25} = l_{25} - (P_2 - P_5) = 600 - (500 - 100) = 200;$$

$$E_{34} = l_{34} - (P_4 - P_3) = 700 - (400 - 0) = 300.$$

Отрицательных характеристик нет, следовательно, найденное распределение грунта является оптимальным.

При значительном числе выемок и насыпей рационально использовать ЭВМ. В этом направлении уже выполнены некоторые исследования [8]. Одним из важных результатов этих исследований явилась разработка математической модели оптимизации схемы перемещения грунта, учитывающей возможность небаланса земляных работ в пределах аэродрома и наличие в связи с этим дополнительных выемок или насыпей за его пределами. Данная математическая модель была реализована в программе для ЭВМ М-220, использующей для решения транспортной задачи симплекс-метод.

Использование ЭВМ для подсчета объемов земляных работ дало обнадеживающие результаты. К настоящему времени разработаны и используются алгоритмы и программы, реализуемые на ЭВМ, для подсчета объемов земляных работ при проектировании автомобильных и железных дорог.

Задача автоматизации подсчета объемов земляных работ при проектировании аэродромов на стадии рабочих чертежей исследовалась Ю. А. Дранишниковым [7, 8]. Им разработаны и опробованы соответствующие алгоритм и программа, реализуемые на ЭВМ.

Алгоритм включает в себя подсчет объемов земляных работ внутри отдельных квадратов, суммирование объемов выемок и насыпей в пределах массивов, а также определение координат центров тяжестей этих массивов и расстояний между ними.

Использование ЭВМ для решения этих задач наряду с облегчением труда инженера-проектировщика и существенного сокращения времени, затрачиваемого на разработку проекта, значительно расширяет возможности вариантного проектирования. Это, в свою очередь, способствует разработке более экономичного и более совершенного в эксплуатационном отношении проекта аэродрома.

Глава VI. СОСТАВ, ОФОРМЛЕНИЕ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЕКТА ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛАНИРОВКИ

§ 34. Состав и оформление проекта

Проекты вертикальной планировки искусственных покрытий и грунтовой части аэродрома разрабатывают в комплексе и графически оформляют совместно на общих чертежах. Состав и оформление графических материалов проекта зависят от стадийности проектирования (см. § 3).

При проектировании аэропорта в две стадии проект вертикальной планировки на стадии технического проекта должен включать в себя следующие чертежи: продольный профиль по оси ИВПП (масштаб горизонтальный 1 : 5000, вертикальный 1 : 100 или 1 : 200); план вертикальной планировки (масштаб 1 : 5000, сечение горизонталей 0,50 м); схему перемещения грунта (масштаб 1 : 5000).

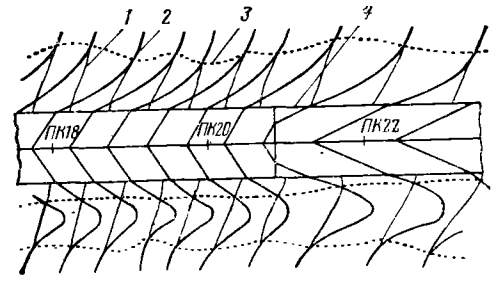


Рис. 114. План вертикальной планировки на стадии технического проекта:
1 — черные горизонтали; *2* — проектные горизонтали; *3* — нулевая линия; *4* — контуры покрытий

Здесь следует иметь в виду, что черные и проектные отметки продольного профиля на стадии технического проекта обозначают обычно через 100 м.

На плане *вертикальной планировки* показывают (рис. 114) контуры искусственных покрытий и пикетаж по оси ИВПП, черные и проектные горизонтали, линия нулевых работ, условные обозначения и примечания.

На *схеме перемещения грунта* показывают контуры искусственных покрытий, линии нулевых работ, номера выемок и насыпей, направления перемещения грунта с указанием объемов и расстояний перемещения (для растительного и минерального грунтов отдельно), помещают ведомость объемов земляных работ (см. табл. 5 и 6), ведомость перемещения минерального и растительного грунтов, условные обозначения и примечания.

На стадии рабочих чертежей проект должен содержать: продольный профиль по оси ИВПП (масштабы горизонтальный 1 : 2000, вертикальный 1 : 50); план вертикальной планировки (М 1 : 2000, сечение горизонталей через 0,25 м); картограмму земляных работ и схему перемещения грунта (М 1:2000; могут оформляться отдельно); план укладки покрытий в отметках (М 1:1000, 1:2000).

