

**УДК 628:62-192.69.003**  
**МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОМПЛЕКСНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**  
**И ОБОСНОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ**  
**ВНЕШНИХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

*А.Н.Меженский*

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры*  
*г. Макеевка*

Актуальность рассматриваемой проблемы определена основными задачами реформирования жилищно-коммунального хозяйства, в соответствии с научно-технической доктриной и государственной политикой отраженных в Программе реформирования и развития жилищно-коммунального хозяйства на 2002-2005 года и на период до 2010 года, одобренной Постановлением Кабинета Министров Украины от 14.02.2002 г. № 189, Закона Украины “О общегосударственной программе развития водного хозяйства” и Постановления Кабинета Министров Украины от 17.11.1997 р. № 1269 “О программе развития водопроводно-канализационного хозяйства” с изменениями, внесенными Постановлением Кабинета Министров Украины от 01.06.02 № 721, и Отраслевой научно-технической программы на 2003-2007 года “Наука” Госжилкомунхоза Украины, 2003, в развитии области водопроводно-канализационного хозяйства. Это прежде всего: создание четко ориентированной законодательно - институциональной и нормативно-методической базы в сфере водопроводно-канализационного хозяйства; ресурсосбережение (снижение затрат материальных и энергетических ресурсов, технический и энергетический аудит (паспортизация) систем, разработка универсальной методики накопления и регулирование банка данных и знаний по комплексной эксплуатационной надежности и технологичности проектных решений и управления обращением проектов при их создании и реализации; энергосберегающие технологии ремонтно-восстановительных работ) и др.; организация и сопровождение разработки региональных программ (пилотных проектов) реформирования предприятий водопроводно-канализационного хозяйства как одной из наиболее важных экологических и социально-экономических задач жизнедеятельности и жизнеспособности общества. Действующие на настоящее время в жилищно-коммунальном хозяйстве Украины водопроводные и канализационные системы имеют низкую проектную технологичность и эксплуатационную надежность функционирования. Многие из них находятся в аварийном состоянии и требуют срочного проведения ремонтно-восстановительных работ или полной замены. Так, в городах и поселках Луганской области из общей длины водопроводных трубопроводов в разводящих сетях, которые равняется более 10000 км, 4500 км требуют капитальных ремонтов или полной замены; а из 3000 км канализационных трубопроводов больше 890 км находятся в аварийном состоянии. Для восстановления жизнедеятельности и жизнеспособность проектов аварийных трубопроводов нужны значительные капитальные вложения средства. В условиях ограниченных возможностей финансовых

средств для реконструкции водопроводных и канализационных сетей особую актуальность приобретает использование малозатратных, проектно-ориентированных на полезный результат технологий комплексной оценки качества проектов, санации и реновации трубопроводов водопроводно-канализационного хозяйства и управление поведением проекта при их реализации.

Данные исследования выполнены в соответствии с “Основными задачами организационно-технических направлений Госкомитета Украины по вопросам жилищно-коммунального хозяйства” - раздел “Задача и приоритеты развития подотрасли водопроводно-канализационного хозяйства”, что осуществляется на кафедре технологии, организации и охраны безопасности жизнедеятельности Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (ДонНАСА).

Основная цель работы это исследование взаимосвязанностей и установление закономерностей между надежностью и технологичностью объектов водопроводно-канализационного хозяйства, научное обоснование и разработка информационной модели функциональной системы комплексного проектирования и управление проектами трубопроводов водоподдачи и водоотведения с оценкой надежности и технологичности модели с выбором обоснованных расчетом вариантов организационно-технологических решений.

Информационная модель системно-комплексного проектирования внешних сетей трубопроводов содержит шесть функциональных подсистем (блоков): инвестиционно-организационной (проектно-сметной) документации, проектно-технологической документации на строительство трубопровода, разработка организационно-технологической документации на эксплуатацию трубопровода, проектно-технологической документации на реконструкцию трубопровода и на его снос (консервацию).

