

## РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ДЛЯ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА В СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВОГРУНТАХ

*Д. В. Лодыга, магистр технических наук, аспирант*

*РУП «Институт мелиорации»,  
г. Минск, Беларусь*

### Аннотация

В статье изложены краткие сведения о функциональной эффективности физических моделей различных вариантов устройства дренажных линий в связных почвогрунтах тяжелого гранулометрического состава; результаты экономического расчета по вариантам устройства дренажных линий. Введено понятие технико-экономического показателя, и представлены результаты его расчета по вариантам устройства. Получен ранжированный ряд технико-экономических показателей в пределах от 0,712 до 0,185.

**Ключевые слова:** функциональная эффективность, слабопроницаемые почвогрунты, фильтрующая засыпка, постоянная времени, дренажная линия, экономический расчет, материальные ресурсы, технико-экономический показатель, ранжирование.

### Abstract

*D. V. Lodyha*

### TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATOR FOR THE SELECTION OF THE EFFECTIVE DESIGN OF CLOSED DRAINAGE IN LOAMY SOILS

The article provides brief information on the functional effectiveness of physical models of various options for the construction of drainage lines in cohesive soil of heavy particle size distribution; economic calculation results for drainage line options. The concept of a technical and economic indicator is introduced and the results of its calculation according to device options are presented. A ranked series of technical and economic indicators ranging from 0.712 to 0.185 is obtained.

**Key words:** functional efficiency, poorly permeable soil, filter backfill, time constant, drain line, economic calculation, material resources, technical and economic indicator, ranking.

### Введение

В Республике Беларусь насчитывается около 1,4 млн га земель с тяжелым гранулометрическим составом, которые характеризуются высоким потенциальным и низким реальным плодородием. Их эффективному сельскохозяйственному использованию препятствует переувлажнение весной, осенью и в периоды летних интенсивных осадков [1].

Около 507,2 тыс. га (или 16,7 %) мелиорированных земель Республики Беларусь (преимущественно центральная и северная зоны) представлено почвенно-грунтовыми комплексами тяжелого гранулометрического состава, которые, как правило, имеют динамично и масштабно изменяющуюся в зависимости от погодных и техногенных факторов водопроницаемость. Такая изменчивость определяет конструктивные особенности и параметры ошительной сети [2–7].

В качестве основных и бесспорных моментов по устройству мелиоративной сети на тяжелых слабопроницаемых почвогрунтах отмечают необходимость качественной организации поверхностного стока либо каналами или ложбинами по поверхности, либо переводом его части в дренажный сток водопоглощающими сооружениями [2, 8].

На площадях с суглинистыми и глинистыми слабопроницаемыми почвогрунтами достаточно часто возникает переувлажнение почв, что препятствует в той или иной степени ведению сельскохозяйственного производства и отрицательно сказывается на применении почвообрабатывающей и уборочной техники. В итоге это приводит к значительным потерям сельскохозяйственной продукции.

Следовательно, при проектировании дренажа необходимо отдавать предпочтение конструкциям дренажных систем, обеспечивающим

отведение поверхностных вод, а не почвенного фильтрата. Здесь имеются в виду системы на базе дрен-собирателей, эффективно отводящих поверхностную воду в дренажную сеть [4, 6, 9].

Таким образом, в данной работе рассматриваются результаты экономического расчета и технико-экономическая эффективность устройства вариантов конструкций закрытого

дренажа для суглинистых слабопроницаемых почвогрунтов, по которым было проведено физическое моделирование для экстремальных погодных условий. Цель работы – определить наиболее эффективные варианты конструкций закрытого дренажа для суглинистых слабопроницаемых почвогрунтов с учетом их технико-экономических показателей.

### Методика и объекты исследования

Для сравнения эффективности наиболее перспективных конструкций дренажа для суглинистых грунтов использовались их физические модели, размещенные в трех металлических емкостях с внутренними размерами 2000×1000×500 мм. Каждая емкость разделялась металлической перегородкой для отделения метровых отсеков и размещения в них моделируемых дренажных линий. Таким образом, исследовались шесть вариантов конструкций дренажа длиной 1 м. На

рис. 1 приведен общий вид грунтовых лотков, использованных при моделировании работы дренажа.

