

УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ ГОФРИРОВАННЫХ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ «КОРСИС» НА МЕЛИОРАТИВНЫХ ОБЪЕКТАХ

А. И. Митрахович, кандидат технических наук, доцент

В. М. Макоед, ведущий научный сотрудник

С. М. Лавушев, младший научный сотрудник

А. П. Сергееня, инженер

*РУП «Институт мелиорации»,
Минск, Беларусь*

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы, связанные с применением в мелиоративной отрасли полиэтиленовых двухслойных гофрированных труб «КОРСИС» большого диаметра в качестве сбросных и проводящих коллекторов вместо некоторых проводящих каналов. Это позволяет уменьшить контурность обрабатываемых полей. Отмечены наиболее существенные факторы – длина гона, конфигурация или рельеф полевых участков, влияющие на производительность с/х машин. Рекомендуются наиболее рациональные размеры обрабатываемых полей. Приводятся данные гидравлических характеристик исследованных труб «КОРСИС» диаметром 200, 315, 400 и 500 мм и возможные площади осушения их дренажем с применением полиэтиленовых двухслойных гофрированных труб «КОРСИС» в качестве проводящих и дренажных коллекторов с частичной заменой некоторых каналов. Установлено, что при уклонах больше 0,001 и степени наполнения h/d больше 0,3 все трубопроводы обеспечивают незаиляющие скорости потока.

Ключевые слова: мелиоративный объект, контурность полей, дренаж, трубы большого диаметра, гидравлический расчет труб, канал, коллектор, широкозахватная сельскохозяйственная техника, длина гона.

Abstract

*A.I. Mitrakhovich, V.M. Makoed, S.M. Lavushev,
A.P. Sergeenya*

CONDITIONS OF APPLICATION OF TWO-LAYER CORRUGATED POLYETHYLENE PIPES “CORSIS” ON MELIORATIVE OBJECTS

The article discusses issues related to the use of polyethylene double-layer corrugated pipes “CORSIS” of large diameter in the reclamation industry as discharge and conducting manifolds instead of some conducting channels. This reduces the contours of the fields being processed. The most significant factors are noted – the length of the run, the configuration or relief of the field areas, affecting the productivity of agricultural machines. The most rational sizes of the fields to be processed are recommended. The hydraulic characteristics of the “CORSIS” pipes of 200, 315, 400 and 500 mm diameter examined and the possible drainage areas with the use of polyethylene double-layer corrugated “CORSIS” pipes as conducting and drainage manifolds with partial replacement of some channels are given. It has been found that if the slopes are greater than 0.001 and the fill degree h/d is greater than 0.3, all pipelines provide non-binding flow rates.

Keywords: reclamation object, contour of fields, drainage, large diameter pipes, hydraulic calculation of pipes, channel, collector, wide-grip agricultural machinery, length of the run.

Введение

Мелиорация – одно из главных средств интенсификации сельскохозяйственного производства и, кроме того, пожалуй, единственная возможность для наиболее рационального использования земельных угодий.

Актуальной задачей мелиоративной отрасли в Республике Беларусь в настоящее

время является повышение эффективности действия мелиоративных систем по регулированию водного режима почв и создание нормальных условий для работы широкозахватной сельскохозяйственной техники при обработке мелиорированных земель, особенно на системах с густой сетью каналов, создающих большую контурность по-

лей. Известно, что условия эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники являются следствием сочетания различных факторов, действия которых по-разному влияют на состав машинотракторного парка и границы эффективного использования машин.

Результаты исследований и обсуждение

В настоящее время имеются возможности автоматизации выполнения технологических расчетов и планирования производственной деятельности, которые позволяют обеспечивать сельскохозяйственных производителей необходимыми программами для принятия оперативных решений и более интенсивного использования на практике технологий точечного земледелия. Большинство применяемых алгоритмов со-

Из большого количества природных, агротехнических и биологических факторов, влияющих на производительность машинотракторных агрегатов, по заключению многих исследований, наиболее существенными являются длина гона и конфигурация или рельеф полевых участков.

