ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАГОРНОЙ КАНАВЫ

1 Устройство нагорной канавы

Материал излагается по учебному пособию [1]. В соответствии с СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги, *нагорная канава* – это канава, расположенная с нагорной стороны от дороги, для перехвата стекающей по склону воды и с отводом ее от дороги [2].

Поперечный профиль земляного полотна с нагорной канавой приведен на рис. 1. Нагорным канавам придают трапецеидальное поперечное сечение, размеры которого всегда приходится обосновывать гидравлическим расчетом. Во избежание сплывов или оползания откосов выемки из-за переувлажнения грунта, которое может возникнуть в результате случайного засорения нагорной канавы, расстояние от наружной бровки выемки до бровки канавы должно быть не менее 5 м.

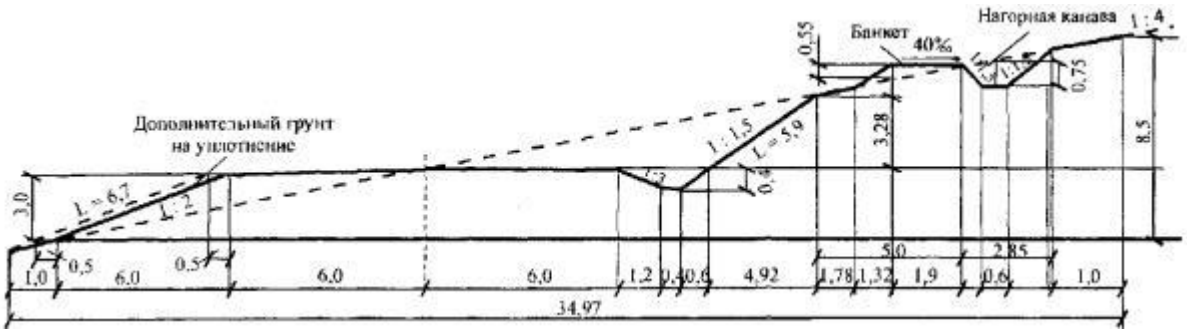

Рисунок 1 – Поперечный профиль полунасыпи-полувыемки с нагорной канавой

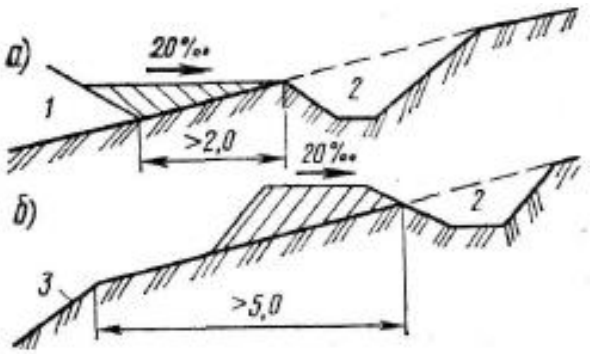

Рисунок 2 – Нагорные канавы:
а – у насыпи; б – у выемки; 1 – насыпь; 2 – нагорная канава; 3 – внешний откос выемки

На косогорах круче 1:5 грунт из нагорных канав используют для устройства невысокого валика (банкета) между выемкой и канавой. Банкет повышает безопасность дороги от затопления при переполнении нагорной канавы (рис. 1, 2).

Трассирование нагорной канавы влияет на продольный уклон её дна. С целью обеспечения стока воды минимальный уклон дна канавы должен быть не менее 5‰. В связи с необходимостью экономии земель, занимаемых дорожными сооружениями, нагорную канаву следует трассировать как можно ближе к оси трассы (но не менее, чем в 5 м от наружной бровки выемки). Однако такое расположение может привести к большим продольным уклонам дна канавы, при которых скорость перетекания воды в ней будет больше неразмывающей скорости для неукрепленных грунтов, что потребует дополнительных затрат на укрепле-