При разработке информационной модели и методики расчета показателей надежности трубопроводов (третий уровень) использованная трехкомпонентная организационно-технологическая модель генезиса (ОТГ) отказов трубопроводов (производственные дефекты в элементах трубопроводов, динамические естественные и техногенные влияния на трубопровод, дефекты старения конструкций трубопровода) в полном жизненном цикле проекта, которое есть результатом проведенной паспортизации и анализа совокупности всех известных факторов, которые стали причинами отказов трубопроводів. (рис. 1) Общая схема системно-комплексного проектирования трубопроводов приведена на рис.5.

На рис. 1 отражена упрощенная трехкомпонентная схема информационной модели. В оси ординат на рисунке отвечает интенсивность отказов  $\lambda(t)$ , вехе абсцисс – время  $t$  работы трубопровода от его введения в эксплуатацию к достижению среднего срока его действия  $T_{cp}$ .

Цифрами обозначенные: 1 – интенсивность отказов за счет производственных дефектов; 2 – интенсивность отказов, вызванных действием внешних влияний; 3 – интенсивность отказов трубопровода от дефектов его старения.

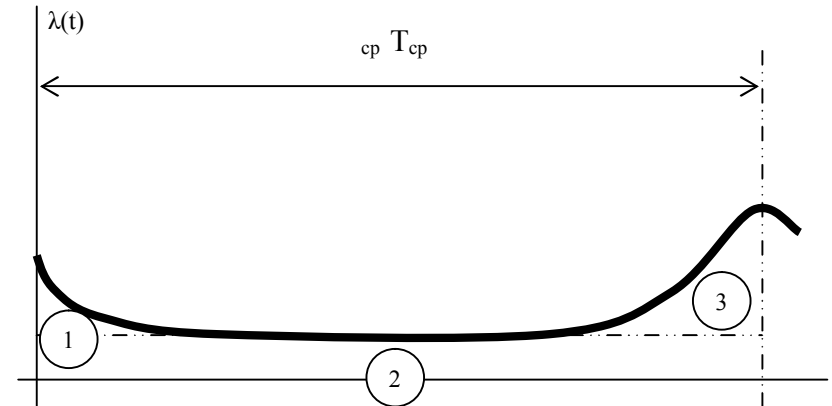


Рис. 1. Схема трехкомпонентной модели генезиса отказов трубопровода

Каждому виду отказов отвечает отдельный закон распределения вероятностей, уменьшаемый в процессе пуско-наладочных работ поток отказов, вызванных производственными дефектами, может быть отображенной показательной функцией, которая используется при моделировании процессов распада: стационарный поток отказов трубопровода, вызванных действием внешних факторов адекватно отображается экспоненциальным законом распределения вероятностей событий; отказ, в следствие дефектов старение трубопровода, отображаются законом нормального распределения вероятностей (законом Гауса). В соответствии с приведенными законами распределения вероятностей определяются показатели надежности трубопроводов в отдельности для каждого вида отказов.

Так, вероятности безотказной работы трубопровода с учетом влияния только от производственных дефектов  $P_n(t_i)$ , определяется по формулам:

$$P_n(t_i) = 1 - F(t_i); \quad F(t_i) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^i m_i(t_k),$$

где  $F(t_i)$  – функция распределения отказов;

$N$  – количество элементов (труб, соединений) на испытательных участках трубопровода;

$m_i(t_k)$  – количество отказов по этапам испытаний.

Вероятность безотказной работы трубопровода с учетом влияния только внешних факторов  $P_s(t_o)$  определяется по формуле:

$$P_s(t_o) = e^{-\lambda t_o},$$

где  $\lambda$  – параметр экспоненциального распределения вероятностей;

$t_o$  – время работы трубопровода, для которого выполняется расчет.

В общем виде параметр  $\lambda$  определяется на основании обобщения

статистических данных и экспертных оценок по формуле:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \nu_i P_i + \sum_{j=1}^m \tau_j P_{\tau_j},$$

где  $n$  – количество динамических естественных процессов, которые проявляются на трассе трубопровода;

$\nu_i$  – частота  $i$ -того естественного процесса;

$P_i$  – вероятность появления разрушений трубопровода от действия  $i$ -того процесса;

$m$  – количество техногенных динамических процессов;

$\tau_j$  – частота  $j$ -того техногенного процесса;

$P_{\tau_j}$  – вероятность появления разрушений трубопровода от действия  $j$ -того процесса.

