

Используя выражение (22), определяют  $r_0$ :

$$r_0^2 = \frac{kq_{v2}r_2^2 + q_{v1}r_1^2}{q_{v1} + kq_{v2}}. \quad (23)$$

Таким образом, полученное выражение показывает зависимость радиуса изотермической поверхности внутри тонкостенной трубы при ее индукционном нагреве и нелинейном распределении внутренних источников тепла. Для нахождения  $r_0$  необходимо решить систему уравнений (1), (2) и (23); коэффициент неравномерности тепловых потоков  $k$  (23) можно определить экспериментально, путем замера величин тепловых потоков с на-

ружной и внутренней поверхностей трубы при ее индукционном нагреве.

#### Список литературы

1. Немков В.С., Демидович В.Б. Теория и расчет устройств индукционного нагрева. — Л.: Энергоатомиздат, 1988. — 280 с.
2. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. — Изд. 2-е. — М.: Энергия, 1969. — 440 с.
3. Макарова Г.В., Соловьёв С.В. Теоретическое обоснование тепловой мощности в индукционном нагревателе // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования: материалы Международной научно-практической конференции. — СПб.: СПбГАУ, 2012. — С. 314–317.

УДК 626/628:626.22–628.13

*А.В. Кловский*

Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАБОТЫ КОСОНАПРАВЛЕННЫХ ДОННЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ПОРОГОВ ПЕРЕМЕННОЙ ВЫСОТЫ

Задачи гарантированного обеспечения водными ресурсами населения и различных отраслей экономики относятся к числу приоритетных направлений Водной стратегии Российской Федерации до 2020 года [1]. В рамках настоящего нормативного документа одним из основных критериев оценки качества подаваемой потребителям воды является минимально возможное содержание в ней различных загрязнителей, в том числе завлеченных в магистральные каналы водохозяйственных систем взвешенных и донных наносов. Обеспечение качественного водозабора и водоподачи может быть достигнуто за счет внедрения в компоновочные схемы водозаборных гидроузлов различных противонаносных устройств и элементов. В этой связи проведение детальных лабораторных исследований гидравлических условий работы таких простых и эффективных противонаносных элементов, как косонаправленные донные циркуляционные пороги с целью выявления фактического характера их взаимодействия с русловым потоком и последующей разработки уточненной методики по их проектированию и эксплуатации является весьма актуальным.

Проведенный автором анализ компоновочных схем бесплотинных водозаборов, зарекомендовавших себя надежной работой в тяжелых наносных и гидрологических условиях, показал, что одним из наиболее эффективных и вместе с тем простых в конструктивном и эксплуатационном отношении противонаносных элементов в их составе является донный циркуляционный порог конструкции

Г.В. Соболина и И.К. Рудакова [2]. Такой порог, расположенный под некоторым углом  $\beta$  к берегу, эффективно перераспределяя удельные расходы по ширине подводящего русла, формирует в потоке искусственную поперечную циркуляцию (ИПЦ), изменяющую характер движения наносов в зоне влияния защищаемого водозаборного сооружения в нужном для практики направлении. За критерий оценки эффективности возбуждения ИПЦ исследователями была принята относительная величина смещения динамической оси потока  $\lambda = f/B$ , где  $f$  — разница в положении центров масс эпюр удельных расходов в створе порога и на участке, находящемся вне зоны влияния порога;  $B$  — ширина подводящего русла.

Помимо искусственной поперечной циркуляции активную противонаносную функцию выполняют также защитные винтовые течения вдоль верховой и низовой граней порога, формируемые последним как обтекаемой потоком затопленной преградой [2–4]. Интенсивность всех трех защитных течений зависела в общем случае от угла расположения порога к линии берега  $\beta$ , относительной высоты донного порога  $P_{\text{отн}} = P/H_0$  ( $P$  — высота донного порога в его средней части,  $H_0$  — глубина воды бытового русла), величины стеснения потока  $n = l_{\text{п}} \sin \beta / B$  ( $l_{\text{п}}$  — геометрическая длина порога), средней скорости потока  $v_0$ , уклона верхней грани порога  $i_{\text{п}}$ .

Рекомендации по проектированию донных циркуляционных порогов носят весьма противоре-

чивый характер. Принципиальными здесь являются вопросы целесообразности устройства порогов переменной высоты, а также их рациональной плановой ориентации относительно береговой линии [2].

