

Применение глобальных навигационных спутниковых систем ГНСС на скоростных железнодорожных магистралях

В.В. ЩЕРБАКОВ, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Инженерная геодезия» СГУПС



В настоящее время в различных отраслях геологии, строительства и др. при выполнении проектно-изыскательских работ, геофизических и геологоразведочных работах, земельном кадастре, наблюдении за деформациями инженерных сооружений и т.д. применяются системы глобального спутникового позиционирования ГНСС. В ОАО «РЖД» применение ГНСС ограничено несколькими проектными и учебными организациями.

Спутниковыми приемниками позиционирования оснащаются ЦНИИ-4 для выполнения натурных съемок железнодорожных станций. Применение ГНСС для различных целей — от навигационных до инженерных задач — ОАО «РЖД» планируется по нескольким направлениям, в настоящее время проводятся конкурсные торги на выполнение НИОКР по применению ГНСС на железных дорогах. При этом диапазон применения только спутниковых приемников геодезического класса на железных дорогах настолько широк и разнообразен, что одной статьи для освещения данного вопроса недостаточно. Это натурные съемки железнодорожных станций, проектно-изыскательские работы для всех видов ремонта и реконструкции пути, выполнение геодезических работ при выполнении ремонта и контроля качества ремонта. При этом наибольший эффект

может быть достигнут при использовании ГНСС на наиболее трудоемких работах на скоростных магистралях при постановке пути в проектное положение с использованием координатных методов.

В настоящее время постановка пути в проектное положение выполняется с использованием проектных данных в относительных величинах, как правило, это расстояние между осями проектного и соседнего пути и величиной превышения от заданной точки. Только несколько проектных организаций, включая Ленжелдорпроект, Иркутскжелдорпроект выполняют проектирование и готовят проект в геодезической системе координат, что позволяет повысить качество проектов и автоматизировать процесс проектирования.

Использование геодезических координат при создании проекта позволяет исключить длинные неровности в плане и по высоте. Выставка пути в проект-

ное положение с использованием координат значительно эффективнее по сравнению с использованием относительных методов. Повышается точность выставки в проектное положение, упрощается организация подготовки разбивочных работ.

Изыскательские работы при использовании координатных методов проектирования выполняются с использованием тахеометров и спутниковых приемников позиционирования (ГНСС) и специализированных средств типа АПК «Профиль». На рис. 1 показан общий вид АПК «Профиль». На рис. 2 приведена таблица структуры данных АПК «Профиль».

Из приведенной на рис. 2 таблицы видно, что структура данных включает пространственно-временные данные (координаты X, Y, H), по которым вычисляются линейная координата S (путь) и геометрические параметры. Структура данных, приведенная в таблице на рис. 2, позволяет выполнять построение продольного профиля, параметров кривой, геометрических параметров для проектирования. Главным достоинством данной структуры является однозначное определение местоположения любой точки пути при многократных проходах выправочно-рихтовочных машин, вагонов-



Рис.1. Внешний вид АПК «Профиль».



Рис.2

путеизмерителей и другой техники с погрешностью 1–2 см. Это позволяет использовать для получения исходных данных АПК «Профиль», а машины типа ВПР, электробалластер, «Доуматик» оснастить спутниковым приемником позиционирования. Применение ГНСС позволяет использовать специальную железнодорожную реперную сеть, пункты государственной геодезической сети или работать в условной системе координат, предварительно закрепив на местности временные репера. Эффективность данного подхода к выправке пути заключается в исключении разбивочных работ и сведении к минимуму затрат на геодезические работы.

Анализ результатов опытно-методических работ, выполненных на Октябрьской железной дороге и Западно-Сибирской железной дороге по оценке состояния рельсовой колеи по геометрическим параметрам, показал наличие длинных неровностей в плане и вертикальной плоскости (продольном профиле). Длинные неровности характерны для всей сети ОАО «РЖД», их появление связано с технологией машинной выправки пути (метод сглаживания), влиянием динамики движения, методами проектирования и т.д. При этом длинные неровности являются препятствием для скоростного движения, кроме того, влияют на взаимодействие «рельс-колесо».

