

1. Оценена эффективность демпфирования поверхностных волн в грунте при помощи бетонных барьеров с различной конфигурацией поперечного сечения при неизменном объеме  $V = 100 \text{ м}^3$ . Все рассмотренные варианты барьеров в разной степени снижают амплитуды колебаний поверхности грунта за барьерами.

2. Наиболее эффективным решением является схема с двойным барьером, первый из которых имеет вертикальный выступ со стороны источника вибраций (схема *i*). Она обеспечивает снижение вертикальных амплитуд колебаний в зоне виброизоляции в среднем на 84,6 %. Данный барьер имеет простую конструктивную схему и технологию устройства.

### Литература

1. Кузнецов, С. В. Горизонтальные сейсмические барьеры для защиты от сейсмических волн / С. В. Кузнецов, А. Э. Нафасов // Вестник МГСУ. – 2010. – Вып. 4. – С. 131–134.

2. Нафасов А. Э. Сейсмические барьеры, для защиты уникальных и исторических зданий и сооружений: Автореф. дис... к-та. техн. наук: 05.23.17 / А. Э. Нафасов. – М.: МГСУ, 2012. – 20 с.

3. Chadwick, P. Foundations of the theory of surface waves in anisotropic elastic materials / P. Chadwick, G. D. Smith // Adv. Appl. Mech. – 1977. – Vol. 17. – P. 303 – 376.

4. Повколас, К. Э. Оценка эффективности применения горизонтальных инерционных барьеров для снижения вибраций, распространяющихся в грунтовой среде / К. Э. Повколас // Наука и техника. – 2023. – Т. 22, № 4. – С. 286–293.

УДК 631.6

### Эффективные способы эксплуатации современных оросительных каналов

Абдразаков Ф. К., Рукавишников А. А.

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова  
Саратов, Россия

*Статья представляет собой исследование и обоснование применения эффективных технических средств и технологий для обслуживания оросительных каналов, учитывая особенности их эксплуатации и возможные методы ремонта. Обсуждаются проблемы использования бетонного полотна в условиях подвижного грунта и подтоплений, а также выдвигаются теоретические гипотезы о воздействии ударных нагрузок и исти-*

*рани на материал. Предлагается модернизированный вариант экскаваторного ковша с демпферной подушкой для минимизации повреждений при очистке каналов, а также обсуждаются перспективы использования гидромеханического способа с использованием воды под давлением. Дополнительно рассматриваются вопросы взаимодействия роликов с бетонным полотном и необходимость дальнейших исследований для уточнения предложенных методов. Подчеркивается значимость пилотных проектов для определения эффективности и практической применимости предложенных способов обслуживания каналов.*

Оросительная мелиорация является неотъемлемой частью и однозначно катализатором получения высоких и устойчивых урожаев по всей России. При этом качество проводимых мероприятий и технологии определяют лидеров по валовому сбору сельскохозяйственной продукции. Однако нельзя не отметить, что для проведения оросительных мероприятий, необходимо поддерживать транспортирующую и проводящую функцию каналов системы [3].

Применение того или иного материала всегда сопровождается рядом вопросов по их эксплуатации в процессе жизненного цикла как канала, так и материала [1; 2]. Современные облицовочные материалы, такие как бетонное полотно, геомембрана, а также подобные композитные материалы, без сомнения, обладают уникальными свойствами, позволяющие укладывать от 100 м<sup>2</sup> до 600 м<sup>2</sup> материала за один рабочий день, минимальное или полное отсутствие тяжелой техники, фильтрационные свойства и т. д. [9]. При этом полностью отсутствуют комплексные технологии обслуживания и ремонта таких материалов [6].

Данный вопрос является актуальным, так как вышеперечисленные материалы появились сравнительно недавно, и немногие проходили процедуру текущего и капитального ремонта. Следовательно, тема работы является актуальной и заслуживает внимания.

**Целью исследования** является обоснование и разработка усовершенствованных технических средств и эффективных технологий для эксплуатационных работ на оросительных каналах.

