

УДК 69.002.5

## АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА НАВЕСНОГО СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОКЛАДКИ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

Уваров П.Е., Татарченко Г.О., Шпарбер М.Е., Юзин А.А.

## ASPECTS OF MODELING THE RELIABILITY OF THE LIFE CYCLE ATTACHMENTS SPECIALIZED EQUIPMENT FOR LAYING UNDERGROUND PIPE NETWORKS

Uvarov P., Tatarchenko G., Shparber M., Uzin A.

*Рассматриваются аспекты моделирования жизненного цикла, и предлагается методика определения надежности навесного оборудования для прокладки трубопроводов, с целью определения искомых временных и надежностных параметров комплексной технологичности подземного трубопроводного строительства. Приведены концептуально-методологические аспекты теоретических исследований, которые могут послужить основой для разработки нового оборудования трубопроводного строительства, формируемых на базе принципов комплексной технологичности; а также для исследования оптимальных режимов создания, эксплуатации и санации строительной техники.*

**Ключевые слова:** *жизненный цикл, технологичность и надежность устройства, оптимальные режимы эксплуатации, моделирование, прокладка трубопроводов, навесное специализированное оборудование*

**Введение.** В условиях современной экономики важнейшее значение при проектировании подземного трубопроводного строительства имеет эксплуатационная надежность трубопроводов и их экономичность в полном жизненном цикле от обоснований решений, прокладки сетей, их санации, ремонта и реконструкции до вывода из эксплуатации, ликвидации и переработки строительных отходов.

Интегральным показателем экономичности и эффективности системы подземного трубопроводного строительства является комплексная технологичность проекта – характеристика технологичности четырех подсистем: объемно-конструктивной компоновки внешних сетей, их изготовления и транспортирования и соответствие их требованиям технологии и организации строительного цикла производства, эксплуатационно-реконструктивно-ремонтного и ликвидационного цикла стадий и этап

ов циклов. Именно цикличность как универсальная закономерность развития и преобразования полного жизненного цикла подземного трубопроводного строительства внешних сетей водоподачи и водоотведения открывает новые концептуально-методологические возможности проведения системного анализа в исследованиях проблемы изучения резервов экономичности за счет эмерджентности – свойств системы, порождаемых наличием определенных связей между элементами, этапами и стадиями системы, что обеспечивает получение дополнительного эффекта эмерджентности, когда при взаимодействии обеспечивается увеличение их общего эффекта до величины, большей, чем сумма эффектов от тех же независимо действующих элементов, стадий и этапов. Созданные на этой основе средства (оборудование) комплексной механизации представляет собой нечто большее, а иногда и качественно отличное, чем сумма составляющих ее элементов и, как правило, обладает новыми универсальными свойствами, которых нет у ее элементов [1, 2].

**Постановка проблемы.** Одной из важных особенностей проблемы комплексной технологичности, представляемый нами как процесс динамической взаимосвязи основных структурно-функциональных подсистем, устанавливающий требования к разработке новых и совершенствованию существующих средств комплексной механизации, связывающих на причинно-следственной основе параметрические характеристики сборных железобетонных конструкций внешних сетей, их транспортабельность, организационно-технологическую структуру методов возведения (прокладки), технологии испытания, эксплуатации, ремонта, реконструкции и ликвидации.

Функционирование такой системы подвержено воздействию большого числа факторов, обусловленных организационными, технологическими и ресурсными условиями производства работ, высокой надежности жизненного цикла специализированного оборудования (оценки и обоснования требований к надежности создаваемых экспериментальных средств и оборудования).

Осознание актуальности исследования данной проблемы и постановка соответствующих задач потребовали развития теории и практики технологии строительных процессов, разработки новых строительных технологий подземного трубопроводного строительства с использованием современных технических средств и оборудования [3, 9].

**Анализ последних достижений и публикаций.** Основные аспекты комплексного учета требований технологичности трубопроводов водоотведения и водоотведения на разных этапах и стадиях жизненного цикла и времени в системе подземного трубопроводного строительства достаточно полно представлены в работах ученых и специалистов: Гончаренко Д.Ф., Коринько И.В., Готовцева В.И., Гоголашвили Н.О., Хмара Л.А., Теплицкого А.Х., Меженского А.Н., Зотова Н.И., Маслака В.Н. и др. исследователей.