На чертеже непосредственно под продольным профилем удобно поместить план корыта искусственных покрытий с разбивкой его на прямоугольники длиной 40 м и шириной, равной половине ширины покрытия. Для четкости изображения план корыта по длине изображают в масштабе 1 : 2000, а по ширине в более крупном масштабе (например, в масштабе 1:1000). В вершине каждого прямоугольника подписывают отметку поверхности земли с учетом снятия растительного слоя, рабочую отметку и проектную отметку дна корыта. Внутри каждого прямоугольника проставляют объем насыпи (в числителе) и

объем выемки (в знаменателе) и проводят линии нулевых работ.

На план *вертикальной планировки* наносят (рис. 115) контуры летной полосы, ГВПП и ИВПП, нивелировочную сетку квадратов, черные и проектные горизонтали, линии нулевых работ. На грунтовой части аэродрома в каждой вершине квадрата пишут черные, проектные и рабочие отметки.

По искусственным покрытиям показывают черные и проектные отметки по оси ИВПП, черные, проектные и рабочие отметки на кромках покрытий и пикетаж по оси ИВПП.

Черные и проектные отметки надписывают в метрах, рабочие отметки — в сантиметрах. На участках насыпей перед рабочей отметкой ставят знак «+», на участках выемок «—». Проектные горизонтали изображают более утолщенными линиями по сравнению с черными горизонталями.