Вероятность безотказной работы трубопровода с учетом влияния только отказов, вызванных дефектами его старения  $P_c(t_0)$ , определяется по формуле:

$$P_c(t_0) = 1 - F_0 \left( \frac{t_0 - \alpha_n}{\sigma_n} \right),$$

где  $\alpha_n$  и  $\sigma_n$  – проектные значения параметров нормированного распределения вероятностей;

$t_0$  – время работы трубопровода, для которого выполняется расчет;

$F_0 \left( \frac{t_0 - \alpha_n}{\sigma_n} \right)$  – табулированная функция (из таблиц).

Значение  $\alpha_n$  в общем случае определяется по формуле:

$$\alpha_n = \frac{(\alpha + 1) \cdot K^m}{K_r},$$

где  $K$  – коэффициент интенсивности разрушение стенок труб;  $m$  – показатель стойкости материала труб (из таблицы);

$K_r$  – коэффициент глубины размещения трубопровода;

$\alpha$  – нормативное значение параметру нормального распределения (из таблицы в зависимости от назначения трубопровода, материалу и диаметру труб).

Суммарное значение показателя вероятности безотказной работы трубопровода  $P(t_0)$  для каждого времени  $t_0$  его функционирования с учетом влияния отказов всех трех видов определяется по формуле:

$$P(t_0) = P_n(t_0) + P_p(t_0) + P_r P_r P_c(t_0) - 2$$

Аналогично осуществляется вычисление других показателей надежности трубопроводов.

