

УДК 627.84

UDC627.84

**ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАНАЛОВ
РИСОВЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ
В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**CHANGING RICE IRRIGATION SYSTEMS
SETTINGS IN OPERATION PROCESS**

Свистунов Юрий Анатольевич
д.т.н., профессор
*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

Svistunov Yury Anatolevich
Dr.Sci.Tech., professor
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Свистунов Алексей Юрьевич
аспирант
*Новочеркасская государственная мелиоративная
академия, Новочеркасск, Россия*

Svistunov Alexey Yurievich
postgraduate student
*Novocherkassk State Academy of reclamation,
Novocherkassk, Russia*

Рассматривается влияние эксплуатационных факторов на пропускную способность каналов рисовых оросительных систем. Приведены расчетные формулы для определения коэффициентов шероховатости русел, зарастающих водной растительностью

The influence of operational factors on the throughput of rice irrigation systems is under discussion. Calculation formulas for roughness coefficient determination in riverbeds, overgrown by aquatic vegetation, are adduced

Ключевые слова: РИСОВЫЕ СИСТЕМЫ, КАНАЛЫ, ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ, ВОДНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ, ЗАРАСТАНИЕ, КОЭФФИЦИЕНТ ШЕРОХОВАТОСТИ

Keywords: RICE IRRIGATION SYSTEMS, CHANNELS, THROUGHPUT, AQUATIC VEGETATION, OVERGROWING, ROUGHNESS COEFFICIENT

В основу современного водопользования положен принцип обеспечения соответствия между водозабором и потреблением воды в хозяйствах. План водопользования составляется ежегодно с учетом особенностей каждого хозяйства, потребности в воде всех водопользователей системы, КПД каналов, водообеспеченности источника орошения в планируемом году. Практическая реализация плана водопользования осуществляется диспетчером оросительной системы.

На Петровско-Анастасиевской оросительной системе текущая информация о расходах воды, положении дел в системе и выполнении указаний поступает к диспетчеру по телефону с некоторым опозданием. Системный план водопользования, составленный в начале года по прогнозам низкой достоверности, необъективно отражает фактическое состояние системы. Все это приводит к необходимости частой корректировке плана, которую из-за недостатка времени диспетчер

системы производит по собственному усмотрению, на основе личного опыта и инженерной интуиции. В результате составленные планы утрачивают актуальность, появляются ошибки, приводящие к потерям или дефициту оросительной воды, заболачиванию и засолению земель, снижению урожайности и экономической эффективности производства риса.

Основная задача современной оросительной системы – это своевременная и наиболее экономичная подача воды на поле. Однако важно не только подать воду потребителю, ее следует подать в таком количестве и именно тогда, когда и сколько ее требуется, чтобы при дефиците рабочей силы максимально исключить холостые сбросы весьма дефицитной оросительной воды.

В составе сложного комплекса мероприятий по техническому совершенствованию рисовых оросительных систем особое место отводится автоматизации водораспределения, обеспечивающей рациональное использование водных ресурсов, повышение оперативности управления водораспределением, культуру и производительность труда, создание реальных условий для изменения характера труда в орошении.

На внутрихозяйственной сети, снабжающей водой рисовые чеки, применение электроэнергии нерационально и неэффективно. Сооружения, распределяющие воду, оборудуются гидроавтоматами, которые, в зависимости от выбранной схемы управления водораспределением, следят за изменением какого-либо гидравлического параметра и поддерживают его постоянным в процессе эксплуатации. Такими параметрами могут быть уровни или перепады уровней воды в бьефах, регулируемые расходы.

Одной из распространенных в настоящее время схем регулирования водораспределением является регулирование по нижнему бьефу, в основе которого лежит поддержание постоянного уровня воды в нижнем бьефе регулирующих сооружений. По этой схеме на каждом участке канала

между двумя соседними сооружениями образуются резервные емкости, которые, аккумулируя воду, сглаживают существующие в системе рассогласования между водоподачей по плану и водопотреблением по требованию, что и позволяет свести к минимуму, а подчас и полностью исключить непроизводительные сбросы воды.