Пахотный и подпахотный горизонты отбирались на мелиоративном объекте «Коробы» Глубокского р-на Витебской обл., доставлялись и укладывались в модели отдельно, согласно статусу и мощности. Коэффициент фильтрации грунта в естественном состоянии составлял 0,2 м/сут. Лотки размещались под открытым небом.



*Рисунок 1 – Общий вид грунтовых лотков с рассматриваемыми вариантами конструкций дренажных линий*

При выборе перспективных вариантов устройства дренажа использованы разработанные в СССР и других странах данные о работе различных конструкций [2, 6, 8]. Кроме этого, принимались во внимание экспериментальные данные, полученные РУП «Институт мелиорации» на опытных участках, построенных на слабопроницаемых ( $K_{\phi} < 0,3$  м/сут.), набухающих почвогрунтах тяжелого гранулометрического состава [8].

Таким образом, сравнительную оценку технико-экономической эффективности проводили для физических моделей следующих вариантов устройства конструкций дренажных линий (рис. 2):

1) траншейным дренажником с засыпкой грунтом пахотного горизонта на 20 см, а затем засыпкой грунтом из дренажной траншеи с возделыванием растительности, имеющей глубокую и разветвленную корневую систему (редьки масличной, задействованной на всех вариантах, кроме Л–2) – Лоток 1 (Л–1);

2) траншейным дренажником с засыпкой грунтом пахотного горизонта на 20 см, а затем засыпка грунтом из дренажной траншеи без растительности на поверхности – Лоток 2 (Л–2) – контрольный вариант по стандартной технологии устройства дренажных линий;

3) бестраншейным дренажником с засыпкой щели от ножа высокопроницаемым фильтрующим материалом (торфом,  $K_{\phi} \approx 2,0$  м/сут.) до поверхности – Лоток 3 (Л–3);

4) бестраншейным дренажником с засыпкой щели от ножа высокопроницаемым фильтрующим материалом (торфом,  $K_{\phi} \approx 2,0$  м/сут.) до подошвы пахотного горизонта (30 см до поверхности) – Лоток 4 (Л–4);

5) бестраншейным дренажником с засыпкой щели от ножа высокопроницаемым фильтрующим материалом (торфом,  $K_{\phi} \approx 2,0$  м/сут.) до подошвы пахотного горизонта (30 см до поверхности) с введением

кратовой дрены в высокопроницаемую фильтрующую засыпку – Лоток 5 (Л–5);

6) бестраншейным дренажником с засыпкой щели от ножа высокопроницаемым фильтрующим материалом (торфом,  $K_{\phi} \approx 2,0$  м/сут.) до подошвы пахотного горизонта (30 см до поверхности) с внесением в пахотный горизонт негашеной извести (из расчета 10 т/га) – Лоток 6 (Л–6).

Для оценки функциональной эффективности исследованных вариантов при отводе осадков использован индекс относительного быстрогодействия, который определяется как отношение постоянных времени процессов базового варианта (Л–2) и рассматриваемого и рассчитывается по формуле

$$I_{об} = \frac{T_{бв}}{T_n}, \quad (1)$$

где:  $I_{об}$  – индекс относительного быстрогодействия;

$T_{бв}$  – постоянная времени базового варианта (Л–2), мин.;

$T_n$  – постоянная времени рассматриваемого варианта, мин.;

Результаты расчета индекса представлены в табл. 1 [2].

Опыт эксплуатации мелиоративных систем с устройством фильтрующей засыпки до поверхности земли (подобных исследуемому варианту Л–3) свидетельствует, что при проведении вспашки материал фильтрующей засыпки перемешивается с окружающим грунтом и перемещается относительно первоначального положения. Вследствие этого процесса проницаемость верхнего слоя засыпки резко уменьшается, и эффективность водоотвода варианта снижается за несколько лет до уровня варианта вывода фильтрующей засыпки до пахотного горизонта – Л–4 [2]. Пример перемещения более светлого материала засыпки дренажа подпахотным слоем плугами за период 3 года представлен на рис. 3.