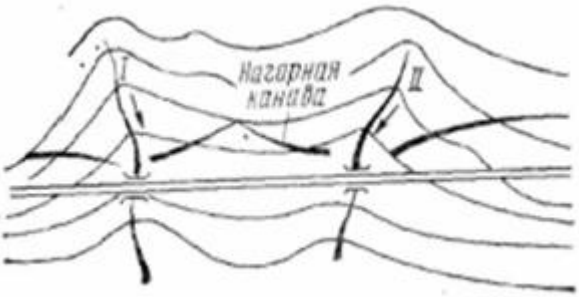

Рисунок 3- Нагорные канавы на косогоре

ние дна и стенок нагорной канавы. Если нагорная канава меняет уклон, то её разбивают на участки с разными уклонами дна и рассчитывают отдельно.

Воду из нагорных канав отводят к ближайшим искусственным сооружениям, в резервы и пониженные места рельефа. В местах перехода дороги из выемки в насыпь воду из канавы отводят с нагорной стороны в резерв, а с низовой – на поверхность грунта в сторону выемки.

2 Назначение расчетного максимального расхода воды

Размеры поперечного сечения нагорной канавы подбирают в соответствии с расчетным максимальным расходом воды заданной вероятности превышения. *Вероятность превышения расчетного максимального расхода воды* – это вероятность его превышения ещё большим по значению расходом воды. Её назначают в зависимости от категории дороги и вида искусственного сооружения. В соответствии с СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги для водоотводных канав и кюветов вероятность превышения назначается по табл. 1 [2, п.7.59].

Таблица 1 – Вероятность превышения расчетных расходов воды для нагорных канав

Категория дороги	Вероятность превышения, %
I,II	2
III	3
IV,V	4

Расчетный максимальный расход ливневого стока заданной вероятности превышения определяют по формуле [3,4]

$$Q_{\text{р}} = 16{,}7 a_{\text{час}} K_t F \alpha \varphi, \qquad (1)$$

где $a_{\text{час}}$ – интенсивность ливня часовой продолжительности, мм/мин, зависящая от номера ливневого района и вероятности превышения; K_t – коэффициент перехода от интенсивности ливня часовой продолжительности к интенсивности ливня расчетной продолжительности; F – площадь водосборного бассейна, км^2; α – коэффициент потерь стока; φ – коэффициент редукции.

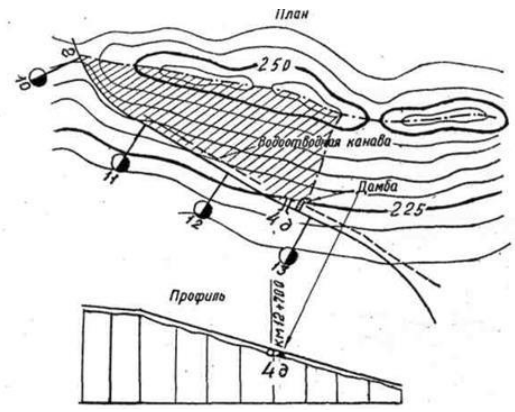

Рисунок 4 – Водосборный бассейн

Из формулы (1) видно, что расчетный максимальный расход зависит от площади водосборного бассейна. При расчете длинных нагорных канав учитывают увеличение площади бассейна вдоль канавы по мере удаления от водораздела, поэтому канаву разбивают на отдельные участки, для которых определяют свой расчетный максимальный расход.

Сначала находят границы водосборного бассейна, с которого вода будет поступать в нагорную канаву. Границами бассейна являются водораздельные линии, а также участки существующих и проектируемых дорог. Карандашом на карте наносят водораздельные линии (рис. 4).

Далее определяют площадь F водосборного бассейна. Для этого разбивают выделенную область на квадраты. На карте масштаба 1:10000 квадрат площадью 1 см^2 соответствует

0,01 км^2. Длину бассейна L определяют от самой верхней точки бассейна с отметкой H_{max} до створа канавы (его отметку обозначим, как H_{min}).

