

Рис.3. Бетонная одежда откосов каналов: а – разрез 1-1; б – план; 1 – бетонные элементы; 2 – гравийная подготовка; 3 – защищаемая поверхность откоса; 4 – бетонный упор.

## Постановка и решение оптимизационных задач развития систем технического водоснабжения и водоотведения Солигорского промрайона

Щербаков Г.А., Папко Н.А., Линкевич Н.Н.  
(ЦНИИКИВР)

В настоящее время хозяйственные стоки г.Солигорска, Первого, Второго и Третьего рудоуправления ПО «Беларуськалий» поступают на общегородские очистные сооружения хозяйственной канализации, расположенные в д.Дубеи Солигорского района. После биологической очистки они сбрасываются в Кривичский канал мелиоративной системы и повторно не используются.

Снижение сброса сточных вод промышленных предприятий и коммунально-бытовых стоков г.Солигорска может быть обеспечено как путем строительства локальных очистных сооружений на промышленных предприятиях и использования очищенных стоков (после их доочистки) для целей технического водоснабжения этих

предприятий, отказавшись в этом случае от забора поверхностных вод Солигорского водохранилища, так и путем реконструкции общегородских очистных сооружений, включающей строительство установки доочистки и насосной станции для подачи доочищенных сточных вод на промпредприятия.

При этом решаются две основные задачи:

- снижение ущерба, наносимого в результате сброса сточных вод в водные объекты;
- уменьшение расхода свежей воды, забираемой из Солигорского водохранилища.

Для решения этих задач необходимо проведение оптимизационных расчетов по выбору рациональной системы водообеспечения производства и расчетов по выбору рациональной системы водообеспечения производства и расчета ее экономической эффективности. При экономической оптимизации технических решений проводится минимизация проведенных затрат, т.е. оптимальным считается вариант, при котором приведенные затраты на транспортировку, очистку и доочистку сточных вод, а также затраты на возмещение экономического ущерба от сброса условно чистых и доочищенных сточных вод в водные объекты являются минимальными при соблюдении технологических и санитарно-гигиенических условий работы оборотных систем водоснабжения.

По общепринятой методике приведенные затраты  $ПЗ_i$  представляют собой сумму текущих издержек и единовременных затрат, приведенных к годовой размерности в соответствии с установленным нормативным коэффициентом эффективности:

$$ПЗ_i = C_i + E_n * K_i \quad (1)$$

где  $C_i$  – эксплуатационные расходы (текущие затраты) по сравниваемым вариантам;

$K_i$  – капитальные вложения (единовременные затраты) по сравниваемым вариантам;

$E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ( $E_n = 0.15$ ).

Для основных элементов системы водоотведения и очистки хозяйственных стоков, таких как: станции биологической очистки, установки доочистки на песчаных и каркасно-засыпных фильтрах, канализационные и водопроводные насосные станции, трубопроводы технического водоснабжения, на основе обобщения укрупненных показателей сметной стоимости сооружений и оборудования для очистки сточных вод, были получены эмпирические расчетные зависимости

эксплуатационных расходов и капитальных вложений в зависимости от производительности.

$$C_i = f_1(Q_i) = a_1 + b_1 * (Q_i)^{n1}, \quad (2)$$

$$K_i = f_2(Q_i) = a_2 + b_2 * (Q_i)^{n2}. \quad (3)$$

Кроме того, при постановке оптимизационной задачи учитывались затраты на возмещение экономического ущерба от сброса условно чистых и доочищенных сточных вод в водные объекты, а также стоимость забора технической воды из Солигорского водохранилища.

Все расчеты произведены в ценах 1984 г.

Расчетная схема приведена на рис.1.

Таким образом, в нашем случае оптимизационная задача для системы водоотведения и технического водоснабжения Солигорского промрайона может быть выражена следующим образом:

Целевая функция:

$$\begin{aligned}
 Y = & C_{\text{кнс.1ру}}(Q'_{1ру}) + C_{\text{оч.1ру}}(Q''_{1ру}) + K_{\text{оч.1ру}}(Q''_{1ру}) * 0.15 + \\
 & + C_{\text{дооч.1ру}}(Q''_{1ру}) + K_{\text{дооч.1ру}}(Q''_{1ру}) * 0.15 + C_{\text{кнс.2ру}}(Q'_{2ру} + \\
 & + Q'_{3ру}) + C_{\text{оч.2ру}}(Q''_{2ру}) + K_{\text{оч.2ру}}(Q''_{2ру}) * 0.15 + \\
 & + C_{\text{дооч.2ру}}(Q''_{2ру}) + K_{\text{дооч.2ру}}(Q''_{2ру}) * 0.15 + C_{\text{кнс.3ру}}(Q'_{3ру}) + \\
 & + C_{\text{оч.3ру}}(Q''_{3ру}) + K_{\text{оч.3ру}}(Q''_{3ру}) * 0.15 + C_{\text{дооч.3ру}}(Q''_{3ру}) + \\
 & + K_{\text{дооч.3ру}}(Q''_{3ру}) * 0.15 + C_{\text{кнс.гор}}(Q_{\text{гор}} + Q'_{1ру}) + \\
 & + C_{\text{нс.тех.в}}(Q_{1ру}^{\text{ТВ}} + Q_{2ру}^{\text{ТВ}} + Q_{3ру}^{\text{ТВ}}) + C_{\text{оч.дуб}}(Q_{\text{гор}} + Q'_{1ру} + Q'_{2ру} + \\
 & + Q'_{3ру}) + C_{\text{дооч.дуб}}(Q_{\text{гор}} + Q'_{1ру} + Q'_{2ру} + Q'_{3ру} - Q^0_{\text{оч}}) + \\
 & + K_{\text{дооч.дуб}}(Q_{\text{гор}} + Q'_{1ру} + Q'_{2ру} + Q'_{3ру} - Q^0_{\text{оч}}) * 0.15 + \\
 & + C_{\text{нс.дуб}}(Q^{\text{СТ}}_{1ру} + Q^{\text{СТ}}_{2ру} + Q^{\text{СТ}}_{3ру}) + K_{\text{нс.дуб}}(Q^{\text{СТ}}_{1ру} + Q^{\text{СТ}}_{2ру} + \\
 & + Q^{\text{СТ}}_{3ру}) * 0.15 + (C_{\text{тр.д-1ру}}(Q^{\text{СТ}}_{1ру} + Q^{\text{СТ}}_{3ру}) + K_{\text{тр.д-1ру}}(Q^{\text{СТ}}_{1ру} + \\
 & + Q^{\text{СТ}}_{3ру}) * 0.15) * L_{\text{тр1}} + (C_{\text{тр.д-2ру}}(Q^{\text{СТ}}_{2ру}) + \\
 & + K_{\text{тр.д-2ру}}(Q^{\text{СТ}}_{2ру}) * 0.15) * L_{\text{тр2}} + 3ВУ_{\text{оч}}(Q^0_{\text{оч}}) + 3ВУ_{\text{дооч}}(Q^0_{\text{дооч}}) + \\
 & + C_{\text{тех.в}}(Q^{\text{ТВ}}_{1ру} + Q^{\text{ТВ}}_{2ру} + Q^{\text{ТВ}}_{3ру}) \dots \min
 \end{aligned} \quad (4)$$

где  $C_{\text{кнс.1ру}}$  — эксплуатационные расходы существующей КНС на 1РУ;

$C_{\text{оч.1ру}}$  — эксплуатационные расходы проектируемой станции

биологической очистки на 1РУ;

$K_{оч,1ру}$  — капитальные вложения в проектируемую станцию биологической очистки на 1РУ;

$C_{дооч,1ру}$  — эксплуатационные расходы проектируемой станции доочистки на 1РУ;

$K_{дооч,1ру}$  — капитальные вложения в проектируемую станцию доочистки на 1РУ;

$C_{кис,2ру}$  — эксплуатационные расходы существующей КНС на 2РУ;

$C_{оч,2ру}$  — эксплуатационные расходы проектируемой станции биологической очистки на 2РУ;

$K_{оч,2ру}$  — капитальные вложения в проектируемую станцию биологической очистки на 2РУ;

$C_{дооч,2ру}$  — эксплуатационные расходы проектируемой станции доочистки на 2РУ;

$K_{дооч,2ру}$  — капитальные вложения в проектируемую станцию доочистки на 2РУ;

$C_{кис,3ру}$  — эксплуатационные расходы существующей КНС на 3РУ;

$C_{оч,3ру}$  — эксплуатационные расходы проектируемой станции биологической очистки на 3РУ;

$K_{оч,3ру}$  — капитальные вложения в проектируемую станцию биологической очистки на 3РУ;

$C_{дооч,3ру}$  — эксплуатационные расходы проектируемой станции доочистки на 3РУ;

$K_{дооч,3ру}$  — капитальные вложения в проектируемую станцию доочистки на 3РУ;

$C_{кис,гор}$  — эксплуатационные расходы существующей КНС в г.Солигорске;

$C_{нс,тех.в}$  — эксплуатационные расходы существующей НС 1-го подъема технической воды из Солигорского водохранилища;

$C_{оч,дуб}$  — эксплуатационные расходы существующей станции биологической очистки в д.Дубеи;

$C_{дооч,дуб}$  — эксплуатационные расходы проектируемой станции доочистки в д.Дубеи;