Принимая во внимание выявленные противоречия в имеющихся рекомендациях по выбору оптимальных планово-геометрических характеристик донных циркуляционных порогов, автор статьи принял решение о проведении серии лабораторных исследований, целью которых было выявление действительного характера взаимодействия донного циркуляционного порога с русловым потоком в зависимости от планово-геометрических характеристик преграды и экспериментального гидравлического режима ее работы.

Для достижения поставленной цели необходимо было всесторонне изучить условия формирования порогом всех трех защитных течений: искусственной поперечной циркуляции (ИПЦ), а также защитных винтовых течений вдоль верховой и низовой граней порога, решив при этом следующие задачи:

*для фронтальных донных циркуляционных порогов* необходимо:

1) определить характер влияния постоянной и переменной высоты на интенсивность возбуждаемой порогами ИПЦ;

2) оценить влияние постоянной и переменной высоты донных преград на скоростной режим защитных винтовых течений вдоль верховой и низовой граней порога;

*для косонаправленных донных циркуляционных порогов* необходимо:

1) выявить характер влияния косоугольного расположения порога (по сравнению с фронтальным) на эффективность возбуждения поперечной циркуляции и интенсивность защитных винтовых течений вдоль верховой и низовой граней порога для рассматриваемого диапазона граничных условий работы последнего;

2) определить характер влияния относительной высоты порога  $P_{отн}$  на интенсивность всех трех защитных течений для каждого из рассматриваемых значений  $n$ ;

3) оценить характер влияния относительной средней скорости потока  $v_{отн} = v_o / v_{o,max}$  на интенсивность всех трех защитных течений для каждого из рассматриваемых значений  $n$ , где  $v_{o,max}$  — максимальное значение средней скорости потока в условиях эксперимента;

4) выявить характер влияния величины стеснения потока  $n$  на интенсивность всех трех защитных течений в широком диапазоне значений  $P_{отн}$  и  $v_{отн}$ .

Анализ результатов исследований гидравлических условий работы фронтальных донных циркуляционных порогов ( $\beta = 90^\circ$ ), выполненных автором статьи, показал, что пороги переменной

высоты возбуждают в потоке более устойчивую поперечную циркуляцию в сравнении с порогами постоянной высоты во всем диапазоне граничных условий [3]. Придание верхней грани порога переменной высоты не снижает интенсивности защитных винтовых течений вдоль верховой и низовой граней порога [4]. Это положение справедливо как для фронтальных донных циркуляционных порогов, так и для косонаправленных донных циркуляционных порогов [2]. Поэтому дальнейшие исследования были направлены на выявление степени влияния угла  $\beta$  для порогов переменной высоты на характер изучаемых явлений.

Результаты исследований гидравлических условий работы косонаправленных ( $\beta = 75^\circ$ ) донных циркуляционных порогов показали, что уменьшение угла установки порога  $\beta$  от  $90^\circ$  до  $75^\circ$  приводит к снижению интенсивности формируемой в потоке ИПЦ. Защитные функции винтовых течений вдоль верховой грани порога в данном случае усиливаются, что сопровождается увеличением скорости винтового течения в центральной части преграды, а также смещением точки раздела течений к началу порога. Интенсивность защитных винтовых течений за низовой гранью порога несколько снижаются ввиду смещения точки раздела течений к концевой части донного порога.

В данной статье приведены результаты исследований косонаправленных донных циркуляционных порогов переменной высоты, расположенных под углом  $\beta = 60^\circ$  к береговой линии.

Запроектированная и построенная автором для проведения лабораторных исследований экспериментальная установка представляет собой гидравлический лоток прямоугольного сечения шириной 1 м и длиной рабочей части 9 м (рис. 1). Учитывая сложность изучаемых явлений, оценка эффективности работы порогов проводилась «в чистом виде» — в условиях недеформированного отвода потока.

Ввиду отмеченного предыдущими исследователями диапазона эффективности работы донных циркуляционных порогов  $P/H_o = (0,25...0,5)$  и возможностей лабораторной установки, автор исследовал 5 режимов работы каждого типа порога:

1)  $P = P_{cp} = 0,5H_o$ ,  $H_o = 12$  см,  $v_o = 25$  см/с =  $0,833v_{o,max}$ ,  $Q = 30$  л/с;

2)  $P = P_{cp} = 0,4H_o$ ,  $H_o = 15$  см,  $v_o = 20$  см/с =  $0,667v_{o,max}$ ,  $Q = 30$  л/с;