держат ряд последовательных этапов расчета по выбору исходного контура полей, построение поворотных полос, генерация рабочих и холостых ходов (поворотов) формирование окончательной траектории движения и расчет производительности машинного агрегата [1]. В результате установлен характер изменения производительности агрегатов в зависимости от конфигурации полей (таблица 1).

Таблица 1 – Значение интервалов изменения анализируемых признаков

Признак	Интервал изменения	Характеристика условий
1	2	3
Длина гона	200–300 м (4–6 га)	Плохие
	400–500 м (12–15 га)	Средние
	600–700 м (25–30 га)	Хорошие
	800–1000 м (40–50 га)	Очень хорошие
	1300–1500 м (60–65 га)	Отличные
Тип конфигурации	Прямоугольник	Поле правильной формы
	Трапеция	Поле частично неправильной формы
	Треугольник	Сложный рельеф и конфигурация поля

Нормативные значения производительности в зависимости от условий эксплуатации приведены в таблице 2.

Наиболее высокие темпы роста производительности с увеличением длины гона имеют широкозахватные агрегаты, работающие по технологическому циклу: с 3,87–4,52 до 12,09–12,66 га /ч или в 1,67–2,27 раза (машины для внесения твердых минеральных удобрений); с 4,13–4,51 до 12,34–12,95 га /ч до 12,34–12,95 га /ч или в 1,74–2,13 раза (опрыскиватели).

Существенное влияние на производительность оказывает и конфигурация поля;

если для типа «прямоугольник» значение прироста производительности МТА принять за 100 % [1], то для типа «трапеция» оно составит в среднем 85–90 %, для типа «треугольник» – 75–88 %. Следует учитывать также, что каждой длине гона должна соответствовать оптимальная ширина загона, которую рекомендуется определять по формуле [2]:

$$C_{\text{опт}} = \sqrt{2(LB_p + 8R^2)}, \quad (1)$$

где L – длина гона;

R – наименьший радиус поворота;

B_p – рабочая ширина захвата.

Таблица 2 – Нормативные значения производительности для базовых агрегатов по материалам типовых норм выработки

Состав агрегата	Производительность га /смена при работе МТА на различных длинах гона				
	200–300 м	400–500 м	600–700 м	800–1000 м	1300–1500 м
Беларус 1523+ППО-(4Н)-4ОК	6,9	7,9	8,5	8,8	9,2
Беларус 3022+АПП-6Д	18,2	21,6	23,0	24,9	26,4
Беларус 3522+АК4-8	21,7	24,4	27,0	26,7	27,6
Беларус 1221+РУ7000*	59,2	68,1	70,0	71,7	73,6
Беларус 820+Мекосин 2500-24**	45,3	50,9	53,0	55,3	56,9

* Расстояние транспортировки – до 5 км, норма внесения – до 250 кг/га.

** Расстояние транспортировки – до 2 км, норма внесения – 200 л/га.

Целесообразная ширина загонов при работе машинотракторных агрегатов в сельскохозяйственном производстве приведена в таблице 3.

Данными таблицы с определенной точностью можно пользоваться при выборе параметров разбивки поля на загоны, однако надо принимать во внимание и отдавать предпочтение системе машин с более маневренными свойствами.

Чтобы выполнить вышеуказанные технологические требования обработки полей при проектировании мелиоративных си-

стем с применением полиэтиленовых гофрированных двухслойных труб, необходимо знать их гидравлические возможности и, в первую очередь, пропускную способность, которая зависит от диаметра трубопровода и уклона трубопровода. В расчетном отношении трубопроводы делятся на напорные, когда трубы работают полным сечением и давление внутри их больше атмосферного, и безнапорные, когда трубы работают неполным сечением и на поверхности уровня воды давление равно атмосферному.