В отмеченных работах методологически и статистически обоснована необходимость обязательного анализа показателей строительной технологичности, надежности, диагностики и санации, ремонта и восстановления подземных трубопроводов в их полном жизненном цикле. Однако системотехнические проблемы исследования взаимоувязки и преемственности организационно-технологических циклов на различных стадиях отработки комплексной технологичности, сквозной технологичности проектирования жизненного цикла проектов-объектов строительства, связывающей параметрические ряды конструкций трубопроводного строительства со структурой и функциями стадий цикла, конструктивной преемственностью по отношению к созданию универсальных средств комплексной механизации сборки, монтажа, эксплуатации. Санации и ликвидации (разборки) на различных переделах инвестиционно-строительного производства еще не решены, требуют проведения идентификации связей между составляющими частями и формулировку функций их элементов с определением надежности и эффективности качества предлагаемых средств механизации, надежности и технологичности внешних сетей водоснабжения и водоотведения при комплексном их проектировании, управлении проектами и инженерном мониторинге. Одним из определяющих условий объективности таких методов оценки проектов является методика расчета надежности предлагаемых универсальных средств и оборудования [5], обеспечивающего принципы и основные параметры комплексной технологичности, полного жизненного цикла.

Цель статьи. Проанализировать аспекты моделирования жизненного цикла, и предложить методику определения надежности навесного оборудования, с целью определения искомых временных и надежностных параметров комплексной технологичности подземного трубопроводного строительства.

Основное содержание работы. Важным элементом жизненного цикла строительной машины, конструируемой на принципах комплексной технологичности является как качество отдельно взятого элемента процесса, а следовательно, и машины в целом, так и условия ее эксплуатации [3, 7] учитывающие эти принципы.

Правильная, эффективная система проведения проектных экспериментов и апробация их в оценке и адаптациях к этим принципам эксплуатации позволяет сократить или удлинить жизненный цикл машины [4].

С точки зрения теории надежности вероятность надежной работы машины является произведением вероятностей надежности работы его отдельных узлов, агрегатов и деталей.

$$P_{\text{тр}} = \prod_{i=1}^m P_i, \quad (1)$$

$P_{\text{тр}}$  – надежность машины;

$P_i$  – надежность работы  $i$ -го элемента машины, отражающего ту или иную связь в комплексной технологичности процесса;

$m$  – количество элементов в машине.

Вероятность безотказной работы отдельных составляющих элементов машины можно определить в зависимости от интенсивности отказов  $\lambda$  и заложенного на этапах и стадиях жизненного цикла в паспорте, проектных и производственных экспериментах машины времени работы элемента  $T_3$ . Отказ каждого элемента машины из-за потери прочности явление довольно редкое, поэтому закон распределения времени между «отказами» можно принять экспоненциальным [4]

$$P_3 = \exp(-\lambda \cdot T_3). \quad (2)$$

Рассмотрим методику расчета надежности средств механизации, которая связана с продолжительностью жизненного цикла, на примере предложенного и реализованного универсального навесного специализированного оборудования (манипулятора) для прокладки подземных трубопроводов [2, 10]. Оборудование, предназначено для монтажа железобетонных труб с раструбно-винтовым соединением отражающих принципы комплексной технологичности.

В научной работе проф. Л.А.Хмары [8] предложен метод формирования конструктивных и технических решений на этапе поиска и проектирования новых рабочих органов и навесного оборудова-

ния для строительных машин и методические положения по расчету надежности и строительной технологичности на основе трехкомпонентной модели интегрального потока отказов трубопроводов и результатов исследования их причин [5, 6], выполненных под руководством проф. ДонНАСА Е.П.Уварова.

Проведенный системный анализ методологических основ проектирования и требований комплексной технологичности проекта и реализация разработанных методов позволили установить основные направления развития совершенствования конструкций специализированного оборудования и железобетонных труб водоподдачи и водоотведения с целью получения экономии энергетических, материальных и трудовых ресурсов и разработки основных элементов бездефектной технологии подземного трубопроводного строительства.