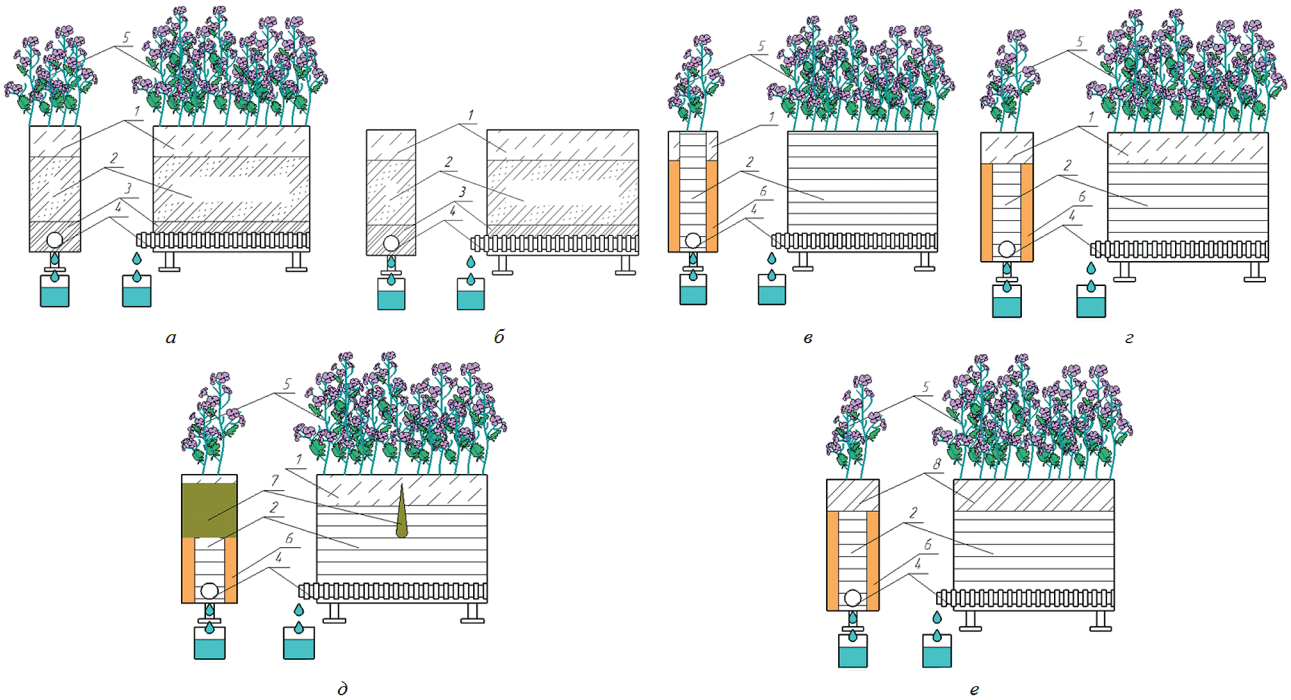
Таблица 1 – Расчет индекса относительного быстрогодействия

Наименование показателя	Вариант устройства дренажа					
	Л–1	Л–2	Л–3	Л–4	Л–5	Л–6
Постоянная времени $T$ , мин.	210,4	478,0	42,2	80,2	54,6	113,0
Индекс относительного быстрогодействия $I_{об}$	2,27	1,00	11,33	5,96	8,76	4,23



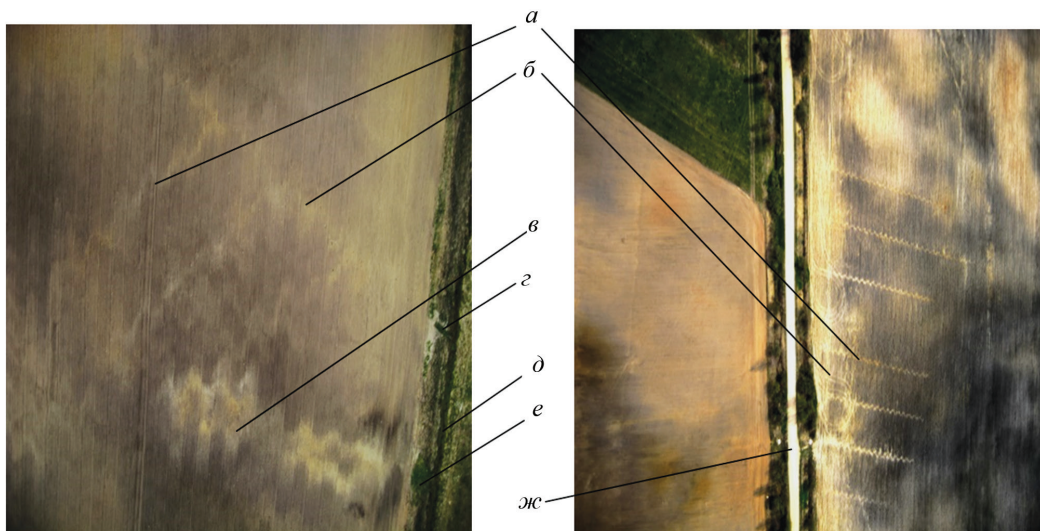
Пока известен единственный относительно эффективный вариант повышения долготлетия высокой водопроницаемости засыпки, правда, примененный только в конструкциях водопоглощающих колонок [9]. Суть решения – увеличение размеров проницаемой засыпки в пахотном горизонте.