Таблица 3 – Рекомендуемые минимальные расстояния между открытыми осушителями для работы широкозахватной сельскохозяйственной техники

Длина гона, м	Ширина загона для тракторов тягового класса, м				
	14кН	30кН	40кН	50кН	60кН
Более 1500	–	110–120	110–120	150–160	160–170
1300–1500	–	100–110	110–120	140–150	150–160
1000–1300	70–80	90–100	100–110	120–140	130–150
700–1000	60–70	80–90	90–100	100–120	115–130
500–700	50–60	70–80	80–90	85–110	95–115
400–500	45–50	60–70	70–80	70–85	75–95
300–400	40–45	50–60	60–70	–	–

Расчет дренажных труб ведется при сплошном их заполнении [3].

Гидравлический расчет трубопроводов устанавливает геометрические размеры трубы при заданном начальном напоре, расходе и длине, или даст необходимый начальный напор при прочих заданных величинах. Трубопроводы могут работать в напорном режиме при полном заполнении полости тру-

бы и частичном наполнении. В этом случае возникает опасность заилиения коллектора частицами грунта, попадающими из канала или дренажных труб. Следовательно, необходимо определить условия, исключающие возможность заилиения труб. Для предотвращения заилиения должны обеспечиваться соответствующие транспортирующие скорости потока воды в трубах, которые зависят от

уклона коллектора, внутренней шероховатости труб, степени их наполнения, а также от крупности частиц, попадающих в трубы. Минимально допустимые скорости в зависимости от грунтов рекомендуются в пределах 0,3–0,4 м/с. Размыв отложившихся наносов и самоочистка труб зависит от крупности наносов и диаметра труб. В трубах диаметром более 220 мм размыв наносов крупностью $0,1 < d < 0,25$ мм происходит при скоростях потока 0,4–0,5 м/с.

Самоочистка дрен обеспечивается только при уклонах более 0,05 и скоростях воды 1–2 м/с. Вероятность самоочистки труб от песчаных наносов при уклонах меньше 0,005 довольно низкая.

Интенсивность размыва и перемещение наносов в трубах определяется величиной донной скорости и практическое значение имеет вынос частиц во взвешенном состоянии. На эффективность самоочистки влияет степень наполнения труб. Установлено, что для выноса частиц диаметром $d \leq 0,3$ мм необходимы уклоны $i = 0,005–0,01$ при половинном наполнении труб, при полном наполнении $i = 0,003–0,006$. Для выноса частиц, диаметром больше 0,4 мм, нужны уклоны $i = 0,01–0,03$.

Ранее отмечалось, что наиболее экономически целесообразными трубами большого диаметра при использовании их на мелиоративных объектах являются двухслойные полиэтиленовые гофрированные трубы «КОРСИС» [4]. Исходя из вышеизложенного, необходимо определить гидравлические характеристики труб, диаметром от 160 до 500 мм, при их работе в безнапорном и напорном режиме движения воды.

Гидравлические расчеты напорных и безнапорных трубопроводов основываются на применении формулы Шези:

$$\sigma = C\sqrt{Ri} \text{ и } Q = \omega C\sqrt{Ri} = \sigma\omega, \quad (2)$$

где C – коэффициент, зависящий от состояния и шероховатости внутренней поверхности труб и их диаметра;

R – гидравлический радиус, равный:

- при полном наполнении труб:

$$R = D/4; \quad (3)$$

- при различной степени наполнения трубы (безнапорный режим):

$$R = \frac{\omega}{\chi}, \quad (4)$$

где D – внутренний диаметр трубопровода;

i – гидравлический уклон;

ω – площадь живого сечения потока;

χ – длина смоченного периметра трубы, изменяющаяся от $\frac{h}{D} = 0,1$ до 1.

В мелиоративной практике коэффициент Шези вычисляется по формулам Н. Н. Павловского, Маннинга, В. Р. Куттера и др. [5]:

- Н. Н. Павловского:

$$C = \frac{1}{n}R^y, \quad (5)$$

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,10), \quad (6)$$

при $R < 1,0$ м

$$y = 1,5\sqrt{n}, \quad (7)$$

где n – коэффициент шероховатости.