Уклон бассейна определяют по формуле

$$i = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}. \qquad (2)$$

Далее, по карте-схеме устанавливают номер ливневого района (рис. 5) [3,4].

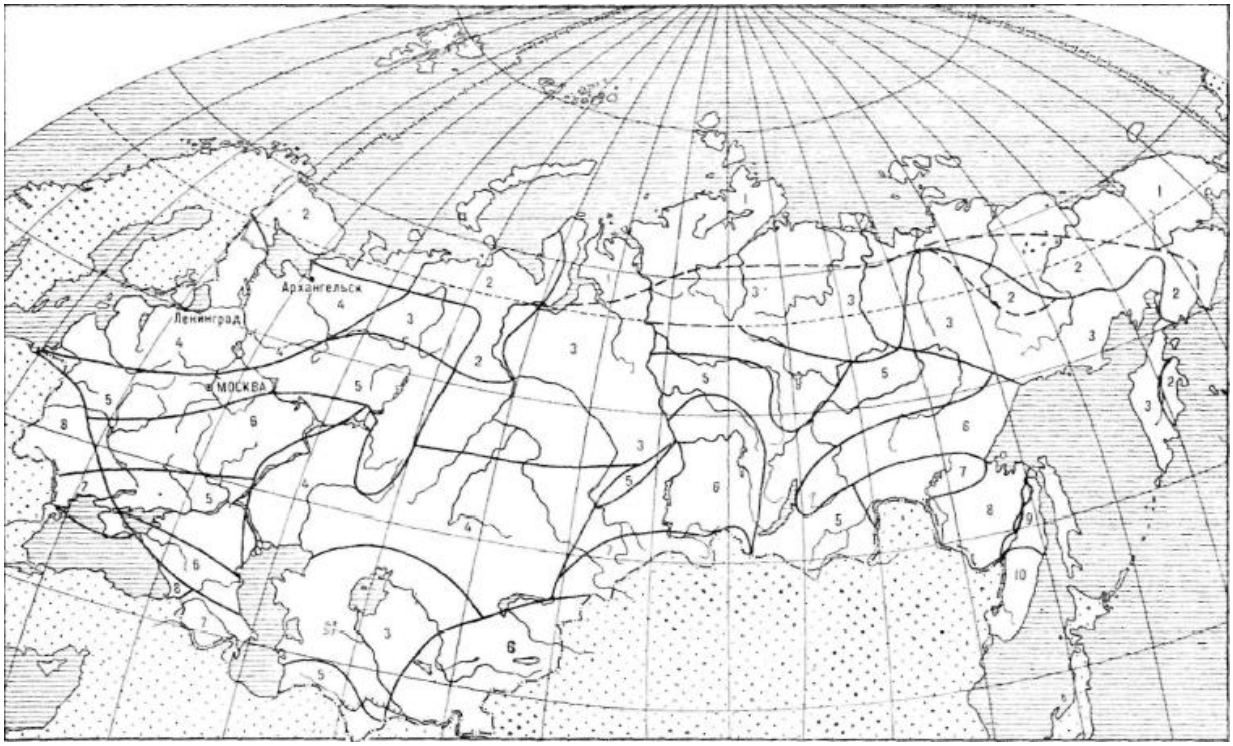

Рисунок 5 – Карта-схема ливневых районов

По табл. 2 в зависимости от номера ливневого района и вероятности превышения расчётного максимального расхода определяют интенсивность ливня часовой продолжительности $a_{час}$. По табл. 3 задают коэффициент перехода K_t от ливня часовой продолжительности к ливню расчётной продолжительности, в зависимости от уклона и длины бассейна. Коэффициент потерь стока α рекомендуется принимать равным 1, учитывая задержку проникания воды в грунт при сильных ливнях, для суглинистых грунтов и $F < 1$ км^2 следует принимать α = 0,62.