3)  $P = P_{cp} = 0,4H_o$ ,  $H_o = 15$  см,  $v_o = 25$  см/с =  $0,833v_{o,max}$ ,  $Q = 37,5$  л/с;

4)  $P = P_{cp} = 0,4H_o$ ,  $H_o = 15$  см,  $v_o = 30$  см/с =  $v_{o,max}$ ,  $Q = 45$  л/с;

5)  $P = P_{cp} = 0,3H_o$ ,  $H_o = 20$  см,  $v_o = 25$  см/с =  $0,833v_{o,max}$ ,  $Q = 50$  л/с;

Величина стеснения потока  $n$  в условиях проведения эксперимента принимала значения 0,2; 0,35; 0,5; 0,65; 0,8. В зависимости от  $n$  менялся

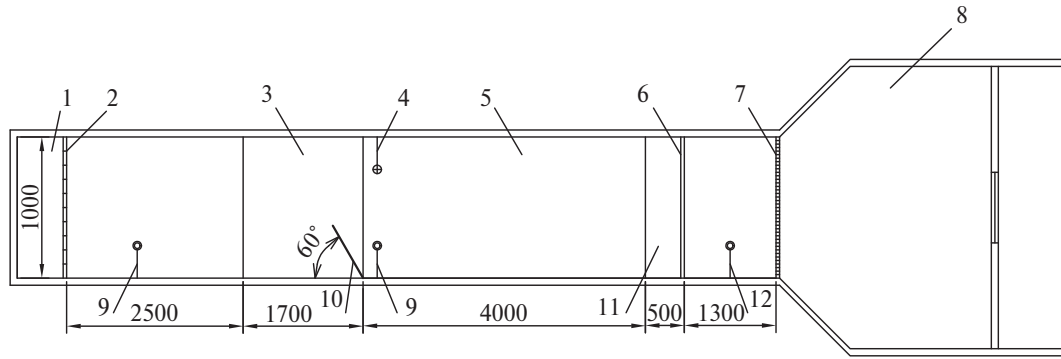


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 — сбросной колодец; 2 — жалюзийный затвор; 3 — область установки порогов; 4 — микровертушка; 5 — лоток; 6 — мерный водослив; 7 — успокоительная решетка; 8 — водоприемный бак; 9 — подвижные шпигенмаштабы; 10 — косонаправленный донный циркуляционный порог; 11 — успокоительная конструкция; 12 — шпигенмаштаб

и уклон верховой грани порога  $i_{п}$ , находившийся в пределах от 0,0216 до 0,0866.

Методика проведения экспериментальных исследований по выявлению условий формирования в потоке донными циркуляционными порогами всех трех защитных течений подробно изложена в работах [3, 4]. Полученные графики и зависимости, характеризующие интенсивность формируе-

мой в потоке ИПЦ порогами рассматриваемой конструкции, приведены на рис. 2.

На основании анализа полученных экспериментальных данных автор дал следующую оценку работы косонаправленных донных циркуляционных порогов ( $\beta = 60^\circ$ ):

1) дальнейшее уменьшение угла установки порога  $\beta$  к береговой линии приводит к заметному