- Маннинга:

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} = \left(\frac{D}{4}\right)^{\frac{1}{6}}. \quad (8)$$

1) Гидравлический расчет труб «КОРСИС» в безнапорном режиме проведен по вышеуказанной методике с определением площади живого сечения при различной степени наполнения по формуле

$$\omega = \frac{1}{8(\varphi - \sin\varphi)d^2}; \quad (10)$$

где d – внутренний диаметр трубы;

φ – центральный угол в радианах:

$$\varphi = 2\arccos\left(1 - \frac{h}{r}\right), \quad (11)$$

где r – радиус трубы;

R – гидравлический радиус, при полном наполнении:

$$R = \frac{d}{4}; \quad (12)$$

- при частичном наполнении:

$$R = \frac{1}{4}\left(1 - \frac{\sin\varphi}{\varphi}\right)d; \quad (13)$$

- смоченный периметр:

$$\chi = \frac{\varphi d}{2}. \quad (14)$$

По данной методике рассчитаны гидравлические характеристики двухслойных гофрированных полиэтиленовых труб «КОРСИС», диаметром (наружным) 200, 250, 315,

400 и 500 мм. Определены скорости и расходы труб при уклонах 0,001–0,006 с определением коэффициента C по формуле Павловского. Установлено, что при уклоне больше 0,001, все трубопроводы обеспечивают незаияющие скорости потока, а расход их с увеличением уклона от 0,001 до 0,005 возрастает более, чем в 2 раза (рисунок 1).

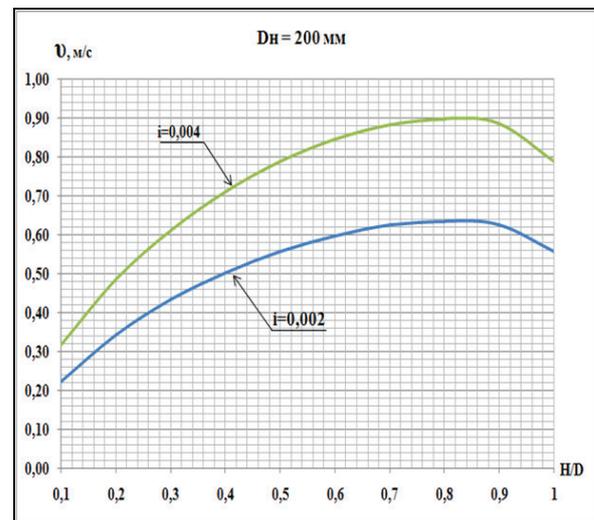
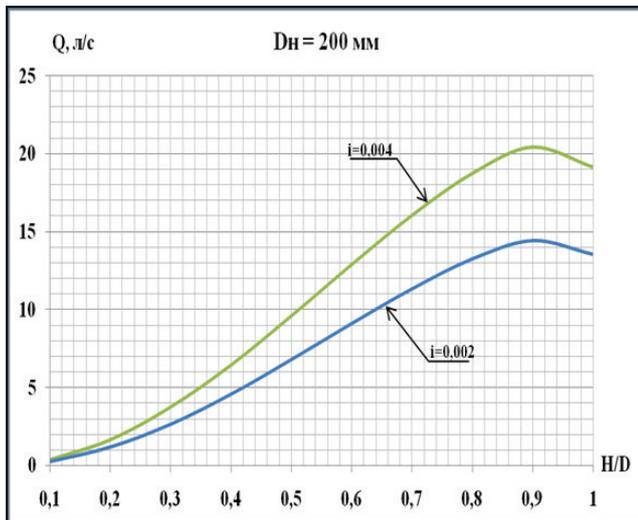


Рисунок 1 – Графики скоростей и пропускной способности отводящего трубопровода «КОРСИС» различного диаметра при безнапорном движении воды в зависимости от степени наполнения (H/D) и уклона i

На основании данных по пропускной способности полимерных труб при работе в безнапорном режиме при полном наполнении труб (таблица 4) определены площади возможного осушения дренажем с коллекторами заданного диаметра при определенном укло-

не и модуле дренажного стока (таблица 5) по формуле

$$F = \frac{Q}{q}, \quad (15)$$

где F – площадь осушения, га;
 Q – расход трубопровода, м³/сут;
 q – модуль дренажного стока, м³/сут·га.