На рис. 3–4 приведены графики неровностей в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно в диапазоне хорд от 20 м до 200 м. Из приведенных данных видно, что длинные неровности выявляются на хордах более 100 метров. Таким образом, координатный способ (патент СГУПС №2261302) позволяет в широком диапазоне определять геометрические параметры рельсовой колеи и использовать их для расчета сдвижек и подъемов.

Для работы с ГИС, программным комплексом для построения продольного профиля «Профиль-2», создания цифровых моделей пути, преобразования координат АПК «Профиль» в форматы данных WGS-84 и Giro, определения геометрических параметров, в том числе длинных неровностей, СГУПС разработан программный комплекс «ЖЕЛДОРПУТЬ». Программный комплекс позволяет автоматически провести анализ по широкому спектру наличия дефектов и сформировать таблицу значений стрел изгиба относительно идеальной прямой.

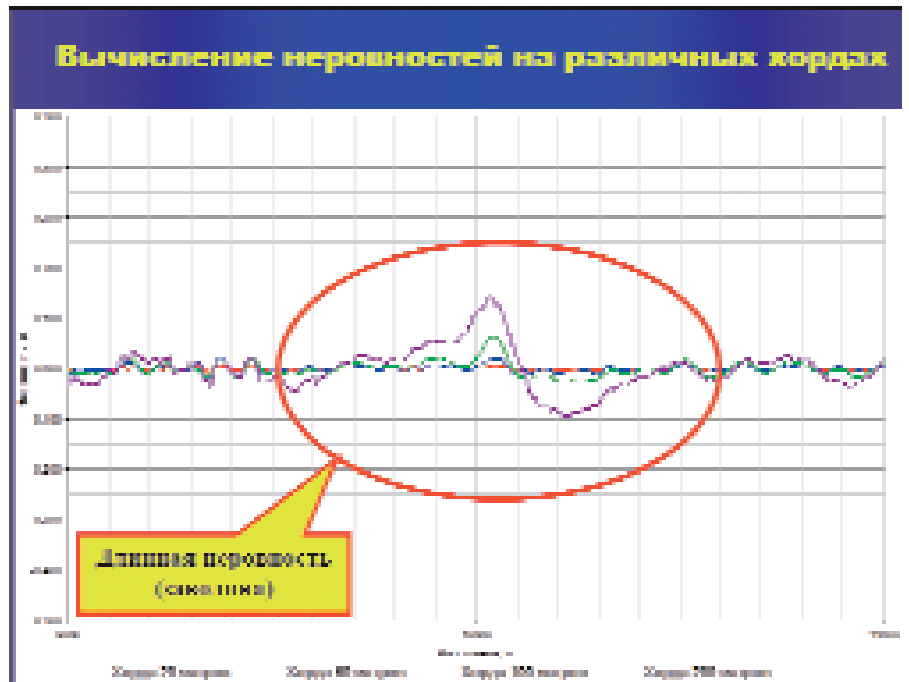


Рис. 3. Определение неровности в горизонтальной плоскости в диапазоне хорд от 20 до 200 м.