**Объектом исследования** являются оросительные каналы.

**Предмет исследования:** закономерности технологического процесса взаимодействия технических средств и облицованных оросительных каналов.

**Методика исследования.** Так как основа исследования базируется на обслуживании оросительных каналов, покрытых бетонным полотном, а именно очистка каналов от наносов, то основным будет считаться возмож-

ность материала выдержать вес трактора, бульдозера или иное транспортное средство.

При движении трактора или бульдозера в русле канала в зоне контакта дна канала (облицовки канала) возникают динамические вертикальные, продольные и поперечные касательные силы, значение которых зависит от типа транспортного средства, шины колеса, нагрузки и природно-климатических условий.

При неподвижности транспортного средства, на стоящее колесо действует только одна сила – вес трактора, приходящееся на это колесо. Под действием вертикальной силы колесо деформируется как на рис. 1, а.

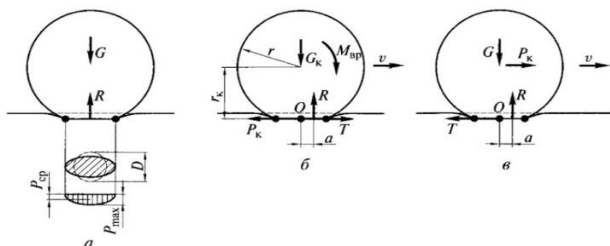


Рис. 1. Схема сил, действующих на поверхность дна канала:

*a* – стоящее колесо; *б* – ведущее колесо; в ведомое колесо; *D* – размер пятна контакта колеса с облицовочным покрытием;  $P_{cp}$ ,  $P_{max}$  – соответственно средний и максимальный прогиб облицовочного полотна;  $G$  – вес ТС;  $R$  – сила реакции;  $G_k$  – вес ТС, приходящийся на колесо;  $M_{вр}$  – вращающий момент;  $T$  – сила трения;  $g_k$  – расстояние от центра колеса до поверхности дорожного покрытия;  $r$  – радиус колеса;  $a$  – расстояние от мгновенного центра скоростей  $O$  до линии действия силы реакции  $R$ ;  $P_k$  – окружная сила;  $v$  – скорость движения ТС

Площадь следа колеса – меняется в пределах 250–1000 см<sup>2</sup>. Для одного и того же автомобиля значение  $F$ , м<sup>2</sup>, зависит от нагрузки на колесо:

$$F = \frac{G}{p}$$

Различают площадь отпечатка колеса по контуру в форме эллипса (рис. 1, а) и по выступам рисунка протектора. При определении среднего давления в расчет принимают площадь отпечатка по выступам протектора. При расчете дорожной одежды для вычисления  $p$  условно принимают площадь отпечатка в виде круга диаметром  $D$ , м, равновеликую площади эллипса [8]:

$$D = \frac{11,3\sqrt{G}}{0,1p}$$

Основные физико-механические параметры **бетонного полотна**:

- прочность на сжатие 25,6-30,4 МПа (261,04-309,99 кг/см<sup>2</sup>);
- прочность на изгиб 4,5-5,0 МПа (45,88-50,98 кг/см<sup>2</sup>).

Прочность бетонного полотна на изгиб обосновывается структурой материала, позволяющей ему при воздействии механических нагрузок возвращаться в исходное состояние (рис. 2), при этом монолитный бетон (лабораторный образец 100×100×400 мм по ГОСТ 10180-90) при осевом растяжении может выдерживать нагрузку до 52,4 кг/см<sup>2</sup> без деформации. Однако при появлении трещин бетон будет постепенно разрушаться.