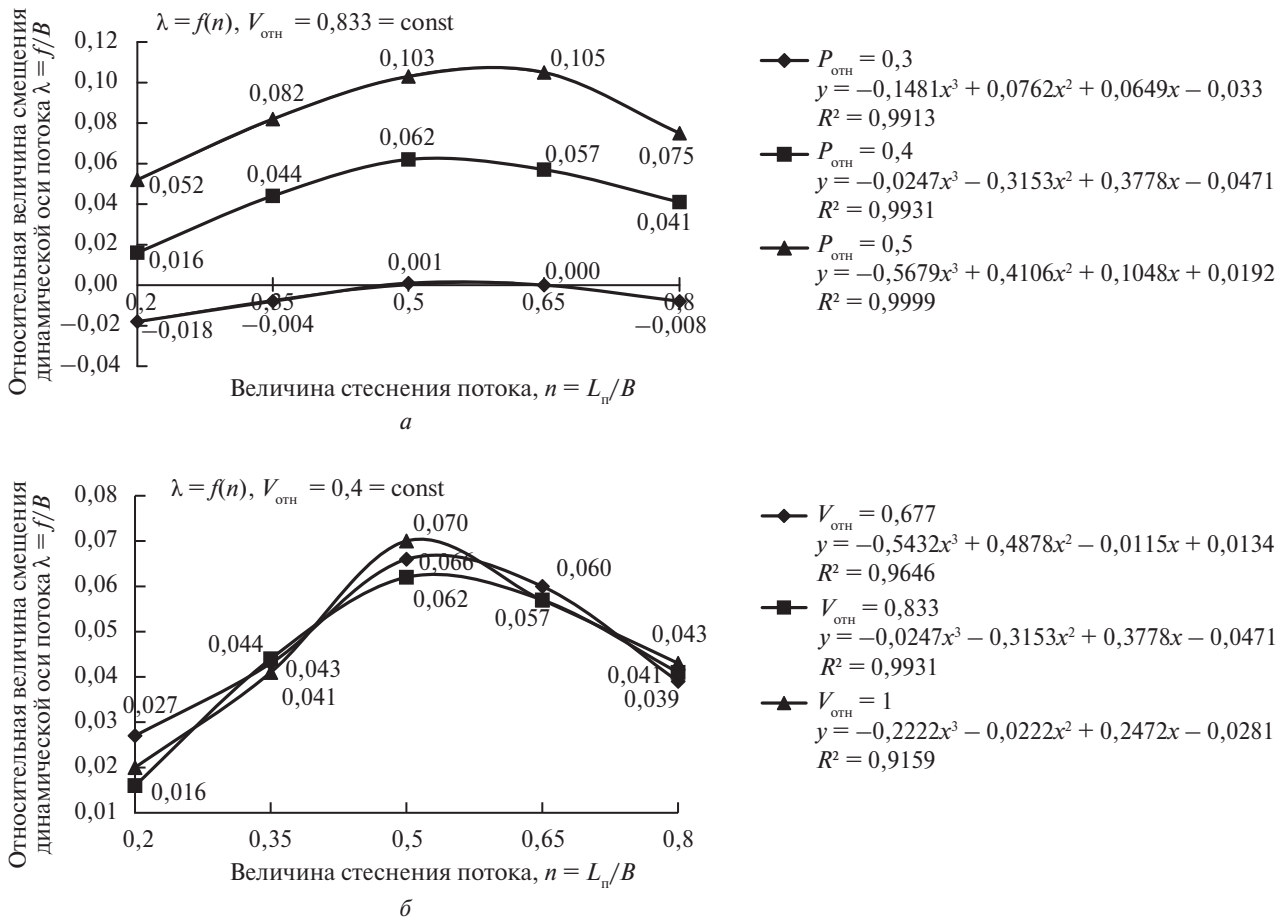


Рис. 2. Косонаправленные донные циркуляционные пороги переменной высоты ( $\beta = 60^\circ$ ):

а — функциональные зависимости  $\lambda = f(n)$  для рассматриваемых значений  $P_{отн}$  при  $v_{отн} = 0,833 = \text{const}$ ;  
 б — функциональные зависимости  $\lambda = f(n)$  для рассматриваемых значений  $v_{отн}$  при  $P_{отн} = 0,4 = \text{const}$

снижению интенсивности, формируемой в потоке ИПЦ. Если учесть тот факт, что искусственная поперечная циркуляция рассматривалась предыдущими исследователями как основное защитное течение, то становится очевидным необходимость проверки рекомендуемых Г.В. Соболиным и В.С. Бондаренко углов установки порогов  $\beta$ , что еще раз подтверждает актуальность проводимых нами исследований;

2) с уменьшением угла  $\beta$  от 75 до 60° направление циркуляционных течений меняется на противоположное (в сторону перекрытой порогом части русла) при  $P_{отн} = 0,3$  для всех рассматриваемых значений  $n$ , что свидетельствует об ограниченности применения порогов рассматриваемой конструкции при высоких горизонтах воды в реке;

3) интенсивность ИПЦ, формируемой косонаправленными ( $\beta = 60^\circ$ ) донными циркуляционными порогами, практически не зависит от средней скорости основного потока.

Анализ результатов исследований кинематической структуры потока в зоне косонаправлен-

ных ( $\beta = 60^\circ$ ) донных преград показал, что интенсивность защитных винтовых течений вдоль верховой и низовой грани порогов рассматриваемой конструкции при постоянной величине  $n$  практически не зависела от гидравлического режима работы преграды. Данное положение является справедливым также для углов установки порога  $\beta 90$  и  $75^\circ$ . За критерий оценки эффективности работы порога было принято соотношение продольных составляющих скоростей защитных винтовых течений вдоль его верховой и низовой грани и средней скорости основного потока  $v_{инд,x}/v_0$  для данного экспериментального режима. Отрицательные значения величины  $v_{инд,x}/v_0$  свидетельствуют о перемещении масс жидкости в направлении борта лотка, положительные — в сторону не перекрытой порогом части лотка [4].