Таблица 2 – Интенсивность ливня часовой продолжительности

Номер ливневого района	$a_{час}$, мм/мин, при вероятности превышения, %							
	10	5	4	3	2	1	0,3	0,1
1	0,27	0,27	0,29	0,32	0,34	0,40	0,49	0,57
2	0,29	0,36	0,39	0,42	0,45	0,50	0,61	0,75
3	0,29	0,41	047	0,52	0,58	0,70	0,95	1,15
4	0,45	0,59	0,64	0,69	0,74	0,90	1,14	1,32
5	0,46	0,62	0,69	0,75	0,82	0,97	1,26	1,48
6	0,49	0,65	0,73	0,81	0,89	1,01	1,46	1,79
7	0,54	0,74	0,82	0,89	0,97	1,15	1,50	1,99
8	0,79	0,98	1,07	1,15	1,24	1,41	1,78	2,07
9	0,81	1,02	1,11	1,20	1,28	1,48	1,83	2,14
10	0,82	1,11	1,23	1,35	1,46	1,74	2,25	2,65

Находят коэффициент редукции. Если $F \leq 0{,}1$ км^2, то φ=1, иначе вычисляют по формуле

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt[4]{10 \cdot F}}. \tag{3}$$

Таблица 3 – Коэффициент перехода

L, км	Значения K_t при уклоне бассейна i							
	0,0001	0,001	0,01	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7
0,15	4,21	Полный сток 5,24						
0,30	2,57	3,86						
0,50	1,84	2,76	3,93					
0,75	1,41	2,08	2,97	4,50	5,05			
1,0	1,16	1,71	2,53	3,74	4,18	4,50	4,90	5,18
1,25	1,00	1,49	2,20	3,24	3,60	3,90	4,23	4,46
1,50	0,88	1,30	1,93	2,82	3,15	3,40	3,70	3,90
1,75	0,80	1,18	1,75	2,58	2,84	3,06	3,33	3,52
2,0	0,73	1,07	1,59	2,35	2,64	2,85	3,09	3,27
2,5	0,63	0,92	1,37	2,02	2,26	2,44	2,65	2,80
3,0	0,56	0,82	1,21	1,79	2,0	2,16	2,34	2,49

После того, как построен план нагорной канавы на карте, и определены расчетные максимальные расходы воды по участкам, задают параметры поперечного профиля канавы: ширину по дну b (например, 0,5 м или 0,8 м) и заложения откосов m_1 и m_2 (например, 1,5).

3 Гидравлический расчет канавы

Гидравлический расчет канавы ведут графоаналитическим способом [5]. Цель расчета – определить глубину наполнения канавы и скорость перетекания воды в ней. Сначала задают предварительную глубину потока воды в канаве h, например, h = 0,1 м. Для неё определяют площадь живого сечения потока воды в канаве по формуле

$$\omega = b \cdot h + \frac{m_1 + m_2}{2} \cdot h^2. \tag{4}$$

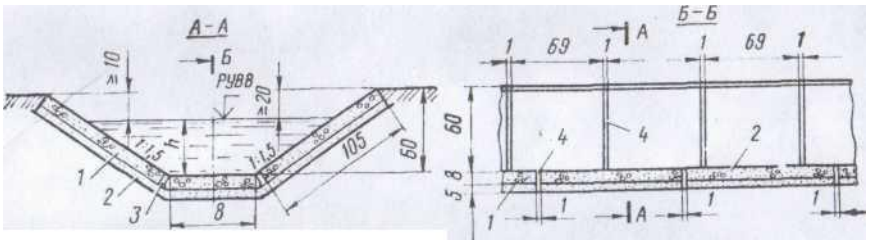

Рисунок 6 – Конструкция поперечного профиля канавы и укрепление

Затем находят смоченный периметр водного потока в канаве по формуле

$$\chi = b + h \cdot \left(\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2}\right). \tag{5}$$

На следующем шаге вычисляют гидравлический радиус по зависимости

$$R = \frac{\omega}{\chi}. \tag{6}$$

Далее, вычисляют значение $R^{2/3}$ и $\omega R^{2/3}$. Результаты расчётов записывают в таблицу (табл. 4). Далее назначают новую глубину потока h = 0,2 м и повторяют расчёты по формулам (4) – (6). Их удобно выполнять в программе Excel.