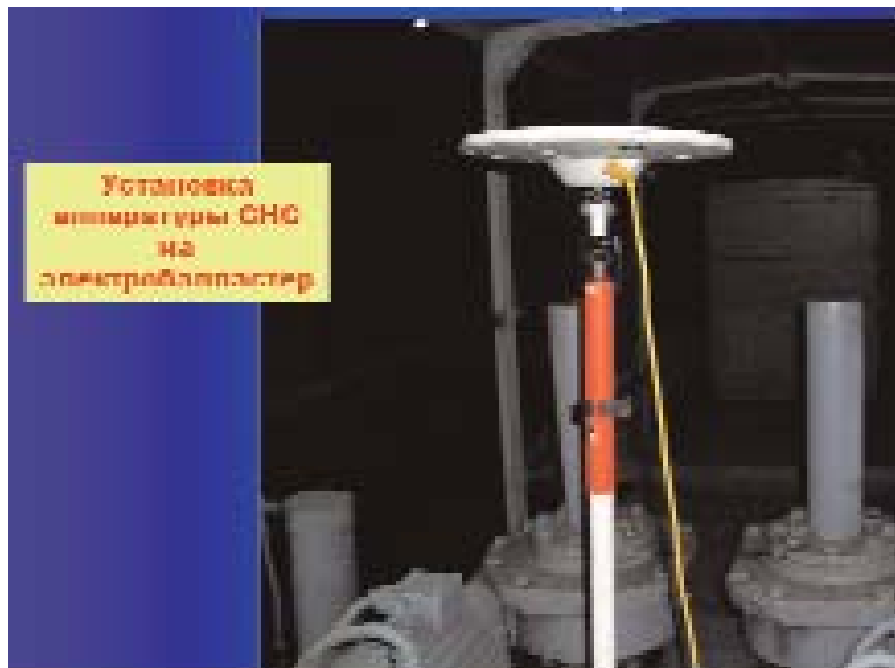
Рис. 4. Определение неровности в вертикальной плоскости в диапазоне хорд от 20 до 200 м.

Другой, не менее важной задачей является создание принципиально новых систем управления выправкой пути по координатам, так как все отечественные системы управления выправкой пути оснащены измерительными средствами, основанными на относительных методах, а это означает, что применение координат ограничено. Недостатки относительных методов известны. Главные из них — необходимость обеспечения единства измерений и определения геометрических параметров рельсовой колеи на

хорде ограниченной базой длины вагона.

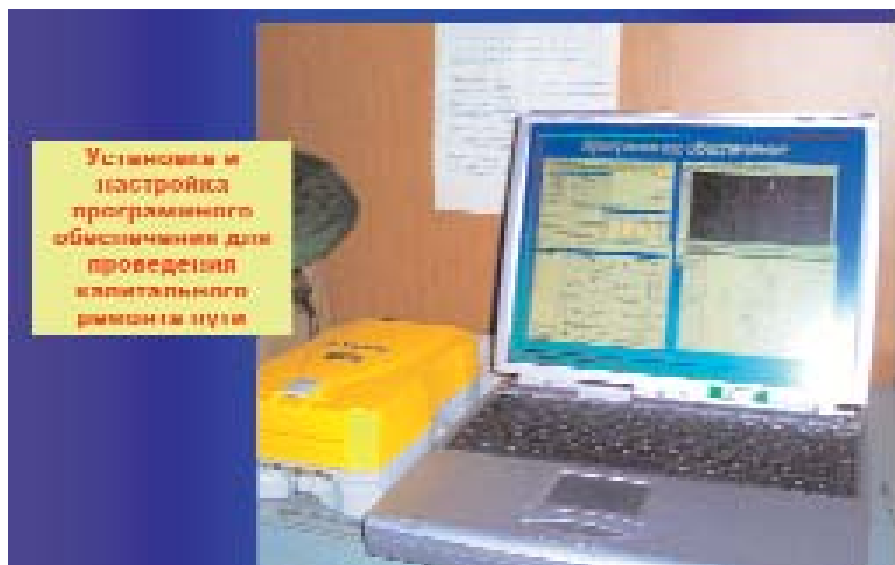
СГУПС впервые в России разработал и изготовил опытный образец измерительной системы, в основе которой лежит координатный метод.

Измерительная система выправки пути с условным названием «Курс» разрабатывается для определения (расчета) величины параметров выправки пути по координатам в реальном времени, визуализации проектного положения пути и текущего положения измерительной тележки выправочных машин.



Установка аппаратуры ГНС на электробалластер

Рис. 5. Антенна спутниковой аппаратуры позиционирования.



Установка и настройка программного обеспечения для проведения капитального ремонта пути

Рис. 6. GPS-приемник (Trimble 5700) и компьютер.