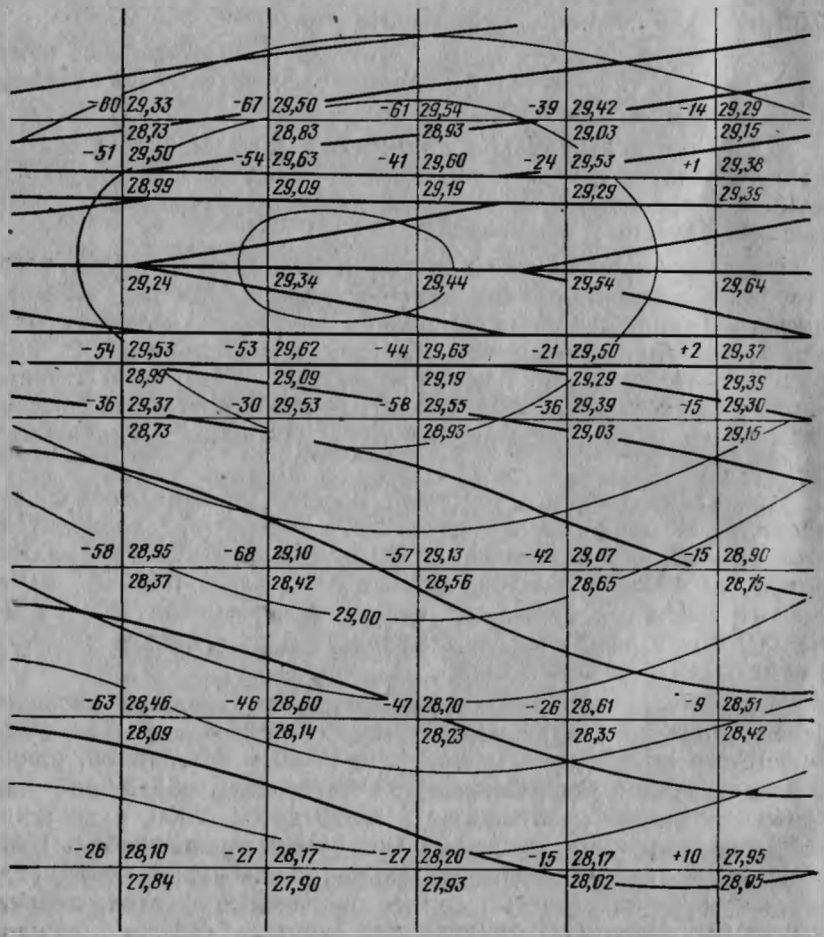


Рис. 115. План вертикальной планировки на стадии рабочих чертежей

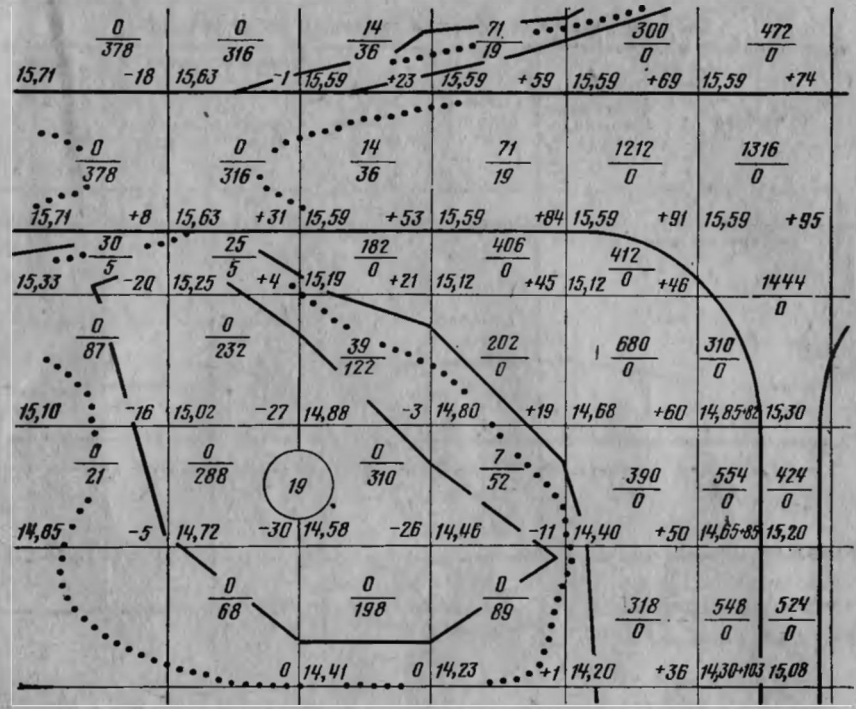


Рис. 116. Картограмма земляных работ

Картограмму земляных работ (рис. 116) разрабатывают на основе плана вертикальной планировки. На плане показывают:

по искусственным покрытиям — контуры покрытий и пикетаж, рабочие отметки дна корыта на кромках покрытий, по оси и на сопряжениях с прилегающими грунтовыми участками, объемы земляных работ в каждом прямоугольнике, образованном границами покрытий и нивелировочной сеткой квадратов.

по грунтовым участкам — нивелировочную сетку квадратов и реперы, проектные и рабочие отметки, линии нулевых работ и изолинии ±10 см, объемы работ в каждом квадрате, условные обозначения и примечания.

Массивы насыпей и выемок нумеруют: четными номерами — насыпи, нечетными — выемки. Это правило остается в силе и в том случае, когда число насыпей и выемок различно. Непосредственно на чертеже помещают сводные ведомости земляных работ по массивам насыпей и выемок отдельно (табл. 5 и 6).

Таблица 5

Сводная ведомость объемов земляных работ (насыпь)

№ контура	Площадь контура по изолинии +10 см, га	Объем грунта, м³	Объем грунта с учетом $K_{упл}$	Завозится грунта, м³		Объем растительного грунта, сохраняемого на месте, м³
				минерального	растительного	
1	2	3	4	5	6	7
2						
4						
.						
.						
ИВПП						
РД 1						
. . . .						
. . . .						
Перрон						
Итого						
Кавальер 10						
. . . .						
. . . .						
Всего						

Таблица 6

Сводная ведомость объемов земляных работ (выемка)

№ контура	Площадь контура по изолинии 10 см, га	Объем грунта, м³	Вывозится грунта, м³		Объем растительного грунта, сохраняемого на месте, м³
			минерального	растительного	
1	2	3	4	5	6
1					
3					
. . . .					
. . . .					
ИВПП					
РД 1					
. . . .					
. . . .					
Перрон					
Итого					
Карьер 15					
. . . . .					
Всего					