На рис. 3 приведены графические зависимости вида  $v_{инд,x}/v_0 = f(x)$ , построенные по осредненным значениям продольных составляющих скоростей винтовых течений для каждой величины  $n$ .

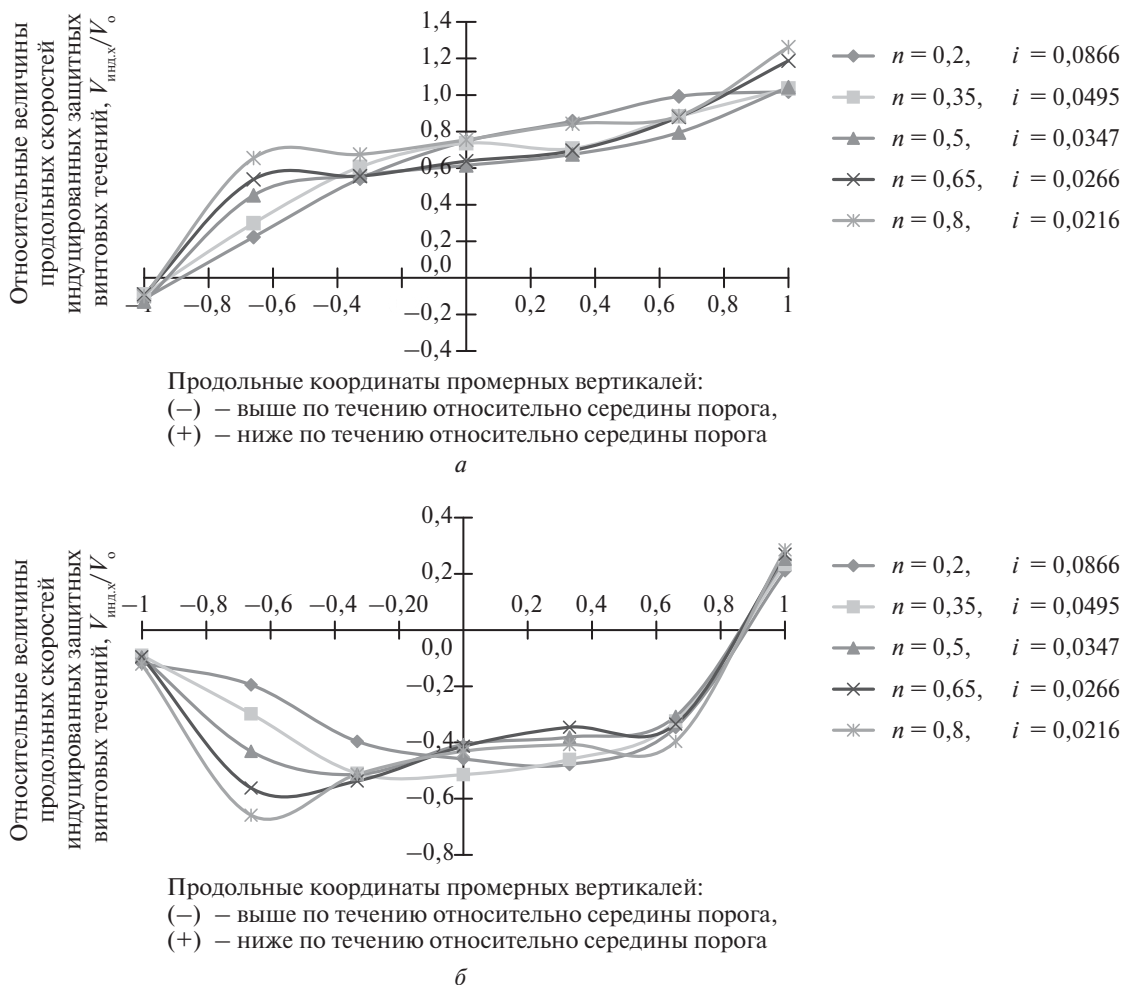


Рис. 3. Скоростной режим защитных винтовых течений, формируемых косонаправленными донными циркуляционными порогами переменной высоты ( $\beta = 60^\circ$ ):  
 а — течения вдоль верховой грани порога; б — течения вдоль низовой грани порога

На основании анализа полученных экспериментальных данных автор дал следующую оценку работы косо направленных ( $\beta = 60^\circ$ ) донных циркуляционных порогов:

1) с уменьшением угла установки порога  $\beta$  от  $75$  до  $60^\circ$  растет интенсивность защитных винтовых течений вдоль верховой грани порога в его центральной части. Точка раздела течений находится в начальной части преграды;

2) защитные функции винтовых течений вдоль низовой грани порога при рассматриваемом расположении преграды резко снижаются: для угла  $\beta = 60^\circ$  точка раздела течений всегда находится в концевой части порога, что свидетельствует о возможности завлечения в отвод всей массы взвешенных и донных наносов, преодолевших преграду.

