

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ СПИРАЛЬНО-ВИТЫХ ДРЕНАЖНЫХ ТРУБ ИЗ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА

Спирально-витые дренажные трубы из непластифицированного поливинилхлорида (НПВХ) [2] имеют высокую водозахватную способность при хороших гидравлических характеристиках, технологичны в изготовлении и укладке. Основные технические данные таких труб представлены в табл. 1.

Важнейшим показателем работоспособности уложенного в траншею пластмассового трубопровода является величина его деформации, выраженная в укорачивании вертикального диаметра и удлинении горизонтального под воздействием статической вертикально-радиальной нагрузки от грунта засыпки [3].

Для определения деформативных свойств спирально-витых дренажных труб были проведены кратковременные испытания на сплющивание и поперечное сжатие с помощью плоских и криволинейных шаблонов по методикам, описанным в [3, 5] и нормативных документах (Ту 6-05-1078-72 и Ту 6-05-051-75). В опытах использовались образцы труб диаметром 50, 63, 75, 90, 110 мм и длиной 100 мм. Величина испытательной нагрузки подсчитывалась по формуле [3]:

$$P = \lambda D_n l,$$

где  $\lambda$  - удельная нагрузка, кПа (для пластмассовых труб, применяемых в зоне избыточного увлажнения,  $\lambda = 19,6$  кПа, что является максимальной приведенной нагрузкой при глубине укладки дрен до 1,8 м [3]);  $D_n$  - наружный диаметр трубы, см;  $l$  - длина образца, см.

Таблица 1. Основные показатели спирально-витых дренажных труб из НПВХ

Диаметр, мм		Размеры стреловидного профиля, мм		Размеры водоприемных отверстий, мм		Число рядов перфорации	Водоприемная площадь, см <sup>2</sup> /м	Относительная шероховатость	Теоретическая масса 1 м.ег
наружный D <sub>н</sub>	внутренний D	высота	ширина	ширина	длина				
50	44,9	2,6	7,0	0,6	4,0	10	45	0,027	0,155
63	57,6	2,7	7,5	0,6	4,0	13;9;7;5	64;44;34;24	0,024	0,235
75	68,7	3,2	8,0	0,6	4,0	17;12;9;6	76;54;40;27	0,028	0,330
90	82,7	3,7	9,0	0,6	4,0	20;14;12;8	78;55;47;31	0,024	0,481
110	102,3	3,9	10,0	0,6	4,0	22;17;13;10	83;63;48;37	0,021	0,697
125	116,0	4,5	11,0	0,6	4,0	27;20;16;11;9;7;7;5;7;5;7;5	39;30;24	0,024	0,880

Относительное укорочение вертикального диаметра в процентах определялось по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta D}{D_n} \cdot 100\%,$$

где  $\Delta D$  – разность между наружным диаметром образца до испытания и расстоянием между опорными поверхностями стенда через 1ч после приложения испытательной нагрузки. Принято, что  $\varepsilon$  при испытании на сплющивание не должно превышать 10% [4], а на поперечное сжатие – 6% (ТУ 6-05-051-75). Испытывались образцы, изготовленные из стреловидного профиля разной ширины. Это было продиктовано необходимостью установить для каждого типоразмера труб оптимальную ширину элементарного профиля, которая должна обеспечить соответствующую жесткость при минимальном расходе полимерного материала. При изготовлении труб технологически ответственным размерным параметром была выбрана ширина стреловидного профиля.

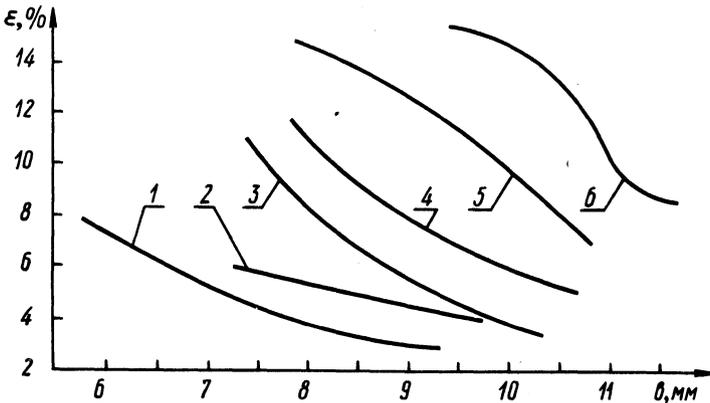


Рис. 1. Зависимость относительного укорачивания вертикального диаметра образцов труб (мм) от ширины стреловидного профиля при поперечном сжатии (1,2) и сплющивании (3, 4, 5, 6): 1 - 50; 2 - 63; 3 - 75; 4 - 90; 5 - 110; 6 - 125.