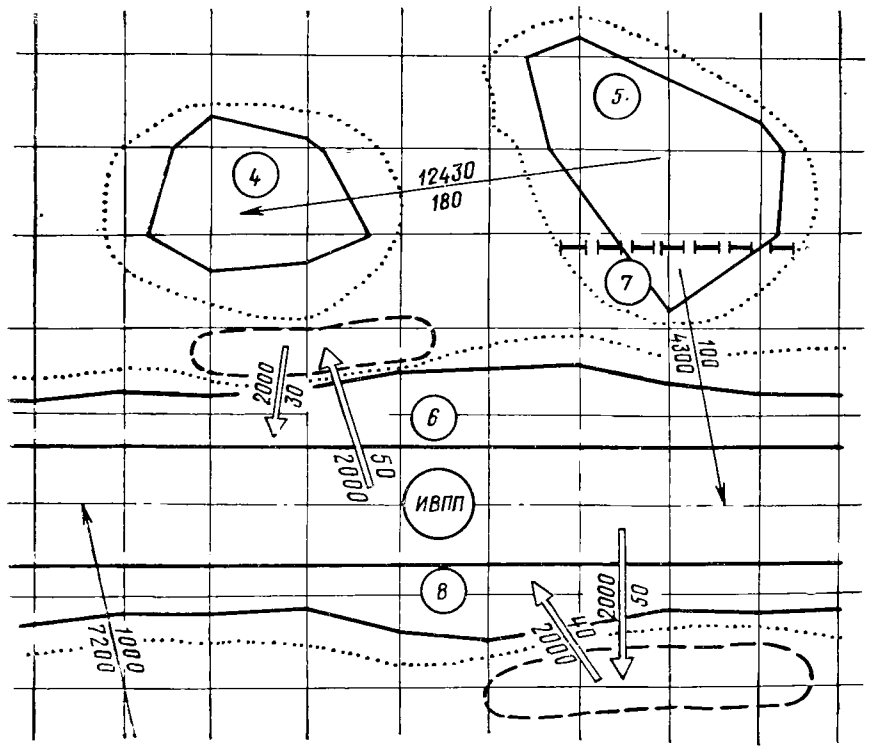


Рис. 117. Схема перемещения грунта

Объемы работ по каждому массиву насыпи, проставленные в графах 5 и 6 табл. 5, должны давать в сумме объем работ, проставленный в графе 4. Соответственно по каждому массиву выемки сумма объемов вывозимого минерального и растительного грунта, проставленных в графах 4 и 5 табл. 6, должны быть равны объему выемки, проставленному в графе 3.

Объемы работ в графе 6 табл. 5 и в графе 5 табл. 6 проставляются лишь в случаях, когда растительный грунт завозится в насыпь или вывозится из выемки. В последних графах таблиц проставляют объемы дополнительных работ с растительным грунтом, определяемые способами, изложенными в § 30.

При необходимости подвезти грунт со стороны из карьеров (резервов) или вывезти его за пределы летного поля в кавальеры соответствующие объемы проставляют в графы сводных ведомостей.

С учетом подвозимого грунта из карьеров и вывозимого в кавальеры общие суммы объемов земляных работ по графе 4 (насыпь) и графе 3 (выемка) должны в точности совпадать.

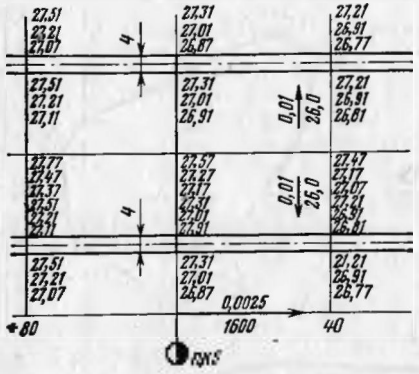


Рис. 118. План укладки покрытий в отметках

При определении объемов земляных работ необходимо учитывать следующее обстоятельство. При больших площадях планировочных работ с рабочими отметками одного знака требуется подвезти грунт со стороны или вывезти его за пределы этих участков. В этих случаях неоправданно относить работы к планировочным, а необходимо учитывать объемы подвозимого (вывозимого) грунта.

Схема перемещения грунта. Назначение схемы перемещения грунта и положения, которыми следует руководствоваться при ее разработке, изложены в § 32 и 33. Схему разрабатывают на основе картограммы земляных работ. На схеме должны быть показаны (рис. 117) границы летной полосы и ее рабочей части, границы насыпей и выемок по изолиниям ±10 см. Внутри контура каждого массива надписывают его номер, площадь по изолинии ±10 см и объем.