Контроль геометрических параметров пути в режиме on-line

Рис. 7. Геометрические параметры рельсовой колеи.

Система «Курс» может быть установлена на электробалластер ВПР и другие выправочные машины. Изготовлен один экспериментальный образец. Основным отличием системы «Курс» от аналогичных систем отечественных и зарубежных фирм является расчет параметров выправки по геодезическим координатам. Принцип работы системы «Курс» основан на сравнении в процессе движения геодезических текущих координат измерительной тележки выправочно-рихтовочной машины с проектными координатами, расчете отклонения текущего положения измерительной тележки от проектного и визуализации отклонений. Для выполнения работ с данной измерительной системой необходимы проектные координаты, при этом не требуется каких-либо разбивочных работ. Устройство измерительной системы «Курс» включает спутниковый приемник позиционирования (ГНС), систему линейных перемещений СЛП, состоящую из 2 лазерных измерителей расстояний, системы ориентации лазерных датчиков, акселерометра, контроллера и компьютера. Блоки и устройства измерительной системы «Курс» показаны на рис. 5–8.

Внешний вид главного окна программы выправки пути, таблицы расчетных данных и текущей информации о параметрах выправки пути приведены на рис. 9. Проектные координаты могут быть получены различными средствами, при этом одним из условий выправки пути является трансформирование проектных координат в систему координат измерительного комплекса выправочной машины «Курс». Методика выправки пути по текущим координатам с использованием измерительной системы «Курс» заключается в совмещении траектории движения с проектной линией в плане и профиле. После прохода сохраняются координаты X , Y , H фактического положения пути. Данные о фактическом положении пути могут быть использованы при повторном проходе или для других целей.

Проектно-изыскательские работы с применением координатных методов в настоящее время выполняют в РФ Иркутскжелдорпроект и Ленжелдорпроект. Пример проектных данных, полученных по координатам, показан в табл. 1. Информация, приведенная в этой таблице, является исходной для экспорта в программу выправки пути измерительной системы «Курс».

Координаты, приведенные в табл. 1, позволяют с высокой точностью выставить путь в проектное положение, уст-

Таблица 1

Пикетаж точки	Характеристика точки	Радиус, м	Координаты, м		Дирекционный угол направления до следующей точки	Расстояние между точками по координатам, м	Расстояние между точками по оси пути, м
			X	Y			
5859+00.00	Начало прямой	0	74738.046	10584.282	178° 38' 54"	4.730	4.730
5859+04.73	Конец прямой	0	74733.317	10584.393	179° 09' 15"		
5860+24.73	Начало переходной кривой	2300	74613.333	10588.165	181° 37' 50"	119.997	120.000
	Конец переходной кривой						
5861+44.50	Начало круговой кривой	2300	74493.624	10582.757	184° 22' 14"	119.758	119.770
	Конец круговой кривой						
5863+00.58	Начало круговой кривой	3600	74338.007	10570.873	189° 17' 22"	156.070	156.080
	Конец круговой кривой						
5867+2434	Начало круговой кривой	2800	73920.096	10502.517	194° 56' 31"	423.466	423.758
	Конец круговой кривой						
5869+16.96	Начало переходной кривой	2800	73734.027	10452.862	197° 43' 58"	119.997	120.000
	Конец переходной кривой						
5870+36.96	Начало прямой	0	73619.730	10416.315	198° 09' 20"	5003.250	5003.250
	Конец прямой						
5920+40.21	Начало переходной кривой	3000	68855.571	8857.319	203° 35' 14"	119.999	120.000
	Конец переходной кривой						
5921+60.21	Начало круговой кривой	3000	68751.791	8819.188	206° 38' 51"	449.505	449.940
	Конец круговой кривой						
5926+10.15	Начало переходной кривой	3000	58339.841	8639.320	209° 21' 38"	119.996	120.000
	Конец переходной кривой						
5927+30.16	Начало прямой	0	58234.533	8581.791	208° 43' 42"	1985.229	1985.230
	Конец прямой						
5947+15.33	Начало переходной кривой	3140	66411.148	7570.142	198° 49' 07"	99.997	100.000
	Конец переходной кривой						
5948+15.38	Начало круговой кривой	3140	65450.333	7242.708	188° 55' 90"	1015.075	1019.570
	Конец круговой кривой						
5958+34.95	Начало переходной кривой	0	65351.554	7227.128	188° 36' 28"	100.000	100.000
	Конец переходной кривой						
5959+34.95	Начало прямой	0	65287.237	7217.392	-	65.050	65.050
5960+00.00	Конец прямой	0					