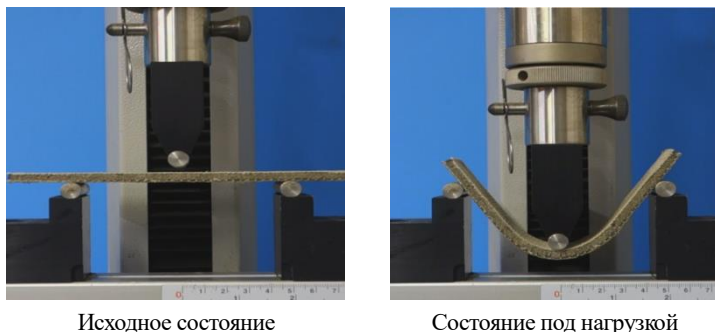


Рис. 2. Испытания на изгиб по ГОСТ 18124-2012

Для полноты данных необходимо добавить данные о разрывной нагрузке бетонного полотна. Для исследования места стыковки бетонного полотна проводился эксперимент на разрыв. Метод испытания заключается в растяжении образца ПКМ с постоянной скоростью нагружения или деформирования до момента разрыва. На рис. 3 представлены установка и испытываемые образцы, зажатые в тисках с обеих сторон.

По результатам проводимых исследований с разными вариантами креплений, были получены удовлетворяющие результаты, равные 2,05 МПа.

**Результаты исследования.** Принципиально отличие средств и технологий при обслуживании оросительных каналов заключается в том, что некоторые виды геосинтетиков не предусматривают очистку путем применения тяжёлой техники, к таким относится геомембрана и бентонитовые маты [4; 7]. В данном случае нами рассматривается вопрос очистки каналов путем непосредственного использования тяжёлой техники в русле канала. Традиционный вариант очистки оросительных каналов (рис. 4).

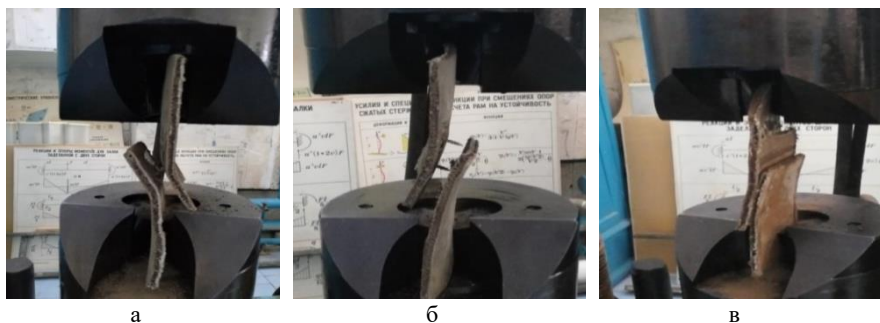


Рис. 3. Испытания на разрыв бетонного полотна

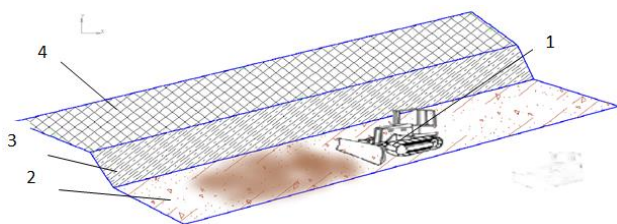


Рис. 4. Традиционный вариант очистки оросительных каналов от наносов:  
 1 – бульдозер; 2 – дно канала; 3 – откос; 4 – берма канала

Данный вариант невозможен по нескольким причинам [6]:

- большая масса (пример Т-330);
- невозможность передвижения из-за просадки грунта до 20 % от проектного сечения;
- высокий процент трения недопустим для данных геосинтетических материалов.

Как известно, при нормальных условиях эксплуатации откладываемые в течение года наносы могут составлять порядка 0,1–0,5 м, при этом площадь живого сечения ежегодно сокращается на 5–8 %. Отсюда следует, что эксплуатационные мероприятия следует выполнять ежегодно, вне зависимости от используемого материала. При этом важно отметить, что при использовании бетонных облицовочных плит ситуацию можно исправить с помощью тяжёлой техники.

