

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В КАНАЛИЗАЦИОННЫХ
СЕТЯХ ПУТЕМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИ
НАИВЫГОДНЕЙШЕГО СЕЧЕНИЯ.

ГИДРАВЛИК ЖИҲАТДАН ЭНГ ФОЙДАЛИ КЕСИМНИ АНИҚЛАШ
ОРҚАЛИ КАНАЛИЗАЦИЯ ТАРМОҚЛАРИДА ЭНЕРГИЯ ИСТЕЪМОЛИНИ
ОПТИМАЛЛАШТИРИШ.

OPTIMIZATION OF ENERGY CONSUMPTION IN SEWERAGE NETWORKS
BY DETERMINING THE HYDRAULICALLY MOST EFFICIENT CROSS-
SECTION.

Тангатарова Гулзира Мырзабековна — Республика Узбекистан.
докторант Научно-исследовательского института ирригации и водных
проблем.

Тангатарова Гулзира Мырзабековна — Ўзбекистон Республикаси,
Сув муаммолари ва ирригация илмий-тадқиқот институти докторанти.

Tangatarova Gulzira Mirzabekovna — Doctoral Student, Research
Institute of Irrigation and Water Problems, Republic of Uzbekistan.

Аннотация. В данной статье рассматривается роль систем водоотведения в общем энергопотреблении, а также приводятся данные о затратах энергии на преодоление трения жидкости и местных сопротивлений. Подчеркивается, что повышение энергоэффективности имеет не только экономическое, но и экологическое значение.

Аннотация. Ушбу мақолада умумий энергия истеъмолида оқова сувларни чиқариш (водоотведение) тизимларининг тутган ўрни кўриб чиқилади, шунингдек, суюқликнинг ишқаланиши ва маҳаллий қаршилиқларни енгиш учун сарфланадиган энергия харажатлари тўғрисидаги маълумотлар келтирилади. Энергия самарадорлигини ошириш нафақат иқтисодий, балки экологик жиҳатдан ҳам муҳим аҳамиятга эга эканлиги таъкидланади.

Abstract. This article examines the role of wastewater disposal systems in overall energy consumption and provides data on energy expenditures required to overcome fluid friction and local resistances. It is emphasized that improving energy efficiency carries not only economic but also significant environmental importance.

Ключевые слова: Гидравлический радиус, Смоченный периметр, Коэффициент Шези, Энергоэффективность, Канализационные сети, Оптимизация

Калит сўзлар: Гидравлик радиус, хўлланган периметр, Шези коэффициенти, энергия самарадорлиги, канализация тармоклари, оптималлаштириш.

Keywords: Hydraulic radius, wetted perimeter, Chezy coefficient, energy efficiency, sewerage networks, optimization.

Системы транспортировки и очистки сточных вод являются одними из самых энергоемких звеньев городской инфраструктуры. В условиях города Нукуса, из-за равнинного рельефа местности и резкого климата, затраты электроэнергии на принудительную перекачку сточных вод (насосными станциями) составляют основную часть эксплуатационных расходов системы. На сегодняшний день в городе Нукусе функционируют 5 перекачивающих станций (СП), 41 канализационная насосная станция (КНС), 1 главная насосная станция (ГНС) и 1 канализационное очистное сооружение (КОС) мощностью 65 000 м³/сутки.

В системах водоотведения большая часть энергии (иногда до 60-80%) расходуется на перекачку воды (насосными станциями) и на очистные сооружения. Насос должен не только поднимать воду на определенную геометрическую высоту (H_{geo}), но и преодолевать потери на трение по длине трубопроводов и местные сопротивления (h_w). Требуемая мощность насоса выражается следующей формулой:

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta}$$

В данном случае полный напор определяется как $H = H_{\text{geo}} + h_w$. Чем выше гидравлические потери (h_w) тем больше потребление электроэнергии.