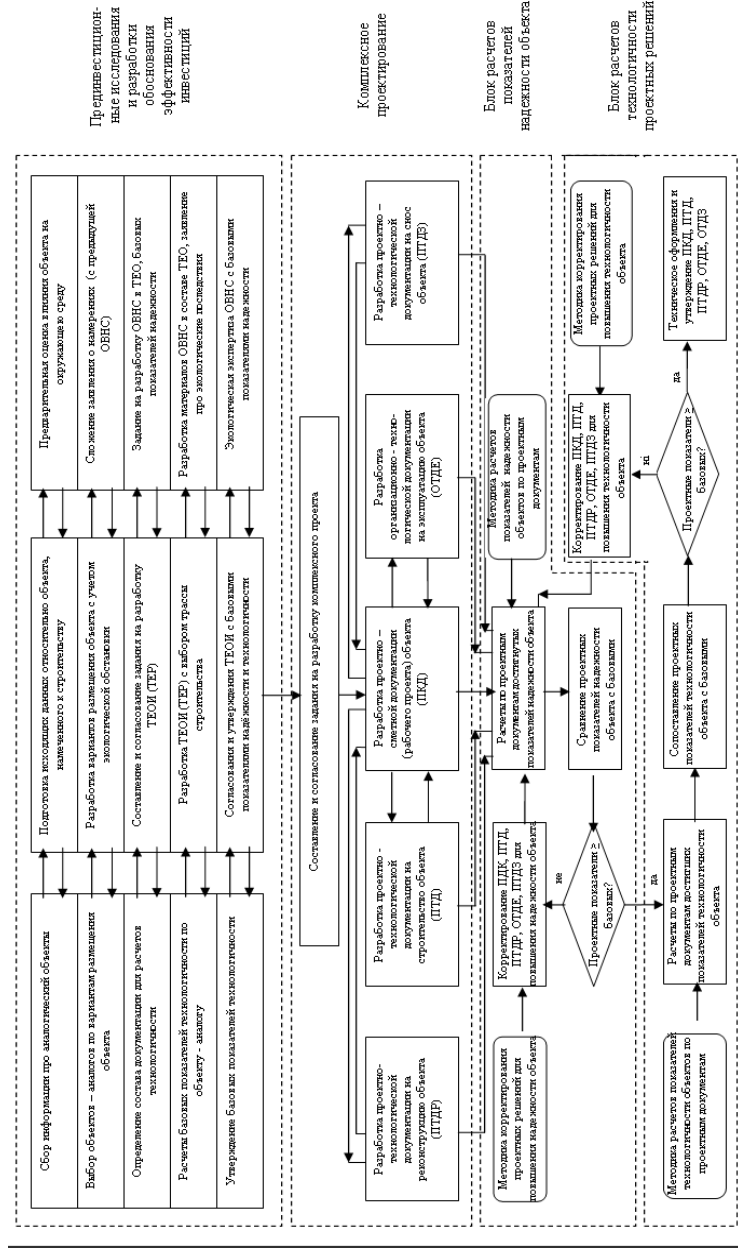


Рис.3. Схема системы – комплексного проектирования, реализации, материаловедения, машиностроения, строительства сетей трубопроводов

Уровень расчетов технологичности проектных решений содержит блок расчетов технологичности и блок корректирования проектных решений для повышения их технологичности, а также методику расчетов комплексной технологичности и методику корректирования проектных решений для повышения технологичности проектируемого трубопровода.

Расчеты индексных  $J$  и комплексных  $K$  показателей технологичности трубопровода осуществляются по формулам, приведенным в таблицы. Символами  $H$  обозначенные нормативные показатели стоимости (в гривнах), трудоемкости (в человеко-днях), рабочего времени (в изменениях) на 1 км трубопровода или на отдельную его участок. Показателям  $H_b$  отвечают высшие значения в области,  $H_c$  – средние. При этом по численному значению  $H_b < H_c$ .

Символами  $\Pi$  в таблице обозначены соответствующие проектные показатели стоимости, трудоемкости, рабочего времени. Они определяются на основании проектов, смет, калькуляций и т.п..

Комплексные и индексные показатели не имеют расхождений. Их числовые значения находятся в границах от 1 до 2. При этом, чем больше показатель, тем выше уровень технологичности. Коэффициенты весомости стоимости, трудоемкости и рабочего времени обозначенные  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ , и  $\alpha_3$  соответственно.

Численные значения этих коэффициентов определяются на основании экономических расчетов и (или) экспертных оценок. Их сумма может быть меньше или равняться 1. Коэффициенты весомости показателей по стадиям (строительство, эксплуатация I, реконструкция, эксплуатация II, снос) обозначенные  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ ,  $\beta_4$  и  $\beta_5$ . Их численные значения определяются аналогично коэффициентам  $\alpha$ .

В развитие вышеприведенных положений разработано методическое пособие [1], посвященное вопросам расчетов показателей надежности и технологичности проектируемых, реконструируемых и выводимых из эксплуатации трубопроводов водоподдачи и водоотведения. Оно в значительной мере восполняет отсутствие справочно-инженерных методик оценки надежности и технологичности таких трубопроводов при обосновании проведения планово-предупредительных ремонтов, восстановления и инженерной защиты сооружений жилищно-коммунального хозяйства.

Конструктивной основой разработанных методик и результаты практики оценки показаний надежности и технологичности трубопроводов подтвердили методологические предпосылки которые отражены в работах [2,3].

В первой методике представляется расчетный аппарат и необходимые нормативные параметры для расчетов надежности трубопроводов водоотдачи и водоотведения по их проектным материалам. Основой методики является трехкомпонентная модель отказов трубопроводов, учитывающая особенности генезиса трех их видов – от производственных дефектов, от старения конструкций и от внешних динамических воздействий на трубопроводы в периоды их эксплуатации. В методике показаны особенности расчетов базовых и проектных показателей надежности трубопровода и способы их сопоставления.

