

## Обоснование преимуществ модернизации узла водоочистки для капельного орошения и инвестиционной привлекательности

*Н.А. Антонова, н.с., Ю.Е. Домашенко, к.т.н., С.М. Васильев, д.т.н., ФГБНУ РосНИИГПМ*

Согласно данным ФАО, из 311 млн га орошаемых земель только 84% из них действительно орошается, что составляет 16% всех возделываемых земель и даёт 44% всей продукции растениеводства. Система орошения важна для роста и стабилизации доходов и обеспечивает устойчивое развитие мелких производителей сельскохозяйственной продукции [1].

Обязательным элементом перспективных на сегодняшний день капельных систем орошения является узел водоочистки. Снижение концентрации взвешенных веществ требуется для поверхностных вод и реализуется на песчано-гравийных фильтрах, использование которых в привычном для нас конструктивном оформлении началось ещё в конце XIX в. [2].

В рамках модернизации очистного оборудования систем капельного полива предлагается заменить песчано-гравийные фильтры на механические, использующие в качестве фильтрующего материала фильтрующие блоки, изготовленные на основе горелых пород терриконов. Модернизация узла водоочистки позволит повысить эффективность выполняемых технологических операций и будет способствовать улучшению экологической ситуации в Ростовской области за счёт утилизации отходов угледобывающей промышленности.

**Цель** исследования – обоснование преимуществ модернизации узла водоочистки для капельного орошения при целевом подходе с использованием интегрального метода квалиметрии и инвестиционной привлекательности.

**Материал и методы исследования.** В ряде исследований узел водоочистки для систем капельного орошения рассматривается как самостоятельная система, результат функционирования которой необходимо определить не только по одному целевому показателю – эффективности очистки, но и с учётом показательных факторов разной направленности. Такая оценка многокритериальных систем осуществляется с помощью аналитического, статистического, экспертного и комбинированного методов [3, 4].

На практике используют комплексный или комбинированный метод оценки с применением доступных средств статистического, аналитического и экспертного методов. Приведение функционирования системы к единому показателю, учитывающему иерархичность различных классификационных групп свойств в форме весовых коэффициентов достижения цели, – комплексному или интегральному осуществляется в рамках интегрального метода. Оценка работы узла очистки природной воды для систем капельного орошения осуществлялась интегральным методом в рамках комплексного подхода с максимальным использованием средств аналитического аппарата. При оценке любой системы необходимо стремиться к достижению целевой функции [4]:

$$\sum_{i=1}^n \frac{F}{C} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $F$  – полезный результат, достигаемый при реализации исследуемого варианта, характеризуется комплексным показателем качества функционирования узла водоочистки;  
 $C$  – приведённые затраты на реализацию оцениваемого варианта;

$i$  – порядковый номер цели последнего порядка;

$n$  – количество целей последнего порядка.

Полезный результат по отдельно взятой цели зависит от интегрального индекса качества функционирования узла водоочистки, представляющего собой отношение суммарного полезного эффекта от продукции к суммарным затратам на его создание и эксплуатацию, рассчитываемого по формуле [4]:

$$I_i = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot Q_i, \quad (2)$$

где  $\alpha_i$  – коэффициент весомости показателя при достижении  $i$ -й цели второго порядка;

$Q_i$  – коэффициент весомости при достижении  $i$ -й цели третьего порядка.

Комплексный показатель качества функционирования системы определялся по формуле [4]:

$$K = \sum_{j=1}^m \beta_j \cdot I_j, \quad (3)$$

где  $\beta_j$  – весомость  $j$ -й цели второго порядка.

Оценка инвестиционной привлекательности и целесообразности реализации предлагаемого проектного решения узла водоочистки оценивалась с позиции получения приемлемой величины чистого дисконтированного дохода. Определение будущих чистых доходов, приведённых к значению настоящего периода, может быть получено дисконтированием, учитывающим норму дисконта. Тогда чистый дисконтированный доход можно рассчитать по формуле [5]:

$$\sum_{m=1}^n ЧДД = \sum_{m=1}^n \frac{(P_m - Z_m^*)}{(1 + E_{вн})^t} - \sum_{m=1}^n \frac{K_m}{(1 + E_{вн})^t}, \quad (4)$$

где  $P_m$  – прибыль от реализации предлагаемого узла водоочистки на шаге  $m$ , тыс. руб.;

$Z_m^*$  – затраты на шаге  $m$  расчёта без инвестиционных издержек, тыс. руб.;

$E_{вн}$  – норма внутренней доходности проекта;

$K$  – величина инвестиционных издержек, тыс. руб.;

$t$  – период приведения.

**Результаты исследования.** Для реализации капельного орошения разработана схема очистки природной воды, включающая полимербетонный фильтр (ПБФ) с фильтрующими элементами [6]. Альтернативой природному сырью в качестве фильтрующего материала выступает горелый отход угледобывающей промышленности как основной компонент нового фильтрующего элемента.