Для решения обозначенной проблемы в конструкции варианта Л-3 была изменена ширина фильтрующей засыпки поверху – с 0,2 до 2,8 м на всю глубину пахотного горизонта. Полученному варианту присвоен артикул Л-7 (3\*), с сохранением значения индекса относительно бысродействия по варианту Л-3.



1 – пахотный горизонт, 2 – грунт обратной засыпки (а, б) / фильтрующая засыпка (в, з, д, е),  
3 – присыпка растительным грунтом, 4 – дренажная труба, 5 – растительность,  
имеющая разветвленную корневую систему (редька масличная), 6 – ненарушенный грунт;  
7 – кротовая дрена; 8 – пахотный горизонт с внесенной известью

Рисунок 2 – Схема физических моделей вариантов конструкций дренажных линий:  
а – вариант Л-1; б – вариант Л-2; в – вариант Л-3; з – вариант Л-4; д – вариант Л-5; е – вариант Л-6



а) дрена; б) коллектор; в) ложбина стока;  
г) устье коллектора; д) канал; е) открытая воронка стока; ж) дорога

Рисунок 3 – Фотографии поля, полученные при аэрофотосъемке на объекте «За Родину»,  
Шарковщинский р-н, Витебская обл.

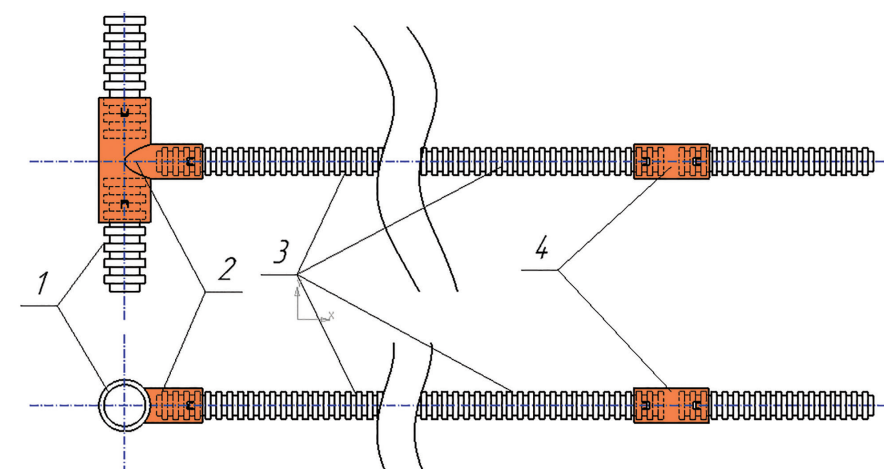
### Результаты исследования и их обсуждение

Для определения стоимости строительства вариантов конструкций дренажных линий (см. рис. 2) в слабопроницаемых суглинистых почвогрунтах выполнен экономический расчет с выделением перечня необходимых для устройства работ и материалов по каждому варианту в отдельности (табл. 2, 3) [10].

Для наиболее корректного определения стоимости устройства дренажных линий с учетом выполнения подключения дрены к коллектору и устройства соединений дренажных труб между собой (работа + материалы)

принята расчетная величина устройства дренажной линии в 1 км (рис. 4).