Для управления водораспределением на рисовой оросительной системе в различных эксплуатационных ситуациях используются:

- каскадное регулирование при неравномерном и дискретном водопотреблении из магистральных и распределительных каналов;
- устройства локальной гидроавтоматики для автоматического управления работой гидротехнических сооружений на внутрихозяйственной оросительной сети;
- оперативное вмешательство в работу объектов управления с диспетчерского пункта осуществляется средствами телемеханики только в аварийных ситуациях.

Каскадные схемы регулирования обладают обратной гидравлической связью, благодаря чему переходные процессы в каналах протекают автоматически, а управление осуществляется от потребителя к голове системы. Особенностью таких систем является устройство каналов внутрихозяйственной сети в открытых земляных руслах трапецеидального сечения, имеющих максимальное наполнение при минимальных расходах воды.

Для трапецеидальных каналов при заданном заложении откосов элементы живого сечения потока определяются по зависимостям:

$$\begin{aligned}\omega &= h(b + mh) \text{ – площадь живого сечения;} \\ \chi &= b + 2h \sqrt{1 + m^2} \text{ – смоченный периметр;} \\ R &= \omega / \chi \text{ – гидравлический радиус;} \\ B &= b + 2mh \text{ – ширина русла по свободной поверхности.}\end{aligned}\tag{1}$$

Движение воды в каналах равномерное, пропускная способность

определяется формулой Шези:

$$Q = \omega, \quad (2)$$

$$C = \frac{1}{n} R^y \approx, \quad y = , \text{ при } R = 1,0 \text{ м}; \quad y = \text{ при } R = 1,0$$

м

Рабочая глубина (h) наполнения канала может изменяться в диапазоне $h_{min} \leq h \leq h_{гн}$,

$h_{гн}$ – гидравлически наивыгоднейшая глубина.

Гидравлически наивыгоднейшему сечению соответствует минимальный смоченный периметр или максимальный гидравлический радиус, и протекание воды в них происходит с максимально возможной средней скоростью. Гидравлически наивыгоднейшее сечение пропускает наибольший расход воды $Q_{гн} = Q_{max}$. Изменение размеров сечения при постоянстве его площади $\omega = const$ приводит к уменьшению пропускной способности $Q = Q_{max}$.

В руслах трапецеидального поперечного сечения гидравлически наивыгоднейшего профиля отношение ширины русла по дну b к глубине потока h при равномерном движении и заданном коэффициенте заложении откосов определяется зависимостью:

$$\beta_{гн} = \sqrt{1-m}.$$

Параметры гидравлически наивыгоднейшего сечения, обладающего максимальной пропускной способностью $Q_{гн} = Q_{max}$ и минимальной величиной смоченного периметра χ_{min} при постоянной площади, определяются по зависимостям:

$$\begin{aligned} \beta_{гн} &= (b/h)_{гн} = 2(m'-m); \\ (R/\chi)_{гн} &= 1/4(m'-m); \\ (h/\chi)_{гн} &= 1/2 (2m'-m). \end{aligned} \quad (3)$$

В качестве базовых параметров для каналов севооборотного участка

рисовой оросительной системы «Кубанская» приняты:

распределитель севооборотного участка: $b = 2,0 \text{ м}$, $m = 1,5$, $n = 0,015$;

картовый ороситель: $b = 1,5 \text{ м}$, $m = 1,5$, $n = 0,015$.

В процессе длительной эксплуатации таких каналов характерны различные процессы, влияющие на пропускную способность земляных русел – это деформации, заиление, зарастание водной растительностью.

Заиление русел внутрихозяйственных каналов на рисовых системах Краснодарского края практически не наблюдается.