ранять длинные неровности в плане и профиле.

Технология выправки пути при наличии геодезических координат остается традиционной. Качество выправочных работ повышается за счет исходных данных, применения АПК «Профиль» на подготовительном этапе и последующих этапах.

В России в настоящее время изыскательские работы в основном выполняются с использованием относительных методов. Выправка пути выполняется с использованием разбивочной схемы или других аналогичных документов. Разбивочная схема приведена на рис. 10.

Для устранения недостатков относительных методов, примененных при изысканиях, наиболее эффективным способом является дополнительная натурная съемка непосредственно перед выправкой пути. Для этих целей целесообразно использовать АПК «Профиль», так как производительность составляет 4 км/час, при этом в результате выполнения натурных съемок получаем продольный профиль, характеристики кривых, плановое положение оси пути, геометрические параметры, ширину колеи, возвышение рельса, положение рельсовых нитей в плане и вертикальной плоскости.

С использованием программного комплекса «ЖЕЛДОРПУТЬ» по формулам:

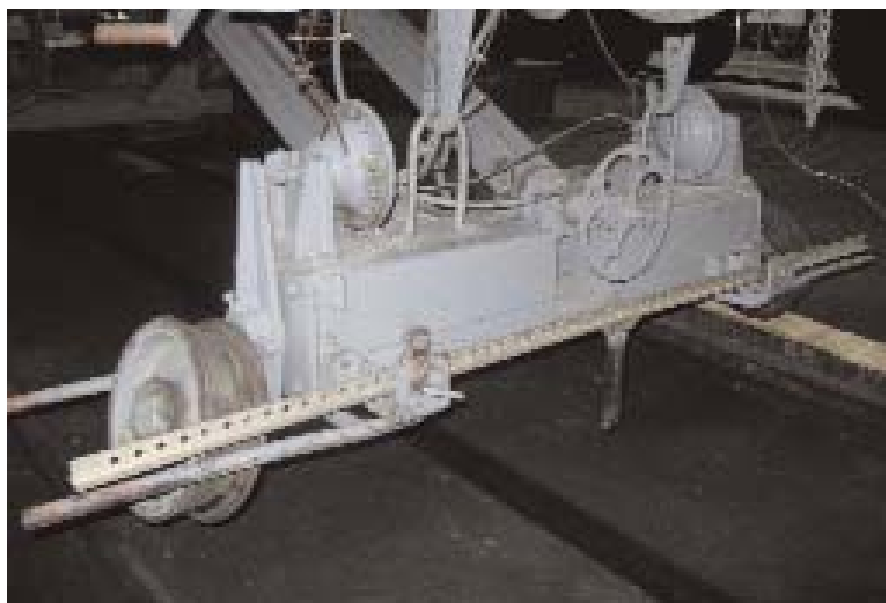


Рис. 8. Измерительная тележка электробалластера.