Очистку природной воды для систем капельного орошения предлагается осуществлять двухстадийно. Первый этап предназначен для удаления грубодисперсных примесей, в том числе органических включений водорослей и другой водной растительности, реализуется на напорных и безнапорных гидроциклонах. Основной стадией технологического процесса очистки выступает фильтрация

при использовании фильтрующих элементов [6], изготовленных с использованием горелых отходов угледобывающей промышленности. По завершении процессов окисления углеродсодержащих соединений в естественных условиях отходы угледобычи являются инертным материалом при отсутствии химически агрессивной среды и могут быть использованы для изготовления нового фильтрующего материала.

Поток природной воды после гидроциклона под давлением поступает в напорный фильтр, заполненный фильтрующими элементами, изготовленными из горелых отходов угледобывающей промышленности. Задержание взвешенных веществ происходит в поровых каналах вертикально расположенного фильтрующего материала, осветлённая природная вода направляется в оросительную систему для целевого использования. По окончании гидроцикла, длительность которого зависит от качества исходной природной воды, необходимо запускать процесс обратной промывки, гидравлическое сопротивление фильтра при этом возвращается к первоначальным значениям.

Эффективность предлагаемого способа подготовки природной воды для капельного орошения кормовой кукурузы в сравнении с существующими капельными системами, при использовании в схемах водоподготовки песчано-гравийных фильтров, доказана исследованиями, проведёнными в ООО «Рассвет» Куйбышевского района Ростовской области. В существующем варианте используется напорный фильтр с расходом 50 м<sup>3</sup>/ч DROP серии ХЗ «D:31» песчано-гравийный, с фильтрующим материалом из кварцевого песка и гравия, пригодный для целей водоподготовки.

Реализация предложенного способа очистки природной воды для дальнейшего использования в системах капельного орошения требует вложения капитальных и эксплуатационных затрат, необходимых на производство и сбор фильтра и его обслуживание, включая стоимость энергетических ресурсов.

Оценка функционирования узла водоочистки с предлагаемыми изменениями производилась на основании относительных и комплексных показателей по каждой отдельной цели. Значения анализируемых показателей для предполагаемого варианта и базового варианта представлены на рисунке 1.

Полученная диаграмма наглядно показывает соотношение абсолютных величин анализируемых параметров вариантов, выраженных в условных единицах. Анализ диаграммы показывает, что не для всех оцениваемых показателей снижение значения является выгодным. Так, например, снижение производительности при неизменной площади фильтра в плане является негативным фактором. Анализируемые параметры рассматриваемых узлов водоочистки разделены на 4 категории: техниче-

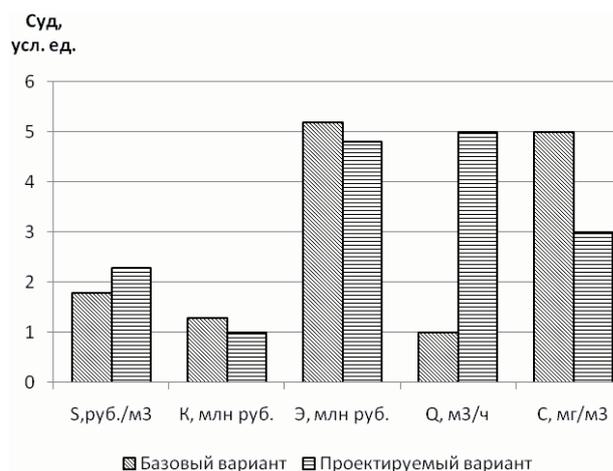


Рис. 1 – Значения показателей качества анализируемых вариантов:  
 S – себестоимость очистки; К – капитальные затраты; Q – производительность при равной площади сооружений в плане; Э – эксплуатационные затраты; С – качество очистки

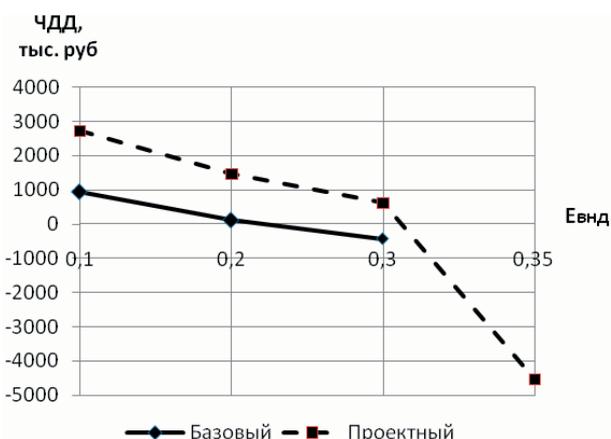


Рис. 2 – Определение расчетного значения ВНД (в ценах 2016 г.)