Таблица 4 – Расчётная таблица

h, м	b, м	m_1	m_2	ω, м^2	χ, м	R, м	$R^{2/3}$	$\omega R^{2/3}$
0,1	0,5	1,5	1,5	0,065	0,8606	0,0755	0,1787	0,0116
0,2	0,5	1,5	1,5	0,160	1,2211	0,1310	0,2580	0,0413
0,3	0,5	1,5	1,5	0,285	1,5817	0,1802	0,3190	0,0909
0,4	0,5	1,5	1,5	0,440	1,9422	0,2265	0,3716	0,1635
0,5	0,5	1,5	1,5	0,625	2,3028	0,2714	0,4192	0,2620

По полученным данным строят график, представляющий собой кривую связи между расходом и уровнем воды, рис. 7.

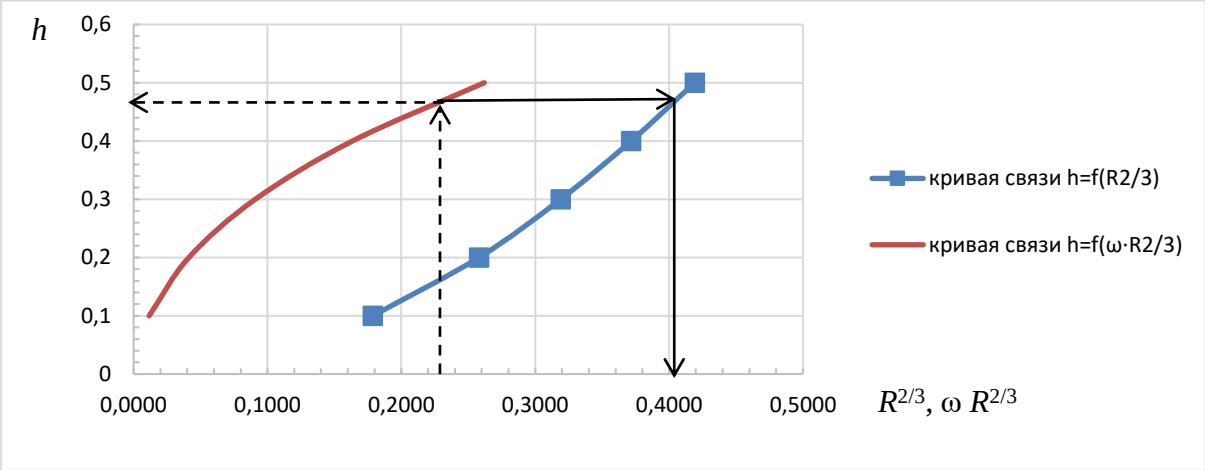

Рисунок 7 – Кривые связи между уровнем и расходом воды

Из гидравлики известно, что расход воды связан с гидравлическими параметрами потока зависимостью

$$Q_{\text{р}} = \frac{\sqrt{i} \cdot \omega \cdot R^{2/3}}{n}, \qquad (7)$$

где n – коэффициент шероховатости, i – продольный уклон канавы. Коэффициент шероховатости обусловлен видом укрепления дна и стен канавы, который, в свою очередь, назначают по продольному уклону дна канавы (см. табл. 5) [4].