Таблица 1

Формулы расчетные показателей теплопроводности в эквивалентном слое процесса

Наименование показателей, единицы измерения и коэффициенты в величии	Строительство (S) $\beta_1$	Эксплуатация I (Z) $\beta_2$	Реконструкция (P) $\beta_3$	Эксплуатация II (B) $\beta_4$	Снос (выход с эксплуатации) (Y) $\beta_5$
Полная стоимость, гривна, $\alpha_1$ $\Sigma$	$H^S_{\beta\Sigma}$	$H^Z_{\beta\Sigma}$	$H^P_{\beta\Sigma}$	$H^B_{\beta\Sigma}$	$H^Y_{\beta\Sigma}$
	$H^S_{C\Sigma\Sigma}$	$H^Z_{C\Sigma\Sigma}$	$H^P_{C\Sigma\Sigma}$	$H^B_{C\Sigma\Sigma}$	$H^Y_{C\Sigma\Sigma}$
	$\Pi^S_{\Sigma}$	$\Pi^Z_{\Sigma}$	$\Pi^P_{\Sigma}$	$\Pi^B_{\Sigma}$	$\Pi^Y_{\Sigma}$
	$J^S_{\Sigma} = 1 + \frac{H^S_{C\Sigma\Sigma} - \Pi^S_{\Sigma}}{H^S_{C\Sigma} - H^S_{\beta\Sigma}}$	$J^Z_{\Sigma} = 1 + \frac{H^Z_{C\Sigma\Sigma} - \Pi^Z_{\Sigma}}{H^Z_{C\Sigma} - H^Z_{\beta\Sigma}}$	$J^P_{\Sigma} = 1 + \frac{H^P_{C\Sigma\Sigma} - \Pi^P_{\Sigma}}{H^P_{C\Sigma} - H^P_{\beta\Sigma}}$	$J^B_{\Sigma} = 1 + \frac{H^B_{C\Sigma\Sigma} - \Pi^B_{\Sigma}}{H^B_{C\Sigma} - H^B_{\beta\Sigma}}$	$J^Y_{\Sigma} = 1 + \frac{H^Y_{C\Sigma\Sigma} - \Pi^Y_{\Sigma}}{H^Y_{C\Sigma} - H^Y_{\beta\Sigma}}$
	$H^S_{\beta\Sigma}$	$H^Z_{\beta\Sigma}$	$H^P_{\beta\Sigma}$	$H^B_{\beta\Sigma}$	$H^Y_{\beta\Sigma}$
Теплопроводность чел. дн., $\alpha_2$ Т	$H^S_{C\Sigma}$	$H^Z_{C\Sigma}$	$H^P_{C\Sigma}$	$H^B_{C\Sigma}$	$H^Y_{C\Sigma}$
	$\Pi^S_{\Gamma}$	$\Pi^Z_{\Gamma}$	$\Pi^P_{\Gamma}$	$\Pi^B_{\Gamma}$	$\Pi^Y_{\Gamma}$
	$J^S_{\Gamma} = 1 + \frac{H^S_{C\Sigma} - \Pi^S_{\Gamma}}{H^S_{C\Sigma} - H^S_{\beta\Sigma}}$	$J^Z_{\Gamma} = 1 + \frac{H^Z_{C\Sigma} - \Pi^Z_{\Gamma}}{H^Z_{C\Sigma} - H^Z_{\beta\Sigma}}$	$J^P_{\Gamma} = 1 + \frac{H^P_{C\Sigma} - \Pi^P_{\Gamma}}{H^P_{C\Sigma} - H^P_{\beta\Sigma}}$	$J^B_{\Gamma} = 1 + \frac{H^B_{C\Sigma} - \Pi^B_{\Gamma}}{H^B_{C\Sigma} - H^B_{\beta\Sigma}}$	$J^Y_{\Gamma} = 1 + \frac{H^Y_{C\Sigma} - \Pi^Y_{\Gamma}}{H^Y_{C\Sigma} - H^Y_{\beta\Sigma}}$
	$H^S_{\beta\Sigma}$	$H^Z_{\beta\Sigma}$	$H^P_{\beta\Sigma}$	$H^B_{\beta\Sigma}$	$H^Y_{\beta\Sigma}$