Таблица 4 – Гидравлические характеристики гофрированных труб «КОРСИС» при полном наполнении (безнапорный режим)

Уклон	Диаметр, мм									
	200		250		315		400		500	
	Q, л/с	v, м/с	Q, л/с	v, м/с	Q, л/с	v, м/с	Q, л/с	v, м/с	Q, л/с	v, м/с
0,001	10,10	0,42	17,38	0,47	31,70	0,55	60,58	0,64	105,78	0,47
0,002	14,28	0,59	24,58	0,67	44,84	0,78	85,67	0,91	149,59	1,04
0,003	17,50	0,72	30,10	0,82	54,91	0,95	104,92	1,12	183,21	1,28
0,004	20,20	0,83	34,76	0,95	63,41	1,10	121,15	1,29	211,55	1,48
0,005	22,59	0,93	38,86	1,06	70,89	1,23	135,45	1,44	236,52	1,65
0,006	24,74	1,02	42,57	1,16	77,66	1,35	148,38	1,58	259,10	1,81

Таблица 5 – Осушаемая площадь, обслуживаемая трубопроводом «КОРСИС» при модулях стока 0,6; 1,0; 2,0; 4,0 л/с га

Уклон	Q, л/с	Модули стока, л/с·га			
		0,6	1,0	2,0	4,0
Осушаемая площадь, га					
1	2	3	4	5	6
Диаметр трубопровода 200 мм					
0,001	10,50	17,5	10,5	5,2	2,6
0,002	14,28	23,8	14,28	7,14	3,57
0,003	17,50	29,16	17,5	8,75	4,37
0,004	20,20	33,66	20,20	10,10	5,05
0,005	22,59	37,65	22,59	11,29	5,6
0,006	24,74	41,23	24,74	12,37	6,17
Диаметр трубопровода 250 мм					
0,001	17,38	28,96	17,38	8,69	4,34
0,002	24,58	40,96	24,58	12,29	6,14
0,003	30,10	50,16	30,10	15,5	7,52
0,004	34,76	57,93	34,76	17,88	8,69
0,005	38,86	64,76	38,86	19,96	9,71
0,006	42,57	70,01	42,57	21,28	10,64
Диаметр трубопровода 315 мм					
0,001	31,70	52,83	31,70	15,85	7,92
0,002	44,84	74,73	44,84	22,42	11,21
0,003	54,91	91,15	54,91	27,95	13,72
0,004	63,41	105,68	63,41	31,70	15,85
0,005	70,89	111,15	70,99	59,07	17,72
0,006	77,66	129,43	77,66	38,83	19,41
Диаметр трубопровода 400 мм					
0,001	60,58	101,0	60,58	30,29	15,14
0,002	85,67	142,78	85,67	42,83	21,42
0,003	104,92	174,86	104,92	52,46	26,23
0,004	121,15	201,19	201,19	60,57	30,28
0,005	135,45	225,75	225,75	67,72	33,86
0,006	148,38	247,30	247,30	74,19	37,10

Как видим, при средних уклонах 0,003 и модуле дренажного стока 0,6 л/с·га коллектора, диаметром 200–315 мм, могут осушать площадь от 17 до 55 га, а с диаметром 400 мм, площадь составит 104 га, при этом имеется возможность существенно сократить длину каналов.