Направление перемещения грунта указывают стрелками, соединяющими центры тяжести массивов выемок и насыпей (отдельно для минерального и растительного грунта). Над каждой стрелкой надписывают объем перемещаемого грунта, а под стрелкой — расстояние перемещения в метрах. Если кавальеры или резервы грунта размещаются за пределами чертежа, стрелку прерывают.

При делении отдельных массивов насыпей или выемок на части на схеме должны быть показаны границы между этими частями.

На схеме обозначают также места складывания растительного грунта, снимаемого с площадей искусственных покрытий и с участков глубинных земляных работ. Здесь же приводят ведомость перемещения минерального растительного грунта (табл. 7).

Таблица 7

Ведомость перемещения грунта

Дальность возки, м	Объемы перемещаемого грунта, м³	
	минерального	растительного
25		
50		
100		
150		
200		
. . .		
700		
1000		
1500		
Итого . . .		

Градации дальности перемещения грунта зависит от транспортных средств. В сметных нормах для одних машин

градация принята 5 м, для других 10, 100, для автомобилей 500 м.

Общее количество перемещаемого минерального и растительного грунта, указанного в ведомости, должно соответствовать итоговым результатам сводных ведомостей земляных работ. Схема перемещения грунта иногда совмещается с картограммой земляных работ. В этом случае один обобщенный чертеж должен содержать данные обоих графических документов.

План укладки покрытий в отметках — основной рабочий чертеж, по которому осуществляются разбивка и контроль строительства корыта, искусственного основания и собственно покрытия. Основой для его выполнения служит также план вертикальной планировки. План укладки покрытия обычно выполняется раздельно для различных элементов аэродрома (ВПП, МС, РД и др.).

На плане показывают (рис. 118): контур покрытий, пикетаж и линии сетки квадратов. На план покрытия утолщенными линиями наносят все переломы, т. е. границы плоскостей. Протяженность каждой плоскости показывается стрелкой, направленной по продольному уклону плоскости. Над стрелкой надписывают величину уклона, под стрелкой — длину плоскости.

Аналогичным образом показывают размеры и уклоны плоскостей в поперечном направлении. Во всех углах плоскостей и на промежуточных поперечниках выписывают проектные отметки поверхности покрытия, искусственного основания и дна корыта. При устройстве двухслойных покрытий и многослойных искусственных оснований проектные отметки поверхности надписывают для каждого слоя.

§ 35. Технико-экономические показатели проекта

Разработка проекта вертикальной планировки требует учета местных условий и большого числа эксплуатационных и строительных требований к проектной поверхности аэродрома. Вследствие этого оказывается трудным сразу получить рациональный с эксплуатационной и строительной точек зрения проект вертикальной планировки. Поэтому решение этой задачи целесообразно выполнять путем разработки и последующего сравнения ряда вариантов.

Варианты вертикальной планировки могут отличаться эксплуатационными, строительными и технико-экономическими показателями. К числу эксплуатационных показателей проекта относят величину и протяженность частных уклонов поверхности летной полосы, величину и число изломов поверхности, средний уклон летной полосы, расстояние видимости. С точки

зрения удовлетворения строительным требованиям варианты проекта вертикальной планировки могут сравниваться по условиям водоотвода, степени обеспечения водно-теплового режима оснований искусственных покрытий и т. п.

К числу технико-экономических показателей относят: общий объем земляных работ; суммарную работу по перемещению грунта; среднюю дальность перемещения грунта в целом для участка; площадь глубинных земляных работ; стоимость земляных работ.

Общий объем земляных работ определяется сводной ведомостью объемов земляных работ и численно равен суммарному объему насыпей или суммарному объему выемок (в табл. 5 и 6 эти объемы всегда равны). В сводных ведомостях это равенство получается за счет подвоза недостающего грунта на территорию аэродрома из карьеров или, наоборот, вывоза излишнего грунта в кавальеры.

Когда в пределах аэродрома суммарные объемы выемок и насыпей равны ($V_{\text{н общ}} = V_{\text{в общ}}$), т. е. необходимость в карьерах и кавальерах отпадает, такое решение называют решением земляных работ с нулевым балансом. С точки зрения минимума земляных работ решение с *нулевым балансом*, как правило, бывает наилучшим, особенно в случаях, когда отсутствует возможность назначения мест для закладки карьеров или для отсыпки лишнего грунта.

Вместе с тем решение вертикальной планировки с нулевым балансом земляных работ иногда может привести к существенному ухудшению эксплуатационных показателей проекта аэродрома. Поэтому такое решение не всегда может быть оправданным.