$K_{дооч,дуб}$  — капитальные вложения в проектируемую станцию доочистки в д.Дубеи;

$C_{нс,дуб}$  — эксплуатационные расходы проектируемой НС в д.Дубеи для подачи доочищенной воды на рудоуправления;

$K_{нс,дуб}$  — капитальные вложения в проектируемую НС в д.Дубеи для подачи доочищенной воды на рудоуправления;

$C_{тр.д-1ру}$  — эксплуатационные расходы проектируемого водовода

д.Дубей-1РУ;

$K_{гр.д-1ру}$  — капитальные вложения в проектируемый водовод д.Дубей-1РУ;

$C_{гр.д-2ру}$  — эксплуатационные расходы проектируемого водовода д.Дубей-2РУ;

$K_{гр.д-2ру}$  — капитальные вложения в проектируемый водовод д.Дубей-2РУ;

$ZVU_{оч}$  — затраты на возмещения ущерба от сброса очищенных сточных вод в водоем;

$ZVU_{дооч}$  — затраты на возмещения ущерба от сброса доочищенных сточных вод в водоем;

$\Pi_{тех.в}$  — стоимость технической воды, забираемой из Солигорского водохранилища.

### Ограничения:

**Условие баланса хозяйственных стоков на 1РУ:**

$$Q'_{1ру} + Q''_{1ру} = Q_{1ру} \quad (5)$$

Условие баланса хозяйственных стоков на 2РУ:

$$Q'_{2ру} + Q''_{2ру} = Q_{2ру} \quad (6)$$

Условие баланса хозяйственных стоков на 3РУ:

$$Q'_{3ру} + Q''_{3ру} = Q_{3ру} \quad (7)$$

Условие баланса технического водоснабжения на 1РУ:

$$Q''_{1ру} + Q^{CT}_{1ру} + Q^{TB}_{1ру} = Q^{об}_{1ру} \quad (8)$$

Условие баланса технического водоснабжения на 2РУ:

$$Q''_{2ру} + Q^{CT}_{2ру} + Q^{TB}_{2ру} = Q^{об}_{2ру} \quad (9)$$

Условие баланса технического водоснабжения на 3РУ:

$$Q''_{3ру} + Q^{CT}_{3ру} + Q^{TB}_{3ру} = Q^{об}_{3ру} \quad (10)$$

Условие баланса расходов на очистных сооружениях г.Солигорска:

$$Q_{гор} + Q'_{1ру} + Q'_{2ру} + Q'_{3ру} - Q^{CT}_{1ру} - Q^{CT}_{2ру} - Q^{CT}_{3ру} - Q^0_{оч} - Q^0_{дооч} = 0 \quad (11)$$

**Искомые переменные (м<sup>3</sup>/сут):**

$Q'_{1ру}$  — сброс хозяйственных стоков 1РУ на общегородские очистные сооружения;

$Q''_{1ру}$  — сброс хозяйственных стоков 1РУ на локальные очистные сооружения;

$Q^{CT}_{1ру}$  — возврат доочищенных сточных вод на 1РУ после

общегородских очистных сооружений;

$Q_{1ру}^{ТВ}$  – забор технической воды из Солигорского водохранилища на 1РУ;

$Q_{2ру}^*$  – сброс хозяйственных стоков 2РУ на общегородские очистные сооружения;

$Q_{2ру}^*$  – сброс хозяйственных стоков 2РУ на локальные очистные сооружения;

$Q_{2ру}^{СТ}$  – возврат доочищенных сточных вод на 2РУ после общегородских очистных сооружений;

$Q_{2ру}^{ТВ}$  – забор технической воды из Солигорского водохранилища на 2РУ;

$Q_{3ру}^*$  – сброс хозяйственных стоков 3РУ на общегородские очистные сооружения;

$Q_{3ру}^*$  – сброс хозяйственных стоков 3РУ на локальные очистные сооружения;

$Q_{3ру}^{СТ}$  – возврат доочищенных сточных вод на 3РУ после общегородских очистных сооружений;

$Q_{3ру}^{ТВ}$  – забор технической воды из Солигорского водохранилища на 3РУ;

$Q_{оч}^0$  – сброс очищенных хозяйственных стоков в Кривичский канал после биологической очистки;

$Q_{дооч}^0$  – сброс доочищенных хозяйственных стоков в Кривичский канал после доочистки.