2) Гидравлический расчет гофрированных труб «КОРСИС» в напорном режиме

На мелиоративных системах трубы «КОРСИС» могут использоваться не только в качестве дренажных коллекторов, но и как трубопроводов, отводящих воду из каналов. В этом случае они в критические периоды работают

в напорном режиме. При их гидравлическом расчете необходимо учитывать длину трубопровода. Основными задачами при расчетах трубопроводов являются:

а) Определение необходимого диаметра трубы D для пропуска заданного расхода Q при длине трубопровода L и напоре H .

б) Определение расхода Q протекающего по трубопроводу при определенном напоре H , длине трубопровода L , диаметре трубопровода D с шероховатостью n .

Порядок расчета пропускной способности трубопровода при известных данных следующий [6].

I вариант

1. Определяем площадь сечения отводящего трубопровода:

$$F = \frac{\pi D^2}{4}. \quad (16)$$

2. Расход трубопровода определяем по формуле:

$$Q = \mu F \sqrt{2gH} = \mu \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gH}. \quad (17)$$

3. Коэффициент расхода μ :

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \Sigma \zeta + \lambda \frac{L}{D}}}, \quad (18)$$

где α – коэффициент Кориолиса, равный 1;
 $\zeta_{\text{вх}} = 0,5$ – коэффициент сопротивления на вход;
 L – длина трубопровода.

4. Определяем коэффициент гидравлического трения:

$$\lambda = 8gn^2 \left(\frac{4}{D}\right)^{3\sqrt{n}}, \quad (19)$$

где $n = 0,009-0,015$ – коэффициент шероховатости полиэтиленовых гофрированных труб с гладкой внутренней стенкой.

5. Определяем скорость в трубопроводе:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \Sigma \zeta + \lambda \frac{L}{D}}} \cdot \sqrt{2gH}. \quad (20)$$

6. Определяем расход в трубопроводе:

$$Q = \mu F \sqrt{2gH}. \quad (21)$$

II вариант

Порядок расчета такой же, но λ определяется по формуле Б. Л. Шифринсона:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{D}\right)^{0,25}, \quad (22)$$

где Δ – абсолютная (эквивалентная) шероховатость стенок трубопровода, мм; полиэтиленовые чистые трубы $\Delta = 0,003$ мм с учетом возможного налета при эксплуатации принимаем: $n = 0,01$.

III вариант (методика А. Н. Сидорова по модулю расхода K) [7]:

n – коэффициент шероховатости ($n = 0,01$).

1. Модуль расхода (K) – это расход при гидравлическом уклоне i равном единице – полная характеристика живого сечения потока – его пропускная способность. Определяем K по формуле:

$$K = \omega C \sqrt{R}; \quad (23)$$

$$C = \frac{1}{n} R^y = \frac{1}{n} \left(\frac{D}{4}\right)^y. \quad (24)$$

2. Находим гидравлический уклон:

$$i = \frac{H}{L}. \quad (25)$$

3. Определяем расход:

$$Q = K \sqrt{i}. \quad (26)$$

В таблице 6 и на рисунке 2 приведены значения пропускной способности отводящего трубопровода «КОРСИС» различного диаметра при напорном движении воды.

Таблица 6 – Пропускная способность отводящего трубопровода «КОРСИС» различного диаметра при напорном движении воды

Длина трубопровода, м	Пропускная способность, л/с						
	Напор, м						
	0,1	0,5	0,7	1	1,2	1,5	2
Диаметр 200 мм							
20	22,59	50,50	59,76	71,42	78,24	87,48	101,01
50	14,28	31,94	37,79	45,17	49,48	55,32	63,88
70	12,07	27,00	31,94	38,18	41,82	46,76	53,99
100	10,10	22,59	26,72	31,94	34,99	39,12	45,17
150	8,25	18,44	21,82	26,08	28,57	31,94	36,88
200	7,14	15,97	18,90	22,59	24,74	27,66	31,94