При определении баланса земляных работ следует учитывать потребности в подсыпке грунта на служебно-технической территории, на участках строительства подъездных путей к аэропорту, на участках установки средств УВД, радионавигации и посадки.

С учетом этих потребностей в грунте имеет смысл решать вертикальную планировку в пределах аэродрома с преднамеренным превышением общего объема выемок над общим объемом насыпей, т. е. решать вопрос о балансе земляных работ в пределах всего объекта строительства.

Решение вертикальной планировки аэродрома с нулевым балансом земляных работ может оказаться нерациональным и даже невозможным при значительных расстояниях между выемками и насыпями, неудовлетворительном качестве грунтов летной полосы, сложных гидрогеологических условиях.

Показатель суммарной работы по перемещению грунта ранее был использован как критерий оптимальности решения схемы перемещения грунта (см. § 32). Он выражается суммой произведений объемов выемок на расстояния их перемещения: $W = \sum V_i l_i$.

Данные для определения этого показателя можно взять из схемы перемещения грунта.

Средняя дальность перемещения грунта из выемок в насыпи определялась в § 32 для отдельных массивов, как расстояние между их центрами тяжести. В качестве технико-экономического показателя проекта вертикальной планировки может быть использована средняя дальность перемещения грунта для участка строительства в целом, определяемая по формуле

$$L_{\text{ср}} = \frac{\sum V_i l_i}{\sum V_i} = \frac{W}{V_{\text{общ}}}.$$

Числитель в ней представляет суммарную работу по перемещению грунта на всем участке, а знаменатель — общий объем земляных работ.

Данный технико-экономический показатель лишь в среднем оценивает расстояние перемещения грунта для всего участка и не может служить основанием для выбора землеройно-транспортных машин и определения сметной стоимости строительства. Он может быть использован лишь для сравнения вариантов решения вертикальной планировки.

Площадь глубинных земляных работ (площадь в пределах изолинии ± 10 см) — также важный показатель проекта вертикальной планировки, так как с увеличением площади глубинных земляных работ пропорционально возрастает объем дополнительных работ с растительным грунтом.

Стоимость земляных работ является обобщенным показателем проекта вертикальной планировки. Когда по рассмотренным выше показателям проекта вертикальной планировки можно уверенно отдать предпочтение одному из вариантов, сравнение вариантов по стоимости не обязательно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бирман И. Я. Оптимальное программирование. М., «Экономика», 1968. 231 с.
2. Блохин В. И. Проектирование поверхности грунтовой части летных полос аэродромов. Киев, «КИИГА», 1972. 115 с.
3. Блохин В. И., Циприанович И. В., Белинский И. А. Проектирование поверхности и конструкций аэродромных покрытий. Киев, «КИИГА», 1975. 141 с.
4. Виндуев Н. Г., Гржибовский В. П. Геодезическое проектирование вертикальной планировки. М., «Недра», 1964. 250 с.
5. Нормы технологического проектирования аэропортов (НТП 1-74) ГПИ и НИИ «Аэропроект» ГА. М., 1975. 67 с.
6. Временная инструкция по разработке проектов и смет для промышленного строительства (СН 202-69). Госстрой СССР. М., Стройиздат, 1970. 64 с.
7. Дранишников Ю. А. Автоматизация подсчета объемов земляных работ при проектировании летных полос аэропортов. Труды ГПИ и НИИ «Аэропроект», 1973, № 13, с. 21—34.
8. Дранишников Ю. А. Методы оптимизации проектных решений и автоматизации проектирования рельефа аэродромов. Межвузовский сборник научных трудов. Киев, «КИИГА», 1976, № 2, с. 9—20.
9. Корнеев Н. А. Графо-аналитический метод проектирования вертикальной планировки. М., Стройиздат, 1968. 128 с.
10. Кудрявцев М. Н., Гаганович В. Е. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. М., «Транспорт», 1973. 398 с.
11. Матысик Г. П., Мищенко Н. Ф., Цуцкарев В. П. Рельеф и покрытия аэродромов. М., Госстройиздат, 1941.
12. Мулин В. И. Расчет основных технико-экономических параметров вертикальной планировки территорий. М., Стройиздат, 1974. 144 с.
13. Указания по проектированию аэродромных покрытий (СН 120-70). Госстрой СССР. М., Стройиздат, 1970. 111 с.
14. Указания по производству и приемке аэродромостроительных работ (СН 121-73). Госстрой СССР. М., Стройиздат, 1974. 128 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Глава I. **Общие сведения о проектировании вертикальной планировки и требования к поверхности аэродромов** . . . 5