Таблица 5 – Значения коэффициента шероховатости

Уклон дна канавы, ‰	Укрепление	Коэффициент шероховатости, n
До 10	Неукрепленные канавы	0,03
10 - 30	Засев трав, одерновка	0,025
30-50	Мощение (матрацы Рено)	0,02
Более 50	Бетонные плиты	0,017

Из формулы (7) следует, что

$$\omega \cdot R^{2/3} = \frac{Q_р \cdot n}{\sqrt{i}} \ . \qquad (8)$$

Например, при Q_p = 0,64 м^3/с; i = 0,007; b = 0,5 м; $m_1 = m_2$ = 1,5; n = 0,03 получается, что

$$\omega \cdot R^{2/3} = \frac{Q_р \cdot n}{\sqrt{i}} = \frac{0{,}64 \cdot 0{,}03}{\sqrt{0{,}007}} = 0{,}23.$$

Далее, откладывают на оси абсцисс значение $\omega \cdot R^{2/3}$, находят глубину наполнения канавы $h_р$. Для $\omega \cdot R^{2/3}$ = 0,23 глубина, согласно рис. 7, $h_р$ = 0,47 м. Таким образом, при заданных параметрах канавы (i = 0,007; b = 0,5 м; $m_1 = m_2$ = 1,5; n = 0,03) для расчетного максимального расхода воды $Q_р$ = 0,64 м^3/с глубина водного потока составит 0,47 м.

Затем, вычисляют среднюю скорость движения воды в нагорной канаве по формуле Шези-Маннинга, соответствующую глубине $h_р$,

$$v = \frac{R^{2/3}}{n} \cdot \sqrt{i}. \qquad (9)$$

В условиях рассматриваемого примера для $h_р$ = 0,47 м по графику (рис. 7) находим значение $R^{2/3}$ =0,405. Тогда

$$v = \frac{R^{2/3}}{n} \cdot \sqrt{i} = \frac{0{,}405}{0{,}03} \cdot \sqrt{0{,}007} = 1{,}13 \text{ м/с}.$$

Полученную скорость следует сравнить с допустимой скоростью, т.е. скоростью воды, при которой размыв дна и стенок канавы не возникает. Если дно и стенки канавы не укреплены, то допускаемой скоростью является *неразмывающая* скорость грунта, т.е. наибольшая скорость воды, при превышении которой имеет место размыв грунта. Неразмывающие скорости для различных видов грунта приведены в табл. 6 и 7 [6]. В том случае, когда дно и стенки канавы укреплены, то допускаемую скорость принимают по табл. 8.

Таблица 6 – Неразмывающие скорости для связных грунтов

Грунт	Разновидность грунта	$v_{нер}$, м/с, при глубине потока			
		0,4 м	1 м	2 м	3 м
Глины и суглинки	Малоплотные	0,35	0,4	0,45	0,50
	Средней плотности	0,70	0,85	0,95	1,10
	Плотные	1,0	1,2	1,4	1,5
	Очень плотные	1,4	1,7	1,9	2,1
Лёссы	Средней плотности	0,6	0,7	0,8	0,85
	Плотные	0,8	0,9	1,2	1,3
	Очень плотные	1,1	1,3	1,5	1,7

Если вычисленная по формуле (9) скорость превышает допускаемую, то следует увеличить ширину канавы или назначить более прочное укрепление (изменить коэффициент шероховатости n) и повторить гидравлический расчет канавы с её новыми характеристиками.

После того, как глубина $h_р$ будет найдена, необходимо по формуле (4) вычислить площадь живого сечения при $h = h_р$, и определить расход

$$Q = \omega \cdot v. \qquad (10)$$

Расчеты будут считаться выполненными корректно, если расход воды, вычисленный по формуле (10), и расчётный максимальный расход $Q_р$ будут отличаться не более, чем на 5%, т.е.