Длина трубопровода, м	Пропускная способность, л/с						
	Напор, м						
	0,1	0,5	0,7	1	1,2	1,5	2
Диаметр 315 мм							
20	70,89	158,52	187,57	224,18	245,58	274,57	317,04
50	44,84	100,26	118,63	141,79	155,32	173,65	200,52
70	37,89	84,73	100,26	119,83	131,27	146,76	169,47
100	31,70	70,89	83,88	100,26	109,83	122,79	141,79
150	25,89	57,88	68,49	81,86	89,67	100,26	115,77
200	22,42	50,13	59,31	70,89	77,66	86,83	100,26
Диаметр 400 мм							
20	135,45	302,88	358,37	428,34	469,22	524,61	605,76
50	85,67	191,56	226,66	270,91	296,76	331,79	383,12
70	72,40	161,90	191,56	228,96	250,81	280,41	323,79
100	60,58	135,45	160,27	191,56	209,84	234,61	270,91
150	49,46	110,60	130,86	156,41	171,34	191,56	221,19
200	42,83	95,78	113,33	135,45	148,38	165,89	191,56
Диаметр 500 мм							
20	236,52	528,88	625,78	747,95	819,33	916,04	1057,75
50	149,59	334,49	395,78	473,04	518,19	579,36	668,98
70	126,43	282,70	334,49	399,79	437,95	489,65	565,39
100	105,78	236,52	279,86	334,49	366,42	409,67	473,04
150	86,37	193,12	228,50	273,11	299,18	334,49	386,24
200	74,79	167,25	197,89	236,52	259,10	289,68	334,49

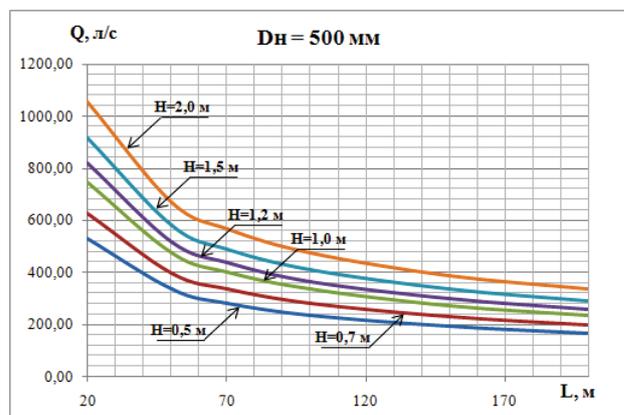
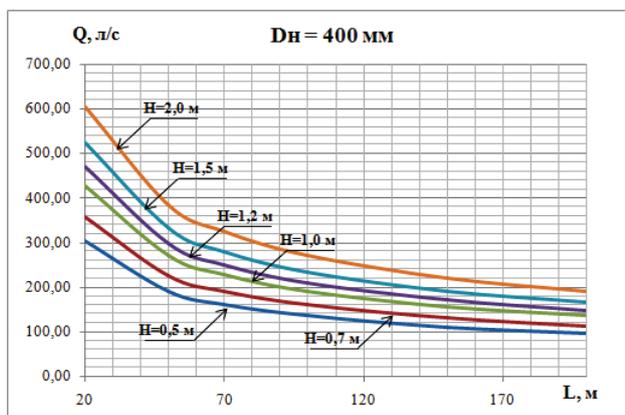
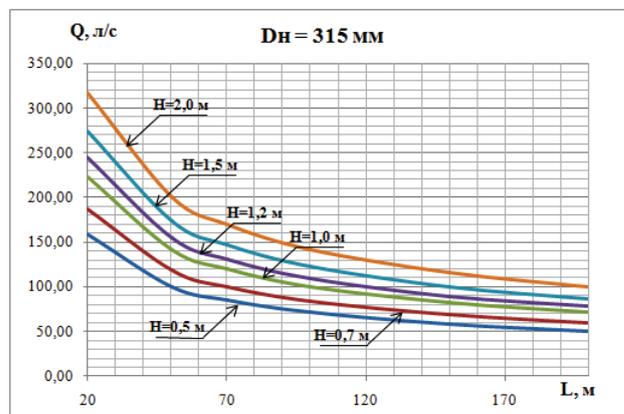
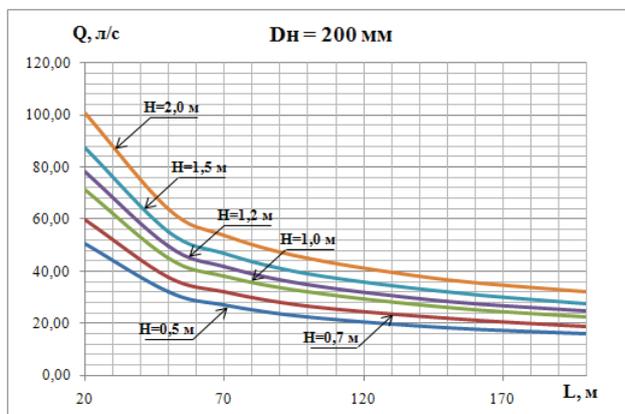