§ 1. Особенности проектирования вертикальной планировки аэродромов 5
§ 2. Основные характеристики рельефа и требования к проектной поверхности летных полос 6
§ 3. Способы изображения и методы проектирования рельефа . 15
§ 4. Задачи и последовательность проектирования вертикальной планировки 18
§ 5. Исходные данные для проектирования вертикальной планировки 20

Глава II. **Проектирование вертикальной планировки грунтовой поверхности аэродромов методом числовых отметок** . . . 21

§ 6. Выявление и исправление участков с недопустимыми уклонами на плане в отметках 21
§ 7. Выявление и исправление участков с недопустимой кривизной на плане в отметках 25
§ 8. Последовательность проектирования рельефа методом отметок 28

Глава III. **Проектирование вертикальной планировки грунтовой поверхности аэродромов методом горизонталей** . . . 30

§ 9. Особенности проектирования вертикальной планировки методом горизонталей 30
§ 10. Выявление и исправление участков с недопустимыми уклонами на плане в горизонталях 32
§ 11. Выявление и исправление участков с недопустимой кривизной на плане в горизонталях 34
§ 12. Дополнительные ветви палетки заложений 44
§ 13. Исправление склонов 45
§ 14. Исправление водоразделов и тальвегов 47
§ 15. Исправление всхолмлений и блюдец 49
§ 16. Исправление седловин 52
§ 17. Сопряжение проектной и естественной поверхностей . . 54

Глава IV. **Проектирование вертикальной планировки искусственных покрытий** 57

§ 18. Требования к очертанию и высотному положению поверхности искусственных покрытий 57
§ 19. Особенности проектирования поверхности искусственных покрытий 61
§ 20. Построение поверхности искусственных покрытий . . . 64

§ 21. Проектирование поверхности покрытий методом числовых отметок и вертикальных профилей 71
§ 22. Построение проектной поверхности в узлах искусственных покрытий 79

Глава V. **Вычисление объемов земляных работ и разработка схемы перемещения грунта** 92

§ 23. Общие сведения 92
§ 24. Вычисление объемов земляных работ способом горизонтальных профилей 93
§ 25. Вычисление объемов земляных работ способом изолиний рабочих отметок 94
§ 26. Вычисление объемов земляных работ способом квадратов 96
§ 27. Вычисление объемов земляных работ способом треугольников 101
§ 28. Вычисление объемов земляных работ способом поперечных профилей 104
§ 29. Поправки к объемам земляных работ на требуемую плотность грунта 105
§ 30. Вычисление объемов земляных работ с растительным грунтом 107
§ 31. Вычисление объемов земляных работ в пределах искусственных покрытий 111
§ 32. Схема перемещения грунта 114
§ 33. Использование математических методов и ЭВМ при проектировании вертикальной планировки . . . 117

Глава VI. **Состав, оформление и технико-экономические показатели проекта вертикальной планировки** . . . 124

§ 34. Состав и оформление проекта 124
§ 35. Технико-экономические показатели проекта . . . 131
Список литературы 134

Виталий Иванович Блохин

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ПЛАНИРОВКА АЭРОДРОМОВ

Рецензент *В. Л. Квочкин*

Редактор *В. В. Чванов*
Обложка художника *Н. М. Морозова*
Техн. редактор *Т. А. Гусева*

Корректоры *Г. В. Раубек, Л. П. Агафонова*
ИБ № 1605

Сдано в набор 26.09.1977 г. Подписано к печати 15.12.1977 г.
Формат 60×90¹/₁₆ Бум. тип. № 2 Печ. л. 8,5 Уч.-изд. л. 8,62
Тираж 3500 экз. Т-18797 Изд. 1-3-1/15 № 9511 Зак. тип. 671
Цена 45 коп.
Изд-во «ТРАНСПОРТ», Москва, Басманный туп., 6а

Московская типография № 19 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,
г. Москва, Б-78, Каланчевский туп., д. 3/5

Цена 45 коп.