#### **Исходные данные:**

$Q_{гор} = 30300 \text{ м}^3/\text{сут}$  – объем хозяйственных стоков г.Солигорска;

$Q_{1ру} = 2300 \text{ м}^3/\text{сут}$  – объем хозяйственных стоков 1РУ (вместе с субабонентами);

$Q_{2ру} = 1650 \text{ м}^3/\text{сут}$  – объем хозяйственных стоков 2РУ (вместе с субабонентами);

$Q_{3ру} = 1400 \text{ м}^3/\text{сут}$  – объем хозяйственных стоков 3РУ (вместе с субабонентами);

$Q_{1ру}^{об} = 5400 \text{ м}^3/\text{сут}$  – объем технического водоснабжения 1РУ (без учета доочищенных ливневых стоков);

$Q_{2ру}^{об} = 3200 \text{ м}^3/\text{сут}$  – объем технического водоснабжения 2РУ;

$Q_{зру}^{об} = 2750 \text{ м}^3/\text{сут}$  – объем технического водоснабжения ЗРУ (без учета доочищенных ливневых стоков).

Расчетные расходы приняты в соответствие с фактическими данными по водоотведению и техническому водоснабжению Солигорского промрайона за 1997 г.

Результаты решения вариантов оптимизационных задач представлены в табл.1.

Таблица 1.

№ п/п	Вариант расчета	Сумма приведенных затрат, тыс. руб
1	Очистка хозбытовых стоков рудоуправлений ПО «Беларуськалий» на общегородских очистных сооружениях, возврат доочищенных сточных вод на рудоуправления после общегородских очистных сооружений, отказ от забора технической воды из Солигорского водохранилища	917,87
2	Очистка хозбытовых стоков рудоуправлений ПО «Беларуськалий» на общегородских очистных сооружениях, сброс доочищенных сточных вод в Кривичский канал, техническое водоснабжение рудоуправлений из Солигорского водохранилища	926,79
3	Очистка хозбытовых стоков рудоуправлений ПО «Беларуськалий» на локальных очистных сооружениях, использование для промышленного водоснабжения очищенных стоков после локальных и общегородских очистных сооружений, отказ от забора технической воды из Солигорского водохранилища	1219,59
4	Очистка хозбытовых стоков рудоуправлений ПО «Беларуськалий» на локальных очистных сооружениях, техническое водоснабжение рудоуправлений из Солигорского водохранилища	1191,97

Анализ результатов расчетов показывает, что для промышленного водоснабжения рудоуправлений ПО «Беларуськалий» целесообразно использовать доочищенные хозяйственные сточные воды, отказавшись от забора технической воды из Солигорского водохранилища. Экономически более выгодным является вариант, предусматривающий очистку и доочистку хозяйственных сточных вод в д. Дубей, с последующей подачей их на промышленные нужды предприятий ПО «Беларуськалий».

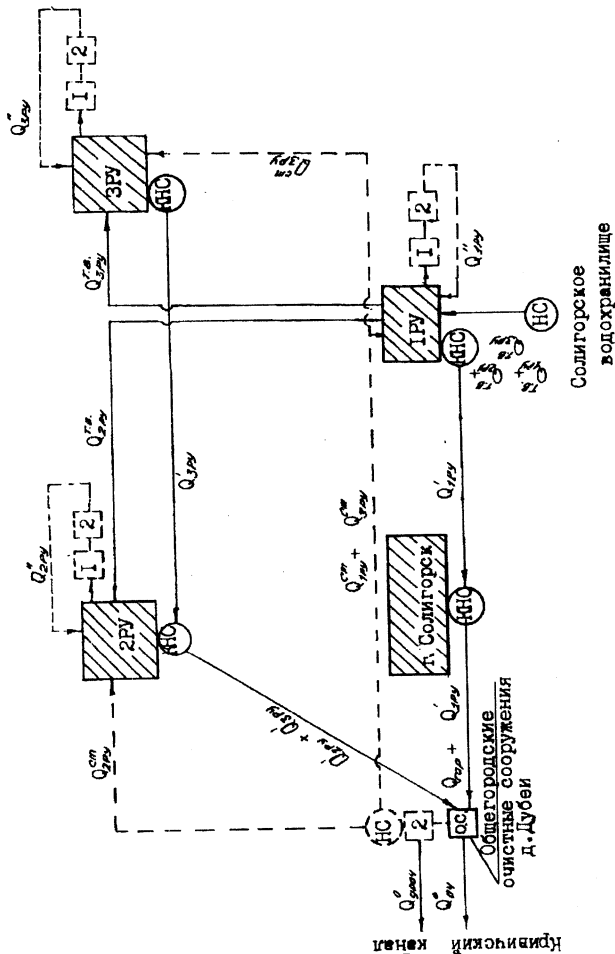


Рис.1. Расчетная схема для постановки задачи оптимизации системы водоотведения Солигорского промрайона  
 1 — станция биологической очистки сточных вод  
 2 — блок доочистки сточных вод  
 [ ] — проектируемые сооружения