$$\left|\frac{Q_p - Q}{Q_p}\right| \le 0{,}05. \qquad (11)$$

Таблица 7 – Неразмывающие скорости для однородных несвязных грунтов

Средний размер частиц грунта, мм	Допускаемые неразмывающие скорости воды $v_{нер}$, м/с, для однородных несвязанных грунтов при глубине потока			
	0,5 м	1м	3 м	5 м
0,05	0,52	0,55	0,60	0,62
0,15	0,36	0,38	0,42	0,44
0,25	0,37	0,39	0,41	0,45
0,37	0,38	0,41	0,46	0,48
0,50	0,41	0,44	0,50	0,52
0,75	0,47	0,51	0,57	0,59
1,00	0,51	0,55	0,62	0,65
2,00	0,64	0,70	0,79	0,83
2,50	0,69	0,75	0,86	0,90
3,00	0,73	0,80	0,91	0,96
5,00	0,87	0,96	1,10	1,17
10,00	1,10	1,23	1,42	1,51
15,00	1,26	1,42	1,65	1,76
20,00	1,37	1,55	1,84	1,96
25,00	1,46	1,65	1,93	2,12
30,00	1,56	1,76	2,10	2,26
40,00	1,68	1,93	2,32	2,50
75,00	2,01	2,35	2,89	3,14
100,00	2,15	2,54	3,14	3,46
150,00	2,35	2,84	3,62	3,96
200,00	2,47	3,03	3,92	4,31
300,00	2,90	3,32	4,40	4,94

Таблица 8

Тип укрепления	Размер камня, см	Допустимые скорости течения, м/с, при средней глубине потока			
		0,4 м	1,0 м	2,0 м	3,0 м
Одерновка плашмя	–	0,9	1,1	1,3	1,4
Одерновка в стенку	–	1,5	1,8	2,0	2,2
Каменная наброска из булыжника с галькой	7,5	2,0	2,4	2,8	3,1
Грунты, укрепленные битумом	–	2,3	2,7	3,0	3,3
Одиночное мощение на щебне	15,0	2,5	3,0	3,5	4,0
	20,0	3,0	3,5	4,0	4,5
	25,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Двойное мощение из рваного камня на щебне	15,0-20,0	3,5	4,5	5,0	5,5
Бутовая кладка из известняка	–	3,0	3,5	4,0	4,5
Бетон марки 150	–	6,0	7,0	8,0	9,0
Бутовая кладка из камня крепких пород	–	6,5	8,0	10,0	12,0
Бетонные лотки	–	12,0	14,0	16,0	18,0

Минимальную глубину канавы назначают по формуле

$$h_{min} = h_p + 0{,}2. \qquad (12).$$

При расчете длинных канав учитывают увеличение бассейна вдоль канавы по мере удаления от водораздела, поэтому сечение нагорных канав обычно подбирают по отдельным участкам по мере возрастания площади водосборных бассейнов.

Обычно проводят расчеты для нескольких вариантов поперечного сечения канавы, которые сравнивают по скорости протекания воды, типу укрепления, объемам земляных и укрепительных работ. Пример вариантного проектирования нагорной канавы приведен в [5].

Графическая часть выполняют на листе формата А1, на который выносят:

- план нагорной канавы с площадью водосборного бассейна в масштабе 1:50 (или 1:100);
- продольный профиль нагорной канавы;
- поперечный профиль канавы.

Пример оформления чертежа канавы приведен на рис. 8 [7].