УДК 631.17: 631.4

*А.Ю. Исаев, канд. техн. наук*

Азербайджанский государственный аграрный университет

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДВИЖИТЕЛЕЙ МАШИН НА ПОЧВУ

Рациональное использование, сохранение и воспроизводство плодородия сельскохозяйственных угодий являются основными условиями стабильного развития аграрного сектора. Проблема сохранения почвенного плодородия все еще является предметом дискуссии о рациональных технологиях ее обработки. Создание комбинированных агрегатов нельзя считать последним шагом использования всего научного потенциала с позиции искоренения вредных воздействий рабочих органов и движителей мобильных энергетических средств на почву. Для оценки некоторых предпосылок, служащих идеям технологического и технического совершенствования в данной области, требуется некоторый детальный анализ задач уплотнения почвы при выполнении механизированных работ. Для исследования вопроса воздействия движителей машин на почву следует рассмотреть задачу закономерности ее деформирования.

Известно, что почва, являясь деформируемой средой, обладает реологическими свойствами. Для получения некоторых видов реологических уравнений почв надо найти аналитические зависимости между напряжениями  $\alpha$  и относительными деформациями сжатия  $\epsilon$ , возникающими в почвах при длительных статических нагрузках, т. е. зависимости  $\alpha = \alpha(\epsilon)$  без учета времени  $t$ , а также связи  $\alpha - \epsilon$  при  $t = \text{const}$ . Необходимость в выявлении таких зависимостей обусловлена тем, что уравнения  $\alpha = \alpha(\epsilon, t)$  могут быть в ряде случа-

## Список литературы

1. Об утверждении Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года: распоряжение Правительства РФ от 27.08. 2009 № 1235-р: (ред. от 17.04.2012) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902173350>
2. Румянцев И.С., Кловский А.В. Научный обзор изученности вопросов проектирования и безопасной эксплуатации бесплотинных водозаборных гидроузлов // Международный технико-экономический журнал. — 2014. — № 2. — С. 101–106.
3. Кловский А.В. Результаты исследований гидравлических условий работы фронтальных донных циркуляционных порогов // Международный научный журнал. — 2014. — № 3. — С. 77–83.
4. Румянцев И.С., Кловский А.В. Результаты исследований скоростного режима защитных винтовых течений в створе фронтальных донных порогов // Приволжский научный журнал. — 2014. — № 2. — С. 96–100.

ев получены, если известны  $\alpha = \alpha(\epsilon)$  и некоторые функции времени.

При вдавливании штампов и воздействии движителей на почву возникают деформации сжатия и сдвига. При деформации рыхлых почв под действием вертикальной нагрузки преобладают деформации сжатия. При деформации же плотных почв при действии вертикальной нагрузки наряду с уплотнением возникают и значительные деформации сдвига. Кривые зависимости этих величин, построенных на основе данных эксперимента, представляют собой функцию гиперболического тангенса  $\text{th}$  и выражается следующим образом:

$$\sigma = \sigma_0 \text{th} \frac{k}{\sigma_0} h, \quad (1)$$

где  $\sigma_0$  — предел несущей способности почвы;  $k$  — коэффициент ее объемного смятия.

Однако нельзя исключать из рассмотрения деформацию рыхлых почв. Экспериментальные зависимости  $\alpha \sim h$  для таких случаев получены по результатам сжатия образцов почвы и по ее деформации катящимся колесом в полевых условиях [1, 2]. Общая зависимость между сжимающими напряжениями и осадкой грунта графически изображена на рисунке. При построении принято, что  $\epsilon$  имеет как положительные (сжимающая нагрузка), так и отрицательные (растягивающая нагрузка) значения. Кривая имеет точку перегиба  $\Phi(\epsilon_a, \alpha_a)$ , которая представляет центр симметрии. При  $\epsilon < \epsilon_a$  кривая