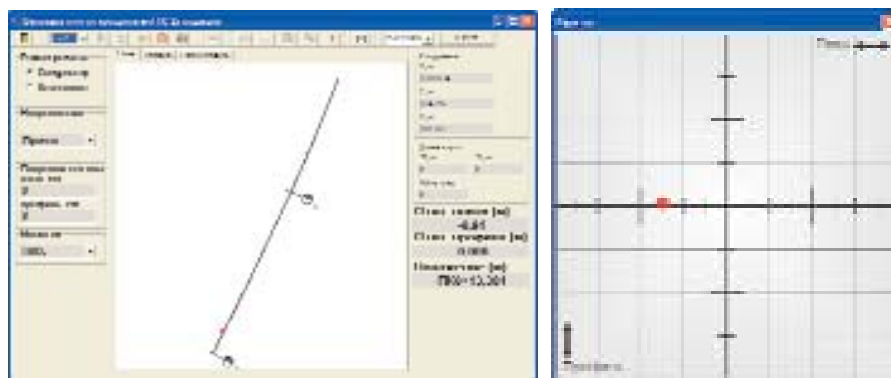


Рис. 9 а) Внешний вид главного окна программы выправки пути в режиме симуляции; б) окно графической визуализации отклонений плана (план), профиля (профиль).

$$\left. \begin{aligned} X_{i_{пр}} &= X_{i_{сос}} + l_i \cos(\alpha_i + 90^\circ); \\ Y_{i_{пр}} &= Y_{i_{сос}} + l_i \sin(\alpha_i + 90^\circ); \end{aligned} \right\}$$

где $X_{i_{пр}}, Y_{i_{пр}}$ — координаты проектного пути в i -ой точке;
 $X_{i_{сос}}, Y_{i_{сос}}$ — координаты соседнего пути в i -ой точке АПК «Профиль»;
 l_i — проектное расстояние между осями;
 α — курсовой (дирекционный) угол в i -ой точке;

рассчитываются координаты оси проектного пути. Учитывая, что фактическое положение пути на момент съемки АПК «Профиль» будет отличаться от пространственного положения на момент проведения проектно-изыскательских работ, в проектные данные вносятся поправки в движения.

Выправка может выполняться с использованием существующих путевых машин

с наличием штатных систем управления выправкой. Для этого по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_{i_{пр}} &= X_{i_{пр}} - X_{i_{сос}}; \\ \Delta Y_{i_{пр}} &= Y_{i_{пр}} - Y_{i_{сос}}; \end{aligned} \right\}$$

$$l'_{i_{пр}} = \sqrt{\Delta X_{i_{пр}}^2 + \Delta Y_{i_{пр}}^2},$$

где $l'_{i_{пр}}$ — расстояние между осями проектного и соседнего пути;

рассчитываются откорректированные расстояния между осями соседнего и проектного пути. Данные пикетажных значений и расстояний между осями соседнего и выправляемого пути позволяют, не нарушая сложившейся практики, выставлять путь в проектное положение с более высоким качеством. Данную методику необходимо рассматривать как переходную от относительных методов выправки пути к координатным методам.

Выправка пути при этом выполняется от соседнего рельса с использованием откорректированной разбивочной схемы. Анализ длинных неровностей выполняется с использованием программного комплекса «ЖЕЛДОРПУТЬ». После каждого этапа выправки с использованием АПК «Профиль» определяется фактическое положение пути в плане и профиле, параметры кривых.

Испытания измерительной системы «Курс» будут проводиться в апреле–июле 2008 года. Система устанавливается на электробалластер. Планируется отработка технологии выправки пути по исходным данным, которые должны быть представлены в международной системе координат WGS-84.

При наличии проекта, выполненного в координатах с использованием ключей в соответствии с требованиями ГОСТ 351794–2001, выполняется преобразование геодезических координат в плоские прямоугольные координаты в проекции Гаусса — Крюгера.

Система прямоугольных координат может быть условной или привязанной к специальной реперной сети. Главным условием выправки пути с использованием координат является обеспечение единства систем координат пространственных данных и измерительной системы «Курс». Система «Курс» работает в реальном времени в системе координат WGS-84, поэтому проектные данные преобразуются в данную систему координат с использованием специальных ключей. Техническая схема выправки пути включает установку рельсовой решетки в проектное плановое положение электробалластером, оборудованным системой «Курс». Погрешность измерительной системы составляет ± 2 см. При завершении первоначальной выставки электробалластером ВПР, оборудованный стандартными системами управления выправкой с использованием разметки на опорах контактной сети, выполняет следующий этап выправки, при этом используются данные фактического положения пути в плане и высоте, полученные после выправки электробалластером. Выставка пути в проектное плановое положение на первоначальном этапе позволит уменьшить энергетические затраты ВПР и сократить время работ. Все дальнейшие этапы выполняются по традиционной схеме. Окончательно технологический процесс выправки пути с использованием ГНСС может быть получен после проведения опытно-методических работ.