В распределительных каналах рисовых систем изобилие влаги и высокая температура воздуха способствуют интенсивному росту растительности, в том числе толстостебельных (камыш, рогоз, тростник). Это приводит к значительному снижению пропускной способности русел каналов. Растительность, произрастающая в каналах, создает значительное сопротивление потоку воды. Это вызывает повышение уровня воды в канале, увеличение потерь воды на испарение и фильтрацию, подъем уровня грунтовых вод на приканальных участках. Особенно быстро происходит зарастание внутрихозяйственной сети рисовых оросительных систем с малой глубиной воды в каналах, быстро прогревающейся в летний период на всю глубину. В результате зарастания мелиоративных каналов влаголюбивой растительностью шероховатость русла увеличивается с 0,025 до 2,5 и более по шкале Гангилье – Куттера.

Влияние деформаций открытых русел и зарастания водной растительностью на пропускную способность каналов внутрихозяйственного звена будут зависеть от коэффициента Шези C , который учитывает сопротивление при движении потока.

В результате деформации открытых русел изменяются гидравлический радиус R и смоченный периметр χ . Влияние изменения гидравлического радиуса на пропускную способность канала может быть получено с помощью формул Шези и Маннинга:

$$\frac{Q_{max}}{Q} = \frac{\omega C_{гн} \sqrt{R_{гн} i_0}}{\omega C \sqrt{R i_0}} = \left(\frac{R_{гн}}{R}\right)^{2/3} = a, \quad (4)$$

a – показатель уменьшения расхода, откуда $a = a^{3/2} = f$.

Для определения диапазона изменения смоченного периметра выполним следующее преобразование:

$$\frac{\chi_{гн}}{\chi} = \frac{\chi_{гн}}{\omega} \times \frac{\omega}{\chi} = \frac{R}{R_{гн}} = \frac{1}{f}$$

Откуда получим:

$$\left(\frac{R}{\chi}\right)_{гн} = \frac{\omega}{\chi_{гн}^2} \times \frac{\chi^2}{\omega} = \left(\frac{\chi}{\chi_{гн}}\right)^2 \quad (5)$$

Приведенные выше зависимости позволяют установить изменение относительного наполнения. С помощью формул (3) можно записать:

$$B = \frac{R\chi - mh^2}{h} = \chi -,$$

где $m' = \sqrt{1}$,

откуда $h^2(2m' - m)h$, решив уравнение, получим:

$$\frac{h}{\chi} = \frac{1}{2}(2m' - m) \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{R}{\chi} 4(2m')} \right] \quad (6)$$

Подкоренное выражение в (6) имеет физический смысл при

$$\left(\frac{R}{\chi}\right)_{max} = \frac{1}{4}(2m' - m) = - \text{ при этом положительное значение}$$

радикала соответствует условию $\frac{h}{\chi} \geq$, а отрицательное значение –

условию $\frac{h}{\chi} \leq$.

Для определения минимального наполнения канала в (6) с отрицательным радикалом подставим его значение и получим для зоны $h < h_{2н}$

$$\left(\frac{h}{\chi}\right)_{min} = \frac{1}{2(2m' - m)} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{1}{f^2}}\right) \quad (7)$$

При $h \rightarrow \infty \chi \rightarrow 2m'h$, поэтому $\frac{h}{\chi} \rightarrow \frac{h}{2m'h}$, откуда получим:

$$\frac{h}{\chi} \rightarrow \frac{1}{2m'} = \frac{1}{2(2m' - m)} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{1}{f^2}}\right)$$

или после преобразований

$$f_{max} = \sqrt{\frac{1}{1 - \left(\frac{h}{\chi}\right)^2}}$$

$$a_{max} = \quad (8)$$

Зависимости (8) показывают, что при неограниченном росте глубины наполнения $h > h_{ГН}$ при $\omega = \text{const}$ наибольшее отклонение a_{max} расхода Q от Q_{max} зависит только от заложения откосов, и увеличение глубины незначительно уменьшает пропускную способность канала.