Капитальный ремонт оросительных каналов проводится раз в 10–25 лет в зависимости от геоположения объекта и условий эксплуатации. При этом важной проблемой в будущем будет невозможность использования каналов, облицованных современными одеждами, если не будет комплексных техноло-

гий обслуживания. Полная утилизация и замена облицовки является иррациональным вариантом, так как несёт высокие затраты.

Оценивая геосинтетические материалы, нельзя не отметить, бетонное полотно. Данный материал сочетает в себе бетон и геомембрану, что позволяет внести определённые исключения в плане технологического обслуживания. Бетонное полотно работает на изгиб 3,4–4,5 МПа (34,7–45,8 см<sup>2</sup>), что позволяет выдерживать высокие нагрузки на материал. Плотность материала в зависимости от марки варьируется от 1500–2025 кг/м<sup>3</sup> [3; 5]. Данные показатели позволяют применять следующую технику (рис. 5) [8].

При этом использование данной техники возможно только при умеренном объёме наносов 0,1–0,3 м, это обосновывается тем, что трактора с максимально буксируемой массой до 300–800 кг не должны работать на пределе своих возможностей, следовательно, диагностика и очистка каналов, покрытых бетонным полотном, должна проводиться ежегодно в зависимости от объёмов загрязнения.



Рис. 5. Мини-трактор:  
а – Belarus 152; б – Русич Т-244

Характеристики данных моделей представлены в таблице.

При этом нельзя не учитывать стоимость данной техники:

– стоимость Belarus 152 – 600 тыс. руб;

– стоимость Русич Т-244 – 800 тыс. руб.

Таблица

Основные характеристики мини-тракторов

Характеристики		Русич Т-244
Масса		
Привод	Полный (4x4)	Полный (4x4)
Мощность, л.с.		
Дорожный просвет, мм		
Макс. буксируемая масса, кг		
Тяговый класс		

В данном примере нами был проведён анализ мини-тракторов как приемлемый вариант использования каждого из них. Русич Т-244 на порядок превосходит по всем характеристикам Belarus 152, при этом масса имеет важное значение, при выборе наиболее рационального варианта.

Рассмотрим максимальное давление на грунт каждого трактора:

- Belarus 152 – 14 МПа (142,76 кг/см<sup>2</sup>);
- Русич Т-244 – 21 МПа (214, 14 кг/см<sup>2</sup>).

Так как мы учитываем максимальное давление на грунт (облицовку) тракторов, то мы также будем учитывать максимальные показатели на сжатие бетонного полотна. Таким образом, мы получаем:

для Belarus 152

$$R_{\text{сжатие Бет.пол.}} / \text{Уд.давл.}_{\text{макс Тракт.}} = 30,4 / 14 = 2,17 \text{ МПа,}$$

где Уд. Давл. макс Тракт. – максимальное удельное давление трактора на грунт (облицовку);  $R_{\text{сжатие Бет. пол.}}$  – максимальные показатели бетонного полотна на сжатие.

для Русич Т-244

$$R_{\text{сжатие Бет.пол.}} / \text{Уд.давл.}_{\text{макс Тракт.}} = 30,4 / 14 = 1,44 \text{ МПа.}$$

Таким образом, мы получаем 2 и 1,5 коэффициент запаса, при применении тракторов Belarus 152 и Русич Т-244 соответственно.

Использование бетонного полотна должно сопровождаться тщательной оценкой грунтовой поверхности каналов и возможных подтоплений близлежащих территорий, так как при подвижности грунта или рыхлой поверхности применение бетонного полотна невозможно, тем более дальнейшее обслуживание путем использования тяжелой техники.

Рассматривая способы очистки оросительных каналов, нельзя не отметить возможность применения экскаваторов с различными видами ковшей. Компанией производителем были представлены следующие варианты очистки представленные на рис. 6.



Рис. 6. Возможные варианты очистки каналов

Выдвигаемые теоретические гипотезы применения данного способа очистки каналов от наносов:

- при данном способе очистки сокращается срок службы бетонного покрытия, путем воздействия на материал ударных нагрузок;
- истирание материала путем взаимодействия бетонного полотна и ковша;
- применение ковша с зубьями может нанести бетонному покрытию дополнительный ущерб и привести к деформации покрытия.