Согласно предложенной методике объект исследований делится на соответствующие части. Исследование частей осуществляется с последующим объединением в более эффективную конструкцию, учитывающую все технологические переделы, отраженные в этапах и стадиях цикличности процессов.

На первом этапе создания навесного оборудования и рабочих органов объект исследований разделяется на  $n$  элементов. Новые решения формируются в два этапа. В первом случае новая структура формируется из традиционных элементов без их изменения. Более высокий уровень получения нового решения предусматривает формирование новой структуры объекта из новых модифицированных элементов.

При рассмотрении по данной методике рабочего процесса технологии трубокладочных работ в качестве системного объекта, а рабочего оборудования как подсистемы рабочего процесса трубокладочного устройства, были получены запланированные в гипотезе результаты.

Достижению их способствовало использование математического аппарата описания целевой функции рабочего процесса исполнительного органа трубокладочного устройства, включающего монтажную и испытательную части. При этом сделан вывод о том, что рабочий орган, предназначенный для выполнения только одной функции, для повышения эффективности взаимодействия со средой может состоять из набора элементов разных размеров, формы и назначения.

Так, навесное устройство в соответствии со структурой математической модели расчленяется на пять основных укрупненных узлов:

А – узел захвата и удержания ранее уложенной трубы;

Б – узел захвата и удержания укладываемой трубы;

В – узел вращения укладываемой трубы;

Г – узел горизонтальной подачи укладываемой трубы;

Д – узел подвески.

А теперь введем некоторые определения. Под интенсивностью отказа элемента ( $\lambda$ ) будем понимать вероятность «отказа» элемента в единицу времени после данного момента времени при условии, что «отказ» до этого момента не возник. Интенсивность «отказов» можно выразить также через отношение числа отказавших элементов за определенный интервал времени к числу исправных элементов к началу рассматриваемого промежутка времени. Определим численное значение этого показателя надежности.

Пусть одновременно исследуются  $N$  однородных элементов устройства. Выберем некоторый интервал времени  $\Delta t$ , начало которого совпадает с интересующим нас моментом  $t$  – времени протекавшего с начала испытаний. Обозначим через  $N(t)$  – число элементов, оставшихся исправными к моменту  $t$ ;  $n(t)$  – число элементов, отказавших за промежуток времени  $(t, t + \Delta t)$ . На единицу времени придется среднее число отказов  $n(t)/\Delta t$ . Разделим эту величину на число исправных к моменту  $t$  элементов  $N(t)$ .

Тогда для приближенного вычисления «отказов» получим выражение

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N(t) \times \Delta t}. \quad (3)$$

Характеристику  $\lambda(t)$  можно рассматривать еще и так: величина  $\lambda(t)dt$  есть условная вероятность отказа элемента устройства на участке времени  $(t, t + dt)$  при условии, что до момента времени  $t$  (начала эксплуатации) он работал безотказно.

Не вызывает сомнений, что вероятность отказа деталей зависит от условий их эксплуатации, например, от интенсивности нагрузки на устройство.

Подставляя выражение (2) в выражение (1), получим

$$P_s = \exp(-\lambda \times T_s). \quad (4)$$

В процессе эксплуатации вероятность безотказной работы устройства уменьшается до такой степени, что начинаются массовые «отказы» и устройство требует ремонта. Замена всего устройства, т.е. его утилизация (последний этап жизненного цикла) и приобретение нового по экономическим соображениям не всегда целесообразно. Однако некоторые детали поддаются восстановлению. Некоторые элементы устройства не восстанавливаются. Таким образом, все элементы устройства можно разделить на три группы:

1) элементы не подвергающиеся восстановлению в течении всего срока службы устройства и их мы назовем основными;

2) элементы, используемые в течении всего срока службы, но интенсивность «отказа» этих элементов зависит от числа ремонтов. Эти элементы можно назвать **восстанавливаемыми**;

3) элементы устройства, используемые в течении всего периода между ремонтами или в течении всего срока службы, восстанавливающиеся до исходного состояния, при котором интенсивность их отказов остается на прежнем уровне, что соответствует замене выбывшего из строя элемента новым. Такие элементы можно отнести к **сменным**.