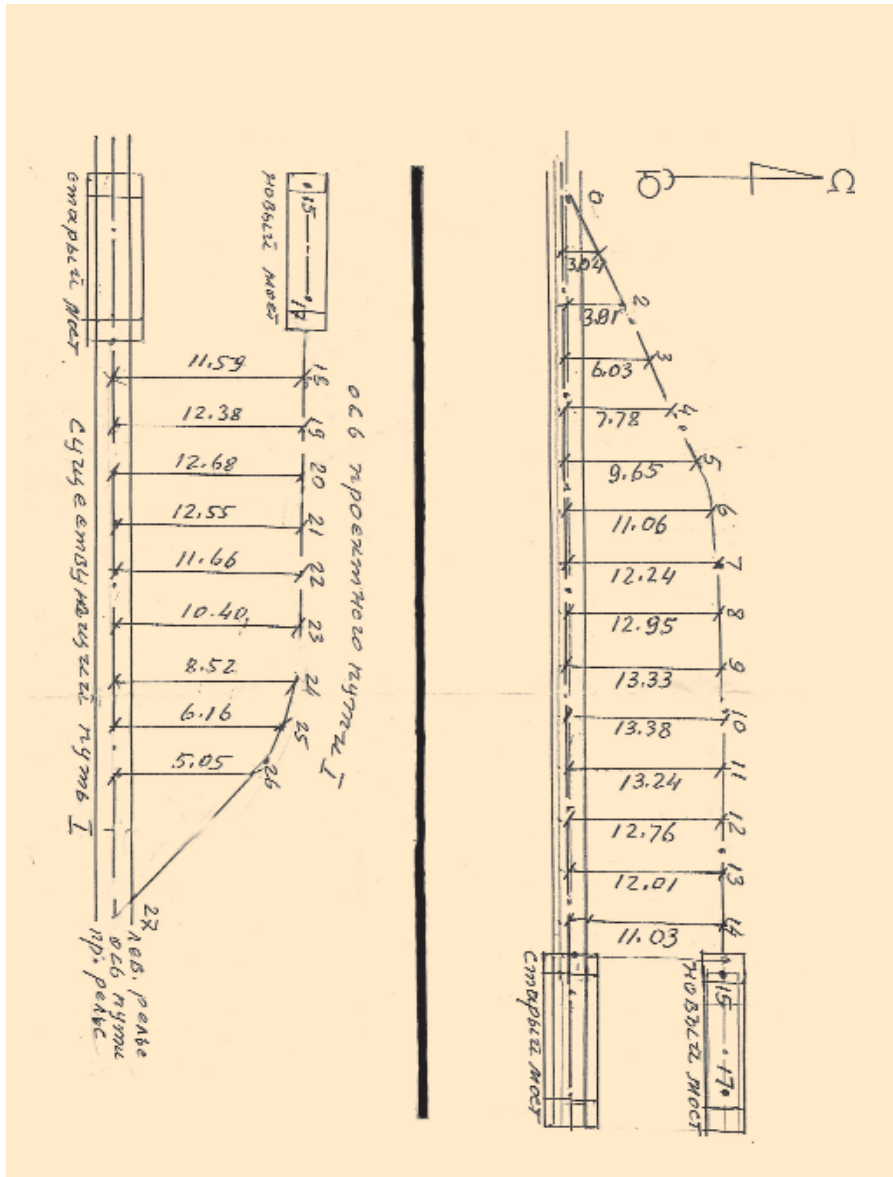


Рис. 10. Пример разбивочной схемы.