Неправильный выбор сечения трубопровода или накопление осадков приводят к увеличению гидравлических потерь, что влечет за собой цепочку негативных экономических последствий. Каждый дополнительный метр потери напора, вызванный неоптимальным сечением, может приносить убытки в миллионы сумов в течение года. Если сечение не является «наивыгоднейшим», скорость потока снижается, что приводит к накоплению осадков на дне трубы. Это требует привлечения дополнительной техники и рабочей силы для регулярной промывки (гидродинамической очистки) сети. Постоянная работа насосов в условиях повышенного сопротивления сокращает срок их службы и увеличивает расходы на ремонт и техническое обслуживание.

Так как канализационные трубопроводы обычно работают при неполном заполнении, оптимальная степень наполнения (h/d) обычно составляет 0,6–0,7. Это обеспечивает оптимальное соотношение скорости потока и расхода

жидкости. Энергоэффективность можно выразить через следующие математические зависимости:

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot i},$$

Здесь $R = w/P$ (гидравлический радиус). Минимизация периметра P приводит к увеличению R и, как следствие, к повышению скорости потока. Это обеспечивает скорость **самоочищения**, что снижает эксплуатационные расходы. Оптимальный режим определяется путем нахождения точки, в которой **удельная энергия потока** минимальна.

$$E = y + \frac{\alpha v^2}{2g}$$

При проектировании и эксплуатации канализационных сетей **уклон труб** является одним из важнейших параметров, обеспечивающих гидравлическую устойчивость системы. Отклонение уклона от оптимального значения (чрезмерно большой или малый уклон) коренным образом меняет динамику движения сточных вод и приводит к серьезным технологическим проблемам в сети.

При установке уклона трубы выше нормативных показателей (максимально допустимого уклона) скорость движения сточных вод резко возрастает. Хотя на первый взгляд может показаться, что высокая скорость способствует быстрому отводу воды (увеличению расхода), на практике это приводит к следующим негативным последствиям:

⌚ При **высоких уклонах** скорость водного потока значительно превышает скорость движения твердых бытовых и промышленных отходов (песка, мусора, органических веществ). В результате водная фаза быстро стекает, а тяжелые и крупные твердые частицы остаются на дне трубы, обезвоживаются и со временем затвердевают, образуя **засоры**.

⌚ Песок и другие минеральные частицы в составе сточных вод при высоких скоростях ($v > 4-5$ м/с) оказывают сильное механическое воздействие на внутреннюю поверхность трубы. Это приводит к преждевременному **абразивному износу** материалов труб (особенно бетонных и пластиковых) и увеличению числа аварийных ситуаций.

⌚ При слишком высокой скорости слой воды в трубе становится тоньше. Известно, что для обеспечения самоочищающей способности канализационных труб степень их наполнения должна быть не меньше определенного критического значения (например, $h/d \geq 0.5$). Снижение **степени наполнения** также ускоряет оседание крупных плавающих отходов на дно трубы.

В районах с относительно равнинным или низменным рельефом (например, в условиях Приаралья и города Нукуса) часто наблюдается проектирование малых уклонов труб или недостаточный уклон из-за ошибок при строительстве. Это снижает эффективность работы системы следующим образом:

- В канализационных сетях существует минимальная скорость, обеспечивающая отсутствие выпадения взвешенных частиц в осадок — **самоочищающая скорость** ($v_{\min} \approx 0.7$ м/с). При малых уклонах, в соответствии с **формулами Шези и Маннинга**, скорость протекающей воды падает ниже этого критического предела.

- При ослаблении связи между скоростью потока и, соответственно, коэффициентом Шези (С) и гидравлическим радиусом (R), турбулентная мощность потока снижается. В результате уменьшения транспортирующей способности потока (силы увлечения твердых частиц), частицы под действием силы тяжести начинают оседать на дно трубы.

- Сначала осаждаются мелкий песок и органические вещества. Они увеличивают **шероховатость** (коэффициент шероховатости n) дна трубы. Увеличение шероховатости, в свою очередь, еще больше снижает скорость потока, что по принципу цепной реакции приводит к утолщению слоя отложений. В результате **полезная площадь поперечного сечения** (ω) трубы уменьшается, и пропускная способность сети резко падает.