По результатам испытаний вычислены средние величины относительного укорачивания вертикального диаметра в зависимости от ширины профиля при  $\lambda = 19,6$  кПа (рис. 1). Для труб диаметром 50, 63, 75, 90, 110 и 125 мм достаточным является профиль шириной 7; 7,5; 8; 9; 10; 11 мм.

Трубные образцы различных диаметров подвергались испытаниям на сплющивание и поперечное сжатие нагрузками, ко-

леблющимися от 14,4 до 68,7 кПа. При каждой ступени нагружения испытано не менее пяти образцов труб, навитых со стреловидного профиля указанной ширины. По результатам опытов выведены средние величины изменения диаметра от нагрузки.

Установлено, что при поперечном сжатии относительное укорачивание вертикального диаметра всех испытанных труб превышает нормативное значение  $\epsilon$  при  $\lambda=24,5$  кПа. Деформация сплющивания поперечного сечения превышает 10% у труб диаметром 50 мм при  $\lambda=68,7$  кПа; 63,75 и 90 мм при  $\lambda=34,3$  кПа; 110 мм при  $\lambda=29,4$  кПа; 125 мм при  $\lambda=24,5$  кПа. Следовательно, спирально-витые дренажные трубы рассматриваемой конструкции обладают повышенной жесткостью, что обеспечит необходимую надежность работы дренажа в течение всего расчетного периода эксплуатации.

По аналогичным методикам проведены испытания труб без перфорации и с различным числом рядов перфорации. Образцы таких труб подвергались действию нагрузки, рассчитанной при  $\lambda=19,6$  кПа.

При сопоставлении полученных величин деформации перфорированных и неперфорированных труб не выявлено заметной разницы между ними. Это обусловлено расположением водоприемных отверстий между двумя ребрами жесткости, что делает несущественным их ослабляющее влияние и позволяет сохранить почти неизменной несущую способность неперфорированного трубопровода при испытанных параметрах перфорации.

Важной прочностной характеристикой дренажных труб является сопротивление ударным нагрузкам. При транспортировке, хранении, укладке и особенно дренажной засыпке траншеи вероятность ударного воздействия на трубу достаточно велика. Особенно опасны ударные нагрузки для перфорированных труб из НПВХ при отрицательных температурах воздуха [3, 4].

В опытах воспроизводилась схема: дренажная труба лежит в грунтовом желобе на дне траншеи, а на нее сверху падает камень, ком мерзлого грунта и т.п. Чтобы приблизить условия испытаний к натурным, использовался вертикальный стенд со свободно падающим грузом, имеющим полусферическую ударную поверхность с радиусом закругления 12,5 мм [1, 6]. Для установки испытуемого трубного образца в нижней части стенда расположена деревянная подставка с V-образным пазом (угол  $120^\circ$ ), закрепленная на металлической плите [1, 6].

Масса падающего груза изменялась через 0,1 кг. При низкой ударной прочности образца трубы изменяли энергию удара, уменьшая массу падающего груза. Если образец выдерживал испытания, массу падающего груза увеличивали [6]. Ударная прочность труб определялась в интервале температур от +20 до -20°С, для чего образцы длиной 200 мм перед опытом подвергались кондиционированию в климатической камере в течение 1 ч. [6]. При каждой температуре испытано 40-50 образцов труб.

Для расчета критерия ударной прочности была составлена табл. 2.

Приведем примерный расчет параметров распределения энергии удара, полученных при температуре минус 15°С.

Средняя масса падающего груза подсчитывается по формуле

$$m_{\text{ср}} = m_0 + \frac{0,1 \sum Fx}{\sum F} = 0,9 + \frac{0,1 \cdot 21}{40} = 0,95 \text{ кг.}$$

Здесь F - количество образцов, испытанных при каждой массе груза; x - количество приращений на 0,1 кг, на которое груз отличается от принятого  $m_0$ . Выбираем  $m_0 = 0,9$  кг.