Экономический расчет выполнен в текущих ценах по состоянию на 1 октября 2019 г. с помощью программного продукта RSTC.smeta версия 8.8 [11]. Стоимость материалов фильтрующей засыпки (торфа) и негашеной извести определена путем мониторинга предложений на рынке Республики Беларусь на момент выполнения сметного (экономического) расчета без учета средств на доставку к месту строительства.



1 – дренажный коллектор; 2 – тройник дренажный;  
3 – дренажная линия; 4 – соединительная муфта (муфта дренажная)

Рисунок 4 – Общая схема устройства подключения дренажной линии к коллектору и устройства соединений дренажных труб между собой

Таблица 2 – Объем основных материальных ресурсов, необходимых для устройства дренажной линии

Наименование материала	Вариант дрены-собирателя						
	Л-1	Л-2	Л-3	Л-4	Л-5	Л-6	Л-7 (3*)
1. Труба из полиэтилена гофрированная дренажная с защитно-фильтрующим покрытием, наружным диаметром 63 мм, км	1,017	1,017	1,017	1,017	1,017	1,017	1,017
2. Муфта дренажная D63, шт.	10	10	10	10	10	10	10
3. Тройник дренажный 90×63, шт.	1	1	1	1	1	1	1
4. Защитно-фильтрующий материал, м <sup>2</sup>	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
5. Торф, м <sup>3</sup>	–	–	200	140	140	140	980
6. Известь негашеная, кг	–	–	–	–	–	20	–
7. Семена редьки масличной, кг	1,25	–	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Таблица 3 – Перечень работ, необходимый для устройства дрен-собираелей

Наименование работы	Вариант дрен-собираелей						
	Л-1	Л-2	Л-3	Л-4	Л-5	Л-6	Л-7(3*)
1. Планировка трассы закрытого собирателя на ширину отвала бульдозера (2,8 м)	+	+	+	+	+	+	-
2. Срезка растительного грунта по трассе закрытого собирателя на ширину отвала бульдозера (2,8 м)	-	-	-	-	-	-	+
3. Укладка дренажных полиэтиленовых труб многоковшовым экскаватором-дреноукладчиком с присыпкой дренажной трубы растительным грунтом (диаметр труб – 63 мм, грунт 2 группы – суглинок тяжелый)	+	+	-	-	-	-	-
4. Укладка дренажных полиэтиленовых труб бестраншейным дреноукладчиком (диаметр труб – 63 мм, грунт 2 группы – суглинок тяжелый)	-	-	+	+	+	+	+
5. Засыпка щели от ножа торфом при укладке дренажных полиэтиленовых труб бестраншейным дреноукладчиком	-	-	+	+	+	+	+
6. Обратная засыпка дренажной траншеи бульдозером (грунт 2 группы – суглинок тяжелый)	+	+	-	-	-	-	-
7. Устройство подключений и соединений	+	+	+	+	+	+	+
8. Устройство кротового дренажа	-	-	-	-	+	-	-
9. Внесение негашеной извести в пахотный горизонт	-	-	-	-	-	+	-
10. Разравнивание торфа по трассе закрытого собирателя	-	-	-	-	-	-	+
11. Разравнивание кавальеров от срезки растительного грунта (слой разравнивания – 0,1 м)	-	-	-	-	-	-	+
12. Посев семян редьки масличной по трассе закрытого собирателя	+	-	+	+	+	+	+
13. Полив посевов семян	+	-	+	+	+	+	+
Всего работ	6	4	6	6	7	7	8

Как и ожидалось, наименее затратным оказался базисный вариант Л–2 и его модификация вариант Л–1 с общей стоимостью строительства 1 км линии 3,46 и 6,46 тыс. руб. соответственно. Далее по возрастанию следуют варианты Л–4, Л–5 и Л–6 с общей стоимостью устройства 1 км линии 12,48, 12,49 и 12,52 тыс. руб. соответственно, разница в устройстве которых между собой не превышает 0,3 %. Затем идут варианты Л–3 и Л–7 (3\*) с общей стоимостью строительства 1 км линии 15,92 и 61,12 тыс. руб. соответственно.

Расчет стоимости по вариантам устройства дренажной линии с учетом основных затрат приведен в табл. 4.