Нами были проведены теоретические исследования возможных ударных нагрузок на материал при использовании перечисленных способов и за основу взяли расчет вязкоупругой модели при ударе (рис. 7).

Были использованы следующие исходные данные:

- Масса подвижного элемента 225 кг;
  - Начальная скорость подвижного элемента 0,5 м/с;
  - Жесткость бетонного полотна 27000 Н/м;
  - Приведённая масса бетонного полотна м2 - 25 кг;
  - Коэффициент демпфирования бетонного полотна  $H \cdot c/m = 0,7$ .
- Максимальные перемещения конструкции:

$$X = ((m_1 + m_2)(W_{\text{общ}}) / ((b^2 / (m_1 + m_2)) + k))^{1/2}.$$

Нагрузки при максимальных перемещениях:

$$P = (W_{\text{общ}} - (((X^2)((b^2) / (m_1 + m_2)) + k) / (m_1 + m_2))^{1/2})b + kX.$$

Таким образом, при минимальных рассматриваемых показателях, мы получаем максимальную ударную нагрузку на материал равную 119 кг и 43 мм перемещение в точке удара, до начала операций по очистке канала.



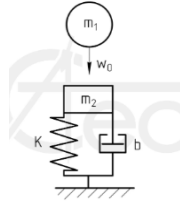


Рис. 7. Расчет вязкоупругой модели при ударе:

$m_1$  – масса подвижного элемента;  $m_2$  – приведённая масса конструкции;  
 $k$  – жесткость конструкции, Н/м;  $W_0$  – начальная скорость подвижного  
 элемента, м/с;  $b$  – коэффициент демпфирования

**Обсуждения и предложения.** Нами предлагается для проведения подобных операций использовать модернизированный вариант экскаваторного ковша с демпферной подушкой (рис. 8), тогда ударные и истирающие нагрузки будут сведены к минимуму, и соответственно срок службы материала будет увеличен.

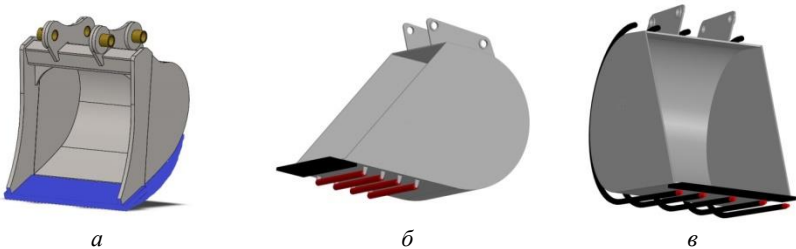


Рис. 8. Варианты модернизированного экскаваторного ковша:

*a* – ковш с демпферной подушкой; *б* – ковш с механическими роликами;  
*в* – ковш с трубками высокого давления

Каждый представленный способ представлен как пилотный проект, так как появляется много вопросов, например, как будут взаимодействовать ролики с бетонным полотном, необходимы расчеты коэффициентов качения, коэффициенты трения и скольжения.

Представленный гидромеханический способ также требует дополнительных исследований, а именно насколько подаваемая через трубки вода будет справляться с поставленной задачей по воздействию на наносы, как наилучший образом защитить трубки при проведении работ.

Перспективы дальнейших исследований заключаются в следующих пунктах:

1. Провести теоретические расчеты взаимодействия бетонного полотна и модернизированного ковша с демпферной подушкой и роликами;

2. Провести теоретические расчеты работы гидромеханического способа очистки канала от наносов путем использования воды под давлением в комбинации с вышеперечисленными вариантами.

**Заключение.** На основе проведенного исследования нами была обоснована необходимость разработки новых механизированных способов и технологий очистки оросительных каналов от наносов, покрытых современными облицовочными материалами. Предложенные теоретические положения использования малой механизированной техники при дальнейшей апробации может локально решить вопрос о проведении ежегодного текущего ремонта и обслуживания оросительных каналов, покрытых не только бетонным полотном, но и аналогичными композитами.