Находим дисперсию

$$\sigma = \frac{0,1}{\sum F} \sqrt{\sum Fx^2 - \frac{(\sum Fx)^2}{\sum F}} = \frac{0,1}{40} \sqrt{107 \cdot 40 - 21^2} = 0,155.$$

За результат испытания принимаем массу груза, при котором разрушается 10% испытанных образцов. Масса этого груза определялась по формуле  $m_{10\%} = m_{\text{ср}} - 1,28\sigma = 0,95 - 1,28 \cdot 0,155 = 0,78$  кг. Энергия удара, соответствующая этому грузу для данного случая;  $W = m_{10\%} \cdot h = 0,78 \cdot 1 \cdot 9,80665 = 7,7$  Дж, где h - высота падения груза, равная 1 м,

Таблица 2

Масса груза, кг	F	x	Fx	Fx <sup>2</sup>
1,2	3	3	9	27
1,1	10	2	20	40
1,0	9	1	9	9
0,9	7	0	0	0
0,8	6	-1	-6	6
0,7	4	-2	-8	16
0,6	1	-3	-3	9
Итого	40		21	107

Аналогично рассчитанные результаты испытаний при всех температурах представлены на рис. 2. Для сравнения приводятся величины энергий удара, рекомендуемые ИСО, СЭВ, английским стандартом BS3505 в качестве контрольных испытаний гофрированных труб из НПВХ и данные НПО "Пластик" для гофрированных труб из НПВХ рецептуры ТГ-25. Из рис. 2 видно, что максимальной ударной прочностью при низких температурах обладают испытанные нами спирально-витые дренажные трубы из ударопрочного НПВХ, а минимальной - гофрированные трубы, изготовленные из жесткого НПВХ.

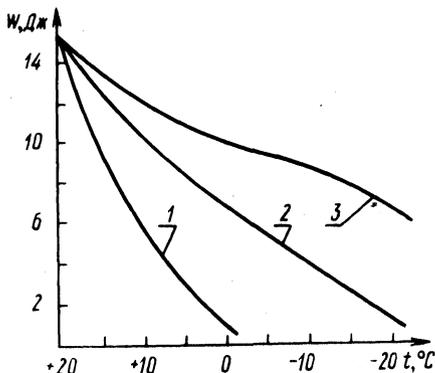


Рис. 2. Ударная прочность образцов труб из непластифицированного поливинилхлорида: 1 - гофрированные по рекомендациям ИСО, СЭВ и английскому стандарту BS 3505; 2 - гофрированные НПО "Пластик"; 3 - спирально-витые БелНИИМВХ и БЗПИ.

Высокая сопротивляемость удару спирально-витых труб обусловлена не только свойствами ударопрочной поливинилхлоридной композиции, но и их "шарнирной" конструкцией. Установлено, что при ударе происходит относительное перемещение витков трубы в продольном направлении, гасящее ударные нагрузки. Таким образом, трубы такой конструкции из ударопрочного НПВХ вполне пригодны для строительства дренажных систем при температуре  $-20^\circ\text{C}$ .

Во время укладки трубы в траншею происходит ее продольный изгиб. При этом появляются знакопеременные деформации и напряжения в поперечном сечении трубы. Кроме того, полимерные дрены малых диаметров сворачиваются в более или менее компактные бухты; размеры последних определяются в основном минимальным радиусом изгиба трубы. Все это выдвигает необходимость проведения испытаний на изгиб.

В настоящее время для таких испытаний используется метод, основанный на протягивании отрезков труб длиной 2-3 м через изогнутые с определенным радиусом шаблоны [3, 6]. При этом не должны образовываться в стенках труб изломы, перегибы и трещины.

Данный метод приемлем для оценки продольной гибкости при приемочном контроле серийно выпускаемых труб на предмет соответствия их установленным нормам. Однако он не позволяет определить предельный допустимый радиус изгиба трубы и то изгибающее усилие, при котором труба теряет устойчивость.

Для экспериментальных исследований продольной гибкости спирально-витых дренажных труб на БЗПИ разработан способ, лишенный описанного недостатка. Он предусматривает изгиб трубных образцов как свободно-опирающейся балки, нагруженной посередине сосредоточенной силой (рис. 3).

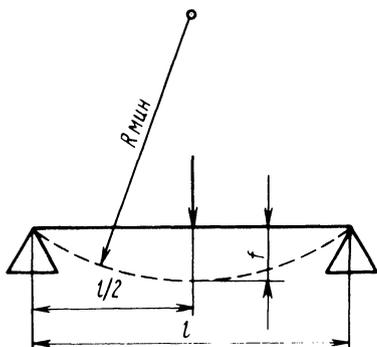


Рис. 3. Схема нагружения трубного образца изгибающим усилием.

Испытание образцов осуществлялось на приспособлении, устанавливаемом в нижнем зажиме разрывной машины. В качестве деформирующего элемента использовался стальной полированный цилиндр диаметром 20 мм. Этот метод позволяет фиксировать максимальный прогиб образца  $f$  (при помощи пружинного индикатора) и усилие  $F$ , при котором происходит потеря устойчивости (разрушение) трубы (по шкале прибора). Нагрузению подвергалось по пять образцов труб каждого диаметра длиной 200 мм.