Одним из основных факторов, существенно влияющих на пропускную способность земляных русел, является зарастание их водной растительностью.

В процессе эксплуатации каналов значения коэффициента шероховатости изменяются в значительных пределах, зависят от деформации русла и степени зарастания водной растительностью. Первоначально значение коэффициента шероховатости для вновь построенных трапециевидальных каналов в земляном русле на ПАОС принято $n = 0,025$. Для каналов, заросших водной растительностью, значение коэффициента шероховатости достигает значения $n = 0,125 \dots 0,130$ [3]. При этом предельная расчетная погрешность величины расхода при показателе степени $y = 1/6$ составит

$$\frac{Q'}{Q''} = \frac{C'}{C''} = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{0,125}{0,0125} = 10.$$

Изменение пропускной способности распределителя севооборотного участка при разной степени зарастания водной растительностью представлены в таблице 1, а оросителя – в таблице 2.

Таблица 1 – Влияние коэффициента шероховатости русла на пропускную способность распределителя севооборотного участка

<i>n</i>	0,0125	0,015	0,020	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
<i>Q</i> , м ³ /с	1,874	1,545	1,138	0,735	0,537	0,420	0,334	0,288	0,248	0,214	0,192

Увеличение коэффициента шероховатости русла до 0,02–0,03 приводит к значительному уменьшению пропускной способности распределителя севооборотного участка и нарушению технологических требований к расходам в период первоначального затопления.

Изменение коэффициента шероховатости русел оросителей при активном зарастании каналов водной растительностью приводит к нарушению режима орошения риса при достижении значений 0,04–0,05 при первоначальном затоплении и 0,10–0,12 в режиме поддержания слоя.

Таблица 2 – Влияние коэффициента шероховатости русла, заросшего водной растительностью на пропускную способность оросителя

<i>n</i>	0,0125	0,015	0,020	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
<i>Q</i> , м ³ /с	0,735	0,601	0,436	0,275	0,197	0,151	0,121	0,100	0,085	0,073	0,064

Общий вид зависимости для вычисления коэффициента шероховатости заросшего русла канала [1]:

$$n = n_0 \sqrt{\frac{\chi_0}{\chi} \left(\frac{U'_0}{U}\right)^2 + \frac{\chi_p}{\chi} \left(\frac{U_p}{U}\right)^2 + \frac{\chi_{вод}}{\chi} \left(\frac{U'_{вод}}{U}\right)^2 +}$$

$$+ \sqrt{\frac{R^{4/3}}{2gn_0^2} \left[C_D \bar{d} \frac{\omega_p}{\omega} \left(\frac{U_p}{U} \right)^2 \left(\bar{N} + \sigma_N \sqrt{2 \ln \frac{\bar{v}_0}{P_N}} \right) \right]} +$$

$$+ \sqrt{k \frac{\lambda'_p h_p}{4 \omega} \left(\frac{U'_0}{U} \right)^2 + \frac{\lambda'_{вод} \omega_{вод}}{4 \omega} \left(\frac{U'_0}{U} \right)^2 \ln \frac{(\bar{v} \omega_{вод})^m}{P_1 m!}}$$

где n, n_0 – коэффициенты шероховатости, соответственно, заросшего и не заросшего русла;

U, U_0 – средние скорости течения в заросшем и не заросшем русле;

$U_p, U_{вод}$ – средние скорости части русла с растительностью и водорослями;

$\chi_0, \chi_p, \chi_{вод}$ – смоченные периметры с заросшей части русла,

с растительностью и водорослями;

C_D – коэффициент лобового сопротивления растений;

N – средняя плотность растений на единицу площади;

$\lambda'_p, \lambda'_{вод}$ – коэффициент гидравлического сопротивления части русла

с растительностью и водорослями;

\bar{v}, \bar{v}_0 – средняя интенсивность растительности и водорослей;

P_N, P_1 – вероятность распределения растительности и водорослей;

\bar{d}, h_p – средний диаметр растений и глубина воды на части русла

с растительностью.