Однако экономического расчета для вывода о целесообразности применения того или иного варианта устройства дренажа не достаточно вследствие отсутствия привязки экономических показателей к функциональной эффективности исследованных вариантов

Для этого было введено понятие технико-экономического показателя и принцип его расчета.

Технико-экономический показатель – это показатель эффективности системы, определяемый как отношение индекса функциональной эффективности системы к общей стоимости устройства рассматриваемой системы или её единицы (км, га, м.п. и др.) и определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{I_{об}}{C}, \quad (2)$$

где:  $\varepsilon$  – технико-экономический показатель;  
 $I_{об}$  – индекс относительного быстрогодействия;

$C$  – общая стоимость устройства рассматриваемой системы или ее единицы (км, га, м.п. и др.), руб.

В качестве индекса функциональной эффективности в нашем случае принимаем индекс относительного быстрогодействия варианта, а в качестве общей стоимости единицы системы – общую стоимость устройства 1 м.п. дренажной линии по варианту.

Для удобства расчет технико-экономического показателя приведен в табл. 5.

Таблица 4 – Стоимость устройства дренажной линии длиной 1 км

Вид затрат	Вариант дрены-собирателя						
	Л–1	Л–2	Л–3	Л–4	Л–5	Л–6	Л–7 (3*)
Общая стоимость устройства дрены-собирателя, руб.	6 458	3 464	15 918	12 478	12 493	12 515	61 120
в том числе:							
Прямые затраты, руб.	4 581	2 972	15 075	11 639	11 650	11 675	60 154
Затраты труда рабочих, чел-ч	239	33	99	99	99	99	99
Затраты труда машинистов, маш.-ч	43	33	24	23	24	23	38

Таблица 5 – Расчет технико-экономического показателя

Вариант дрены-собирателя	Общая стоимость устройства дренажной линии, руб.	Индекс относительного быстрогодействия варианта $I_{об}$	Общая стоимость устройства 1 м.п. дренажной линии, руб.	Технико-экономический показатель варианта $\varepsilon$
Л–1	6 458	2,27	6,46	0,351
Л–2	3 464	1,00	3,46	0,289
Л–3	15 918	11,33	15,92	0,712
Л–4	12 478	5,96	12,48	0,478
Л–5	12 493	8,75	12,49	0,701
Л–6	12 515	4,23	12,52	0,338
Л–7 (3*)	61 120	11,33	61,12	0,185



На основании расчета технико-экономического показателя был составлен ранжирован-

ный ряд по вариантам устройства дренажных линий (рис. 5).

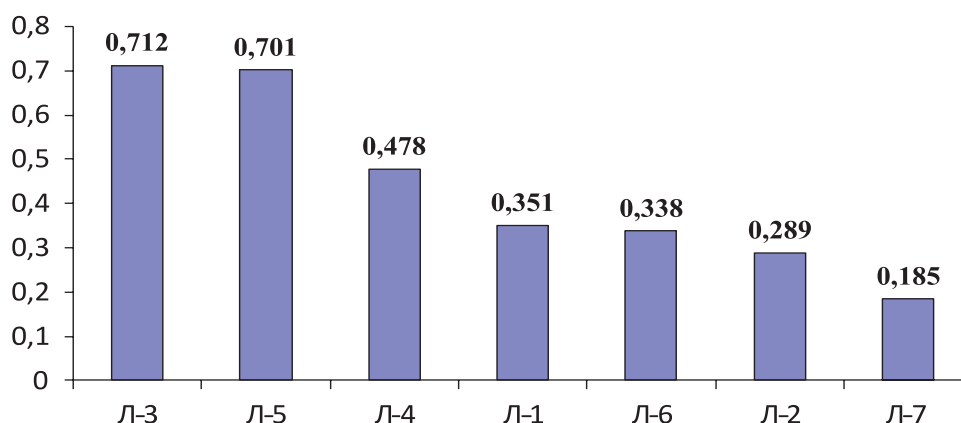


Рисунок 5 – Ранжированный ряд технико-экономических показателей вариантов устройства дренажных линий

Анализ рассчитанных технико-экономических показателей показал, что наиболее эффективным вариантом устройства является вариант Л – 3 со значением технико-экономического показателя 0,712. Однако необходимость повышения долговечности фильтрующей засыпки автоматически влечет значительное увеличение стоимости устройства дренажной линии. В результате этого технико-экономический показатель снизился до значения 0,185, т. е. более чем в 3,8 раза – вариант Л–7 (3\*). Сравнивая полученное значение с показателем по базисному варианту 0,289 (Л–2), видим, что базисный вариант устройства дренажных линий более чем в 1,5 раза эффективнее рассматриваемого.