Связь между **уклоном** (i), **скоростью** (v) и **расходом** (Q) можно выразить через известную **формулу Манна**:

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}$$

где:

- n — Коэффициент шероховатости стенок трубы;
- R — Гидравлический радиус ($R = \omega / \chi$);
- i — Гидравлический уклон трубы.

«Из этой зависимости следует, что при чрезмерно малом **уклоне** (i) **скорость** (v) непосредственно снижается, что инициирует процесс образования отложений. Если же уклон избыточно велик, скорость возрастает, однако даже при высоком **расходе** ($Q = \omega \cdot v$) нарушается **гидравлическая устойчивость** (hydraulic stability) системы из-за разделения водной и твердой фаз.

По этой причине для обеспечения энергоэффективности и надежности канализационных сетей на участках с малым расходом необходимо выбирать такой **уклон**, при котором скорость потока не превышала бы максимальный

предел ($v_{\max} \leq 4.0$ м/с) и в то же время не была бы ниже **самоочищающей скорости** ($v_{\min} \geq 0.7$ м/с).

Коллектор	Расход q , л/с	DN, мм	Внутренний диаметр d , мм	Длина L , м	Уклон i , м/м	Скорость заполнения h/d (%)	Скорость заполнения h , мм	Скорость v , м/с	Разница вход и выход Дельта H , м
К-1, К-1а	43,5	400	343	1756	0,003	55	189	0,81	5,27
К-2	7,6	250	213	424	0,003	34	72	0,51	1,27
К-3	51,1	400	343	658	0,003	61	209	0,84	1,97
К-4	2,5	250	213	612	0,003	20	43	0,37	1,84
К-5, К-5а	165,8	630	535	924	0,003	61	326	1,12	2,77
К-6	4,1	250	213	212	0,003	25	53,25	0,44	0,636
К-7	18,1	250	213	1248	0,004	65	138	0,71	4,99
К-8	199,7	630	535	391	0,003	70	375	1,16	1,17

1 Результаты гидравлических расчетов самотечных канализационных сетей

Определение гидравлически **наивыгоднейшего сечения** является не просто технической задачей, а стратегическим решением, обеспечивающим экономическую устойчивость предприятий водного хозяйства. Гидравлические расчеты, проведенные в рамках проекта реконструкции и расширения системы водоотведения города Нукуса, позволяют сделать следующие выводы:

-Подобранные диаметры труб (DN 250–630 мм) для расчетного расхода сточных вод (от **2,5 л/с** до **199,7 л/с**) полностью обеспечивают бесперебойную работу сети и возможность принятия будущих нагрузок.

- Скорость потока в коллекторах зафиксирована в основном в диапазоне от **0,5 м/с** до **1,16 м/с**. Данный показатель считается достаточным для предотвращения накопления отложений в трубах и сохранения способности системы к самоочищению.

-Установлено, что степень наполнения труб (h/d) даже при пиковых нагрузках не превышает **70%**. Это позволяет сохранять необходимое пространство для циркуляции воздуха (вентиляции) в сети и создавать дополнительный резервный объем на случай чрезвычайных ситуаций.

-Сохранение показателя **уклона** на одинаковом и оптимальном уровне ($i=0,003-0,004$) на всех участках свидетельствует об эффективном использовании рельефа местности и достижении экономии энергозатрат за счет обеспечения **самотечного** режима движения сточных вод.

На основании представленных гидравлических расчетов проект является технически обоснованным и полностью соответствует требованиям действующих строительных норм и правил

Список использованной литературы

1. **Турлыбаев З. Т. и др.** «Aqaba suvlardi tazalaw texnologiyasi». Нукус 2024
2. **Турлыбаев З. Т.** «Aqaba suvlardi agiziw tarmaqlarin joybarlaw». Нукус 2021
3. **ШНиП (ҚМҚ) 2.04.03-96.** Канализация. Наружные сети и сооружения / Государственный комитет Республики Узбекистан по архитектуре и строительству.