Относительные показатели функционирования предложенного варианта узла

Цели	Показатель	Коэффициент весомости		Показатель		
				относительный	интегральный	комплексный
Технические	качество очистки	0,5	0,5	1,67	0,83	0,83
	потери воды	0,1		1,00	0,10	
	производительность при равной площади сооружений в плане	0,1		5,00	0,50	
	себестоимость очистки	0,3		0,78	0,23	
	итого				5,23	
Экологические	экономический эффект от утилизации отходов	0,3	0,2	250	75,00	2415,22
	предотвращенный ущерб	0,4		2,80	1,12	
	затраты на рекультивацию	0,3		40000	12000,00	
	итого				12076,12	
Социальные	урожайность	0,25	0,1	1,00	0,25	0,09
	количество часов на обслуживание	0,25		1,00	0,25	
	потребление электроэнергии	0,5		0,83	0,42	
	итого				0,92	
Экономические	себестоимость продукции	0,34	0,2	1,08	0,37	0,23
	капитальные затраты	0,33		1,30	0,43	
	эксплуатационные затраты	0,33		1,08	0,36	
	итого				1,19	

ские, экологические, социальные и экономические. Каждое из направлений отражает соответствующую цель функционирования узла водоочистки и дробится на более мелкие локально решаемые задачи, распределение которых представлено в таблице.

Максимальное значение относительного показателя наблюдается по экологическим критериям – 40000 и 250 для затрат на рекультивацию и ущерба от утилизации отходов соответственно, а также в рамках технических, по параметру «производительность при равной площади сооружений в плане» – 5,0, что подтверждает возможность решения поставленных задач заменой фильтрующего материала в обозначенных направлениях.

Рост интегральных показателей в рамках целей функционирования узла водоочистки происходит

пропорционально коэффициенту весомости целей, за исключением экологических критериев, которые показывают высокие результаты за счёт отсутствия затрат на рекультивацию и ущерба от утилизации отходов угледобывающей промышленности – основы фильтрующего элемента.

Полученные зависимости размера чистого дисконтированного дохода от внутренней нормы доходности для базового и проектного вариантов представлены на рисунке 2.

Согласно полученным данным, фактическая норма доходности, рекомендуемая для оценки проекта узла водоочистки систем капельного орошения, составляет 31%, что в два раза превышает минимальную норму дисконта для всех объектов строительства (рекомендуемая для рассмотрения

при принятии решения инвесторами составляет 0,15 [10]).

Определение инвестиционной привлекательности предлагаемых решений проводилось с учётом расчёта фактической нормы дисконта графо-аналитическим методом. При определении инвестиционной привлекательности расчётный период принимался равным 5 годам, а коэффициент аннуитета равным 0,11 (на основании размера условной инфляции), прибыль представлена выручкой от продажи произведённой продукции.

**Выводы.** Проведённые исследования позволяют сделать следующие выводы:

— представление узла водоочистки в виде многокритериальной системы, с выделением приоритетных задач позволяет успешно применять методы квалиметрии для оценки успеха модернизации с учётом разнонаправленных факторов;

— использование горелых отходов угледобывающей промышленности в составе фильтрующего материала для очистки природной воды повышает качество очистки и способствует снижению техногенной нагрузки на окружающую природную среду за счёт утилизации горелых пород терриконов. Экономический эффект от утилизации отходов при использовании предлагаемого фильтрующего элемента в сравнении с традиционным выше в 250

раз, предотвращённый экологический ущерб — в 2,8 раза, прикидочные затраты на рекультивацию при добыче песка составляют 40000 руб., которые полностью отсутствуют в предлагаемом варианте;

— экономическая эффективность определена на основании графо-аналитического определения фактической нормы доходности, которая превышает в 2 раза нормативную минимально допустимую норму дисконта для любых объектов строительства и составляет 31%, что благоприятно сказывается на экономической составляющей, даже при условии возможного увеличения себестоимости очистки природной воды.

### Литература

1. Водные ресурсы и обеспечение продовольственной безопасности и питания: доклад группы экспертов высокого уровня по вопросам продовольственной безопасности и питания. Рим: ГЭВУ, 2015. 163 с.
2. Кожин В.Ф. Очистка питьевой и технической воды. М.: БАСТЕТ, 2008. 304 с.
3. Недбай А.А., Мерзликина Н.В. Основы квалиметрии. Красноярск: ИПКСФУ, 2008. 126 с.
4. Долгова Е.Ю. Управление качеством. Омск: Омский государственный институт сервиса, 2007. 201 с.
5. Ример М.И., Касатов А.Д., Матиенко Н.Н. Экономическая оценка инвестиций. СПб.: Питер, 2008. 480 с.
6. Пат. 2498844 Российская Федерация. МПК (51) В01D 39/06, В01J 20/02, С02F 1/00. Фильтрующий элемент, применяемый в сфере очистки природных вод / Н.А. Антонова, Ю.Е. Домашенко; заявители и патентообладатели Н.А. Антонова, Ю.Е. Домашенко № 2011147979/05; заявл. 24.11.2011; опубл. 20.11.2013, Бюл. № 32. 5 с.