Полагая, что $\frac{U_p}{U} \approx 0, \frac{U_{вод}}{U} \approx 0, \frac{U'_0}{U} \approx \frac{\omega}{\omega_{вод}}$, получим приближенную зависимость для оценки коэффициента шероховатости заросшего русла канала:

$$n = n_0 \sqrt{\frac{\chi_0}{\chi} \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 + \frac{R^{4/3}}{2gn_0^2} \left[k \frac{\lambda'_p h_p}{4 \omega} \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 + \frac{\lambda'_{вод} \omega_{вод}}{4 \omega} \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \ln \frac{(\bar{v}_1 \omega_{вод})^m}{P_1 m!} \right]}$$

При полном зарастании русла и отсутствии водорослей зависимость для коэффициента шероховатости принимает вид [3]:

$$n = n_0 \sqrt{1 + \frac{R^{4/3}}{2gn_0^2} \left[C_D \bar{d} \left(\bar{N} + \sigma_N \sqrt{2 \ln \frac{\bar{v}_0}{P_N}} \right) \right]}$$

Для анализа изменчивости коэффициентов шероховатости заросшего и незаросшего русел выполнены расчеты по определению влияния количества растений на величину коэффициента шероховатости [3]. Рассмотрены условия равномерного распределения растительности по руслу канала и с учетом случайного характера (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние густоты водной растительности на коэффициент шероховатости русел с учетом случайного характера распределения

$N, \text{шт./м}^2$	5	10	30	50	100	200
n/n_0	1,99	2,66	4,46	5,75	8,14	11,56

Наличие водной растительности в канале существенно сказывается на увеличении коэффициента шероховатости русла при густоте растений $N > 10 \text{ шт./м}^2$, а при меньшем значении это влияние составляет не более 5–10 % [1].

Исследования, проведенные на Петровско-Анастасиевской и Марьяно-Чебургольской оросительных системах в 2010 и 2011 годах, показали, что на оросителях, находящихся в эксплуатации 25–30 лет густота растений изменяется от $N = 15–20 \text{ шт./м}^2$ до $N = 110–120 \text{ шт./м}^2$, причем водной растительностью осваиваются и дно, и откосы каналов, что приводит к увеличению коэффициента шероховатости, по сравнению с нормальным состоянием русел, от 3 до 8 раз.

Характер зарастания водной растительностью распределительных каналов несколько иной. Растительность располагается только на откосах каналов, при густоте растений $N = 20–80 \text{ шт./м}^2$. Значение приведенного коэффициента шероховатости частично заросших русел распределительных каналов может быть определено по зависимости [3]

$$n_{\text{пр}} = \left(\frac{\chi_1}{\chi} n_1^3 \right)^{1/2} + \frac{\chi_2}{\chi}$$

Вывод. В сложившихся технологиях эксплуатации рисовых оросительных систем недостаточно внимания уделяется борьбе с водной растительностью в каналах низового звена, что приводит к значительному уменьшению пропускной способности каналов и нарушению точности и оперативности водораспределения.

Список литературы

1. Беновицкий, Э.Л. Вывод расчетных зависимостей для коэффициента шероховатости частично заросших русел // Водные ресурсы. – 1988. – № 1. – С. 68–74.
2. Железняков, Г. В. Пропускная способность русел каналов и рек / Г.В. Железняков. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 311 с.
3. Косиченко, Ю.М. Каналы переброски стока России / Ю.М. Косиченко. – Новочеркасск: НГМА, 2004. – 470 с.
4. Щедрин, В.Н. Безопасность гидротехнических сооружений мелиоративного назначения / В.Н. Щедрин, Ю.М. Косиченко, Е.И. Шкуланов. – М.: Росинформагротех, 2011. – 268 с.