Таблица 3. Показатели продольной гибкости спирально-витых дренажных труб

Наружный диаметр трубы, мм	Максимальный прогиб образца $f$ , см	Минимальный радиус изгиба трубы $R$ , см	Внутренний диаметр бухты, м	Разрушающее усилие изгиба $F$ , Н
50	1,14	44,6	0,89	282,4
63	0,95	49,8	0,99	320,7
75	0,84	57,4	1,15	372,7
90	0,80	63,0	1,26	411,9
110	0,70	70,5	1,41	514,9
125	0,64	76,3	1,53	583,5

Зная величину  $f$ , находим минимальный радиус изгиба трубы:  $R_{\text{мин}} = 1/8 f (1^2 + 4f^2)$ . Результаты испытаний трубных образцов на изгиб приведены в табл. 3.

Установлено, что продольная гибкость спирально-витых труб не зависит от их прочности в поперечном направлении. Она обеспечивается перемещением стрелки витка профиля поперек хвостовой части профиля соседнего витка. Величина этого смещения определяет минимальный радиус изгиба трубы и зависит от ее диаметра, ширины стреловидного профиля и может быть выражена зависимостью

$$\Delta l = \frac{D_{\text{н}} b}{R_{\text{мин}}},$$

где  $D_{\text{н}}$  - наружный диаметр трубы, мм;  $b$  - ширина стреловидного профиля, мм;  $R_{\text{мин}}$  - минимальный радиус изгиба трубы, мм.

Спирально-витые трубы обладают более высокой продольной гибкостью, чем гофрированные по ТУ6-05-1078-72, что позволяет уменьшить габариты бухт и автоматизировать процесс их укладки в грунт.

При механизированном устройстве дренажа пластмассовые трубы испытывают растягивающее осевое усилие, возникающее в процессе их протягивания через направляющие устройства трубоукладчика. Поскольку спирально-витые трубы состоят из элементарных стреловидных профилей, находящихся во взаимном зацеплении, то определение максимального допустимого усилия натяжения такой трубы является необходимым. В связи с этим выполнены экспериментальные исследования по методике, разработанной на БЗПИ.

Испытания проводились на разрывной машине УММ-5. Закрепление образцов обеспечивалось с помощью специальных захватов, устанавливаемых в зажимах машины. Во избежание деформации рабочих участков образца в концы труб вставляются пробки из мягкой породы дерева. Осевое растяжение образцов осуществлялось раздвижением захватов со скоростью 50 мм/мин. Максимальное усилие разрыва отрезков труб фиксировалось по шкале прибора.

Испытанию подвергались трубные образцы наружным диаметром 50, 75 и 110 мм, длиной 200 мм, навитые из стреловидных профилей разной ширины. В опытах использовалось не менее пяти образцов каждого вида (по ширине профиля), по

которым и проведено осреднение результатов. Для труб диаметром 50, 75 и 110 мм усилие разрыва соответственно равно 1000, 1147 и 2265 Н. Следует отметить, что гофрированная труба диаметром 50 мм по ТУ6-05-1078-72 может выдерживать усилие натяжения не более 68,7 Н, а максимальное прирывке - 196 Н [4].

Таким образом, спирально-витые трубы, изготовленные из стреловидных профилей оптимальной ширины, удовлетворяют требованиям механизации процесса строительства дренажа.

Резюме. Установлено, что спирально-витые трубы новой конструкции сочетают в себе повышенную жесткость и малый вес, обладают необходимой ударной прочностью в широком интервале температур (от +20 до -20°С), высокой продольной гибкостью и прочностью при осевом растяжении.

Показано, что такие прочностные характеристики определяются рациональной конструкцией трубы и физико-механическими свойствами полимерного материала, использованного для ее изготовления.

#### Л и т е р а т у р а

1. Каган Д.Ф. Трубопроводы из твердого поливинилхлорида. М.-Л., 1964.
2. Мурашко А.И. Дренажная труба. Авт. свид. № 335 328. - "Бюл.изобр.", 1972, № 13.
3. Мурашко А.И. Горизонтальный пластмассовый дренаж. Минск, 1973.
4. Проект отраслевого стандарта. "Трубы пластмассовые гибкие для дренажных систем. Технические требования". М., 1972.
5. Пунтанс А.В., Авотиньш А.А. Методика испытания дренажных труб на сплющивание. - В сб.: Гидротехника и мелиорация в Латвийской ССР. Т. 13. Елгава, 1969.
6. ISO/TC 138/WG 1 (Serr. - 77)137. Draft specification for plastics pipes and fittings for use sub-soil drainage (light duty) (doc.138/1 N 138). Berlin, 1972.