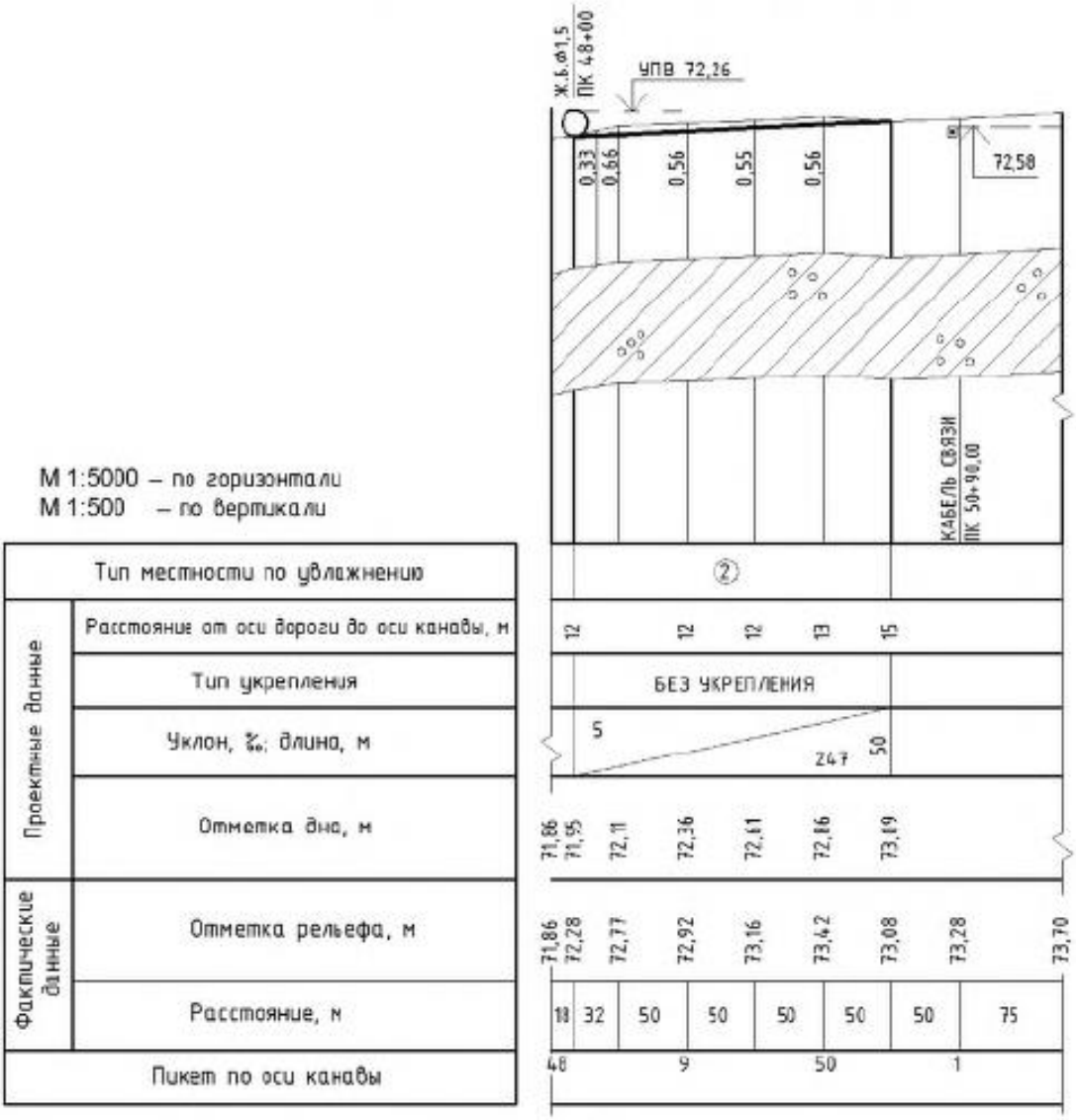

Рисунок 8 – Пример оформления канавы по ГОСТ 21.701-2013

Список использованных источников

1. Жуков В.И., Гавриленко Т.В. Проектирование автомобильных дорог. Основы [Электронный ресурс]: учебное пособие. – Красноярск: Сиб. Федер. ун-т, 2014. – 144 с.
2. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. – 139 с.
3. Федотов, Г.А., Поспелов, П.И. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн.1: Учебник. – М.: Высш. шк., 2009. – 646 с.
4. Проектирование автомобильных дорог: справочник инженера-дорожника / под ред. Г.А. Федотова. – М.: Транспорт, 1989. – 437 с.
5. Автомобильные дороги (примеры проектирования): учеб. пособие для вузов / под ред. В.С. Порожнякова. – М.: Транспорт, 1983. – 304 с.
6. СНиП 2.06.03-85 Мелиоративные системы и сооружения.
7. ГОСТ 21.701-2013 Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автомобильных дорог. – Москва, Стандартинформ, 2014. – 35 с.