	$H^S_{C\Sigma}$	$H^Z_{C\Sigma}$	$H^P_{C\Sigma}$	$H^B_{C\Sigma}$	$H^Y_{C\Sigma}$
Рабочие в сменах, смены, $\alpha_3$ Д	$\Pi^S_{\Delta}$	$\Pi^Z_{\Delta}$	$\Pi^P_{\Delta}$	$\Pi^B_{\Delta}$	$\Pi^Y_{\Delta}$
	$J^S_{\Delta} = 1 + \frac{H^S_{C\Sigma} - \Pi^S_{\Delta}}{H^S_{C\Sigma} - H^S_{\beta\Sigma}}$	$J^Z_{\Delta} = 1 + \frac{H^Z_{C\Sigma} - \Pi^Z_{\Delta}}{H^Z_{C\Sigma} - H^Z_{\beta\Sigma}}$	$J^P_{\Delta} = 1 + \frac{H^P_{C\Sigma} - \Pi^P_{\Delta}}{H^P_{C\Sigma} - H^P_{\beta\Sigma}}$	$J^B_{\Delta} = 1 + \frac{H^B_{C\Sigma} - \Pi^B_{\Delta}}{H^B_{C\Sigma} - H^B_{\beta\Sigma}}$	$J^Y_{\Delta} = 1 + \frac{H^Y_{C\Sigma} - \Pi^Y_{\Delta}}{H^Y_{C\Sigma} - H^Y_{\beta\Sigma}}$
	$H^S_{\beta\Sigma}$	$H^Z_{\beta\Sigma}$	$H^P_{\beta\Sigma}$	$H^B_{\beta\Sigma}$	$H^Y_{\beta\Sigma}$
	$H^S_{C\Sigma}$	$H^Z_{C\Sigma}$	$H^P_{C\Sigma}$	$H^B_{C\Sigma}$	$H^Y_{C\Sigma}$
	$\Pi^S_{\Delta}$	$\Pi^Z_{\Delta}$	$\Pi^P_{\Delta}$	$\Pi^B_{\Delta}$	$\Pi^Y_{\Delta}$
Комплексно-показательные показатели II уровня Комплексный показатель I уровня	$K_{SH}$	$K_{ZH}$	$K_{PH}$	$K_{BH}$	$K_{YH}$
	$K_I = \frac{\beta_1 K_{SH} + \beta_2 K_{ZH} + \beta_3 K_{PH} + \beta_4 K_{BH} + \beta_5 K_{YH}}{\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 + \beta_5}$				
$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$ $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$	$K_{SH} = \frac{\alpha_1 J^S_{\Sigma} + \alpha_2 J^S_{\Gamma} + \alpha_3 J^S_{\Delta}}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3}, K_{ZH} = \frac{\alpha_1 J^Z_{\Sigma} + \alpha_2 J^Z_{\Gamma} + \alpha_3 J^Z_{\Delta}}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3}, K_{PH} = \frac{\alpha_1 J^P_{\Sigma} + \alpha_2 J^P_{\Gamma} + \alpha_3 J^P_{\Delta}}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3}, K_{BH} = \frac{\alpha_1 J^B_{\Sigma} + \alpha_2 J^B_{\Gamma} + \alpha_3 J^B_{\Delta}}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3}, K_{YH} = \frac{\alpha_1 J^Y_{\Sigma} + \alpha_2 J^Y_{\Gamma} + \alpha_3 J^Y_{\Delta}}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3}$				