Рисунок 2 – Графики пропускной способности отводящего трубопровода «КОРСИС» различного диаметра при напорном движении воды в зависимости от его длины (L) и напора (H)

Приведенные данные показывают, что пропускная способность трубопроводов при работе в напорном режиме зависит как от величины напора в канале, так еще в большей степени от длины трубопровода. Если расход трубопровода диаметром 200 мм при напоре 1,0 м и длине 40 м со-

ставляет 60 л/с, то при длине 200 м расход будет 22 л/с. Трубопровод диаметром 315 мм при таких же условиях может обеспечивать пропуск расхода от 150 до 70 л/с. Это необходимо учитывать при проектировании отводящих воду из канала коллекторов из полимерных труб.

Выводы

1. Рассмотрены условия эксплуатации широкозахватной с/х техники и факторы, влияющие на состав машинотракторного парка и пределы эффективного использования машин.

2. Установлены (отмечены) наиболее важные характеристики обрабатываемых участков, их размеров, влияющих на производительность машин, которые следует учитывать при проектировании параметров и конструкций мелиоративных систем.

3. Выполнен гидравлический расчет полиэтиленовых двухслойных гофриро-

ванных труб «КОРСИС» в напорном и безнапорном режимах для применения их в качестве проводящих трубопроводов на мелиоративных системах с учетом возможного эффективного использования широкозахватной с/х техники.

4. По данным о пропускной способности полимерных труб «КОРСИС» большого диаметра определена возможная площадь осушения их дренажем при заданном уклоне и модуле дренажного стока.

Библиографический список

1. Ленский, А. В. Оптимизация маршрутов движения машинотракторных агрегатов по рабочим участкам простой конфигурации / А. В. Ленский, А. А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межведомств. темат. сб. – Минск : Беларуская навука. – 2019. – С. 13–18.

2. Фортуна, В. И. Технология механизированных сельскохозяйственных работ / В. И. Фортуна, С. К. Миронюк. – М. : Агропромиздат, 1986. – 302 с.

3. Чугаев, Р. Р. Гидравлика: учеб. для вузов / Р. Р. Чугаев. – 4-е изд. – Л. : Энергоиздат, 1982. – 672 с.

4. Из опыта применения на осушительных системах коллекторов из труб большого диаметра / А. И. Митрахович, В. М. Макоед, А. П. Сергееня, С. М. Лавушев // Мелиорация. – 2019. – № 2 (88). – С. 13–17.

5. Киселев, П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам / П. Г. Киселев. – Л. : Энергия, 1972. – 311 с.

6. Штеренлихт, Д. В. Гидравлические расчеты / Д. В. Штеренлихт, В. М. Алышев, Л. В. Яковлева. – М. : Колос, 1992. – 287 с.

7. Сидоров, Л. Н. Гидравлика и гидросиловые установки / Л. Н. Сидоров, М. Н. Ивановский. – М. : Сельхозгиз, 1959. – 487 с.

Поступила 21.01.2020