### Литература

1. Абдразаков Ф. К. Интенсификация технологий и совершенствование технических средств в мелиоративном производстве / Ф. К. Абдразаков // Саратов. – 2002. – 352 с.

2. Абдразаков Ф. К. Ресурсосберегающие технологии и машины для интенсификации мелиоративного производства / Ф. К. Абдразаков // Саратов. – 2019. – 164 с.

3. Абдразаков, Ф. К. Актуальные вопросы обслуживания оросительных каналов и рациональное управление водными ресурсами / Ф. К. Абдразаков, А. А. Рукавишников // Основы рационального природопользования: материалы IX Национальной конф. с международным участием, Саратов, 12–13 октября 2023 г. – Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, 2023. – С. 7–15.

4. Абдразаков, Ф. К. Интенсификация мелиоративного производства путем совершенствования технологий реконструкции и строительства оросительных каналов / Ф. К. Абдразаков, А. А. Рукавишников // Мелиорация и водное хозяйство. – 2019. – № 1. – С. 6–9.

5. Абдразаков, Ф. К. Методы расчета эксплуатационных мероприятий на современных оросительных каналах / Ф. К. Абдразаков, А. А. Рукавишников // Проблемы и перспективы развития АПК: технические и сельскохозяйственные науки: Материалы Региональной научно-технической конференции, посвященной 110-летию Вавиловского университета, Саратов, 13–17 февраля 2023 года. Том Выпуск 1. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью «Амирит», 2023. – С. 172–180.

6. Абдразаков, Ф. К. Покрытие оросительных каналов инновационным бетонным полотном и адаптивные способы их эксплуатации / Ф. К. Абдразаков, А. А. Рукавишников, Э. Э. Сафин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2023. – № 2. – С. 32–36.

7. Рукавишников, А.А. Технологические особенности покрытия оросительных каналов бетонным полотном / А. А. Рукавишников // Проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы VIII Национальной конференции с международным участием, Саратов, 15–16 ноября 2018 года / Под редакцией Ф. К. Абдразакова. – Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Вавилова, 2018. – С. 275–280.

8. Спецтехника: Трактора и техника: [Электронный ресурс]. – М., 2022. – Режим доступа <https://agro-tm.ru>. – Дата доступа: 21.10.2022.

9. Характеристика бетонного полотна [Электронный ресурс] // Бетонное полотно Concreate Canvas в России. М., 2012–2018. – Режим доступа: <http://ucsr.su>. – Дата доступа: 2.05.2022.

УДК 629.12

### **Обоснование проектных элементов и характеристик судна с учётом интервальных особенностей технических решений модели**

Кочнев Ю. А., Роннов Е. П.

Волжский государственный университет водного транспорта  
Нижний Новгород, Российская Федерация

*На основании выполненных исследований по разработке математической модели и алгоритма оптимизации судна внутреннего и смешанного (река-море) плавания, показано каким образом можно учесть наличие интервальных параметров технических решений и экономических внешних параметров модели. Приведён пример оптимизации коэффициента общей полноты с применением интервального критерия эффективности.*

Обоснование главных элементов на стадии исследовательского проектирования оказывает свое влияние на характеристики построенного судна. Такое обоснование ведётся с применением математических моделей и формулируется в виде оптимизационной задачи

$$k = f(X, Y_1, Y_2, Z) \rightarrow \text{extr}$$

где  $k$  – некоторый критерий эффективности судна;  $f$  – символ функции цели;  $X$  – вектор исходных данных;  $Y_1$  – вектор искомых элементов и характеристик судна;  $Y_2$  – вектор параметров технических решений математической модели оптимизации, принимающих равновероятное значение на некотором ( $Y_{2\min}, Y_{2\max}$ );  $Z$  – вектор внешних параметров модели;  $\theta_j$  –