Получаемые на основании проектных решений трубопровода проектные показатели его надежности должны быть не ниже расчетных или заданных соответствующих базовых показателей.

Во второй методике приведены порядок и способы корректировки проектных решений трубопроводов для повышения их надежности до уровня соответствия базовым показателям. Представлены решения по сокращению производственных дефектов трубопроводов, по их защите от внешних динамических воздействий и по повышению их долговечности.

Третья методика содержит принципы и конкретные методы расчетов базовых и проектных показателей технологичности трубопроводов по их проектным материалам. В основу методики положены принципы расчетов комплексных показателей технологичности, учитывающих интегральную технологичность объектов на ряде стадий их строительства и эксплуатации. Представлены методы расчетов индексных показателей технологичности на основании натуральных показателей, и комплексных на основании индексных, а также способы сопоставления проектных и базовых показателей.

Четвертая методика содержит методы корректировки проектных решений трубопроводов для повышения их технологичности, как комплексной, так и локальной (для отдельных стадий строительства и эксплуатации).

Все четыре методики в комплексе используются для расчетов остаточной надежности ресурса действующих трубопроводов по материалам их обследований и для расчетов надежности и технологичности проектных решений при их реконструкции, обосновывая сроки проведения планово – предупредительных ремонтов.

Методическое руководство предназначено для инженерно – технических работников жилищно-коммунального хозяйства, студентов старших курсов ВУЗов и колледжей, а также слушателей факультетов профессиональной переподготовки и повышения квалификации в области строительства, реконструкция и эксплуатация систем водоподачи и водоотведения, специальностей городского хозяйства и строительства.

Внедрение методик расчетов надежности и технологичности трубопроводов при их паспортизации разрешает получить обоснованные оценки остаточной надежности разных их участков, который обеспечивает оптимизацию выбора наименее надежных участков для проведения первоочередных планово-предупредительных ремонтов. Данный подход разрешает свести к минимуму появление аварийных ситуаций на трубопроводах и проведение соответствующих аварийных ремонтов. По данным Академии жилищно-коммунального хозяйства Украины, стоимость аварийных ремонтов внешних сетей водоподачи и водоотвод более чем в 3 разы превышает стоимость соответствующих планово-предупредительных работ. Таким образом, предупреждение аварийных ситуаций на трубопроводах разрешает снизить общие затраты на их ремонт в 2-3 разы.

Внедрение профилактических мероприятий из повышения надежности



внешних трубопроводов внешней водоподачи и водоотведения обеспечивает годовой экономический эффект в расчета на 1 км соответствующих трубопроводов от 1,3 тыс. гривен до 30 тыс. гривен.

Методология исследований введена в учебный процесс Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Отдельные положения работы были реализованы в порядке формирования региональной политики и программы социально - экономического развития Луганской области и подготовки территориальных руководящих документов (ТКД) в области системного проектирования комплексной реконструкции городских территорий. В частности правила планирования, организации и управления эксплуатацией, проведением экспертных расчетов сроков планово-предупредительных ремонтов жилых домов и инженерных сетей, разработки нормативно - методических документов и подготовке аналитических материалов к Постановлению Кабинета Министров Украины от 13.04.2004 г. № 919 «Об утверждении программы реформирование и развития водопроводно-канализационного хозяйства Луганской области на 2004-2005 г. и период до 2010 г.» и др.

На основе предложенной системы параметров эксплуатационной надежности и строительной технологичности на стадии организационно-технологического проектирования подготовки городского хозяйства и строительного производства, и управления изменениями решений в полном жизненном цикле проекта внешних трубопроводных сетей, могут решаться и ряд других дополнительных практических задач, которые возникают в процессе проведения исследований по обоснованию инвестиционно-инновационной эффективности, предпроектной и проектно-строительной деятельности, инновационной технологии диагностики и восстановления систем трубопроводов и проведении инженерно-экологического мониторинга.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Меженский А.Н., Скоблицов В.В., Насонкина Н.Г., Уваров П.Е. Методическое руководство по обоснованию надежности и технологичности внешних сетей водоснабжения и канализации при комплексном проектировании, управлении проектами и инженерном мониторинге. – Луганск, изд-во ВНУ им. В. Даля, 2004.-140с.
2. Меженский А.Н., Уваров Е.П. Методология и технология комплексного обследования как составная часть проектной подготовки и управления проектами реконструкции и ликвидации инженерных сетей. Новини науки Придніпров'я. Дніпропетровськ, Дніпро – VAL, 2004. № 4. с. 34-39.
3. Уваров Е.П., Меженский А.Н., Вишневыкий А.С. Методика расчетов базовых, проектных показателей комплексной технологичности трубопроводов водоподачи и водоотведения. Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. Серія - Інженерні системи та техніка безпеки у будівництві. № 6. 2001. с.63-69.