На основании изложенного можно отметить неэффективность капитальных вложений в устройство варианта Л–3. С одной стороны,

снижается функциональная эффективность до варианта Л–4, вследствие чего материал фильтрующей засыпки перемешивается с окружающим грунтом и перемещается от первоначального расположения при выполнении сельхоз работ уже после 3 лет эксплуатации. С другой стороны, при решении этой проблемы увеличиваются капитальные вложения и снижается технико-экономический показатель.

Вариант Л–2 также не устраивает производство – именно для его замены и проводилась данная работа. Вариант Л–1 встречается в производственных системах и по отзывам занимает пограничную оценку (удовлетворительно / неудовлетворительно). Отсюда можно заключить, что приемлемые значения предлагаемого технико-экономического показателя должны быть более 0,351.

### Выводы

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что наиболее эффективным из исследованных вариантов устройства дренажной линии на тяжелых суглинистых слабопроницаемых почвогрунтах является вариант Л–5 – укладка пластмассового дренажа бестраншейным дренаукладчиком с засыпкой щели от ножа высокопроницаемым фильтрующим материалом (торфом) до подошвы пахотного горизонта (30 см до поверхности)

с введением кротовой дрены в высокопроницаемую фильтрующую засыпку и с преимущественным возделыванием в севооборотах растительности, имеющей стержневую корневую систему (редьки масличной, рапса, люцерны, клевера и др.) со значением технико-экономического показателя 0,701, общей стоимостью устройства 1 км линии 12,493 тыс. руб. и постоянной времени переходного процесса водоотвода 54,6 мин.



## Библиографический список

1. Лихацевич, А. П. Мелиорация и рациональное использование переувлажненных минеральных земель Нечерноземья России и Беларуси: монография / А. П. Лихацевич ; под общ. ред. А. П. Лихацевича, Н. Г. Ковалёва, Б. М. Князева. – Рязань : ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2009. – 499 с.
2. Шкутов, Э. Н. Физическое моделирование работы перспективных конструкций дренажа в слабопроницаемых суглинках / Э. Н. Шкутов [и др]. // Мелиорация. – 2018. – № 1 (83). – 80 с.
3. Мелиорация земель в Вологодской области : Водопроницаемость засыпки дренажных траншей : материалы конф., Вологда, 28 - 29 марта 1972 г. / под ред. Е.М. Сухановский . – Вологда, 1973. – 148 с.
4. Опыт осушения земель закрытым дренажем / А. Бальчаунас [и др.] ; под общ. ред. А. Бальчаунаса. – М. : Колос, 1975. – 320 с.
5. Технические указания по осушению тяжелых почв закрытым дренажем в Калининградской области. – Калининград, 1977. – 77 с.
6. Эггельсманн, Р. Руководство по дренажу / Р. Эггельсман ; пер. с нем. В. Н. Горинского ; под ред. и с предисл. Ф. Р. Зайдельмана. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1984. – 247 с.
7. Алексанкин, А. В. Мелиоративное освоение польдерных земель / А. В. Алексанкин. – М. : Россельхозиздат, 1987. – 159 с.
8. Мурашко, А. М. Пластмассовый дренаж / А. М. Мурашко. – Минск: Урожай, 1969. – С. 112–113.
9. Карловский, В. Ф. НОТ в строительстве гончарного дренажа / В. Ф. Карловский. – М. : Колос, 1975. – С 17–18.
10. Нормативы расхода ресурсов в натуральном выражении на строительные конструкции и работы. Сборник 1 «Земляные работы»: НРР 8.03.101-2017. – Введ. приказом Министерства архитектуры и строительства Респ. Беларусь № 238 от 31.10.2016. – 519 с.
11. Программный продукт RSTC.smeta версия 8.8. – Разраб. РУП «РНТЦ по ценообразованию в строительстве» (база текущих цен по состоянию на 1 октября 2019 г).

Поступила 02.12.2019