Элементы, принадлежащие к одной из групп, можно, укрупнить, т.е. рассматривать как некий блок - фиктивный элемент устройства, относящийся к этой группе и обладающий суммарной интенсивностью «отказа» с учетом удельного веса этого элемента в общей конструкции устройства. Тогда упрощенно такое устройство можно рассматривать, как систему, состоящую из трех фиктивных элементов, обладающих различными интенсивностями отказов  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ .

Интенсивность отказа можно рассчитать соответственно по формулам:

- для сменного фиктивного элемента

$$\lambda_1 = \sum_{i=1}^{q_1} \lambda_i m_i, \quad (5)$$

где  $\lambda_i$  – интенсивность отказа  $i$ -го элемента;

$m$  – число  $i$ -ых элементов,

$q_i$  – число различных видов элементов.

- для восстанавливаемых фиктивных элементов

$$\lambda_2 = \sum_{i=1}^{q_2} \lambda_i m_i; \quad \lambda_2 = \lambda(n), \quad (6)$$

где  $\lambda(n)$  – закон изменения интенсивности «отказов» элементов устройства от числа проведенных ремонтов.

- для основного фиктивного элемента

$$\lambda_3 = \sum_{i=1}^{q_3} \lambda_i m_i. \quad (7)$$

Тогда вероятность безотказной работы устройства можно определить по формуле

$$P_{\text{тр}} = P_1 \times P_2 \times P_3, \quad (8)$$

где  $P_1, P_2, P_3$  – вероятности безотказной работы соответственно сменных, восстанавливаемых и основных фиктивных элементов.

Для устройства, состоящего из основных и сменных фиктивных элементов, надежность безотказной работы будет

$$P_{\text{тр}} = P_1 \times P_3, \quad (9)$$

где  $P_1 = \exp(\lambda_1 \times T_3), \quad (10)$

$$P_3 = \exp(-\lambda_3 \times (T_3 - n \times T_p)). \quad (11)$$

Откуда

$$P_{\text{тр}} = \exp \left\{ - \left[ -\lambda_1 + \lambda_3 \left( 1 - \frac{n \times T_p}{T_3} \right) \right] T_3 \right\}, \quad (12)$$

где  $n$  – число произведенных ремонтов устройства,  
 $T_p$  – период между двумя ремонтами.

Для устройства, состоящего из основных и восстанавливаемых фиктивных элементов, имеем:

$$P_{\text{тр}} = P_2 \times P_3, \quad (13)$$

$$P_3 = \exp(-\lambda_3 \times T_3), \quad (14)$$

$$P_2 = \exp(-\lambda_2(n) \times (T_3 - n \times T_p)), \quad (15)$$

откуда

$$P_{\text{тр}} = \exp(B), \quad (16)$$

где  $B = - \left( \lambda_3 + \lambda_2(n) \left( 1 - \frac{n \times T_p}{T_3} \right) \right) T_3$ .

Для устройства состоящего из всех трех фиктивных элементов,

$$P_{\text{тр}} = - \left( \lambda_3 + [\lambda_1 + \lambda_2(n)] \left( 1 - \frac{n \times T_p}{T_3} \right) \right) T_3. \quad (17)$$

Введем понятие «гарантированная работа» устройства. Под гарантированной работой будем понимать такой период работы устройства, за который вероятность безотказной работы не падает ниже определенного, наперед заданного уровня допустимой величины безотказной работы  $P_{\text{тр}}^D$ , т.е.

$$P_{\text{тр}} = \exp \left\{ - \left[ \begin{array}{l} [\lambda_1 + \lambda_2(R) + \lambda_3] T_{\text{гар}} + \\ + R \times \lambda_1 \times T_{\text{гар}} + \\ + R \times \lambda_2(R) \times T_{\text{гар}} \end{array} \right] \right\} \geq P_{\text{тр}}^D, \quad (18)$$

где  $R$  – конечное число ремонтов  $R = 1, 2, 3, \dots$ ;

$$T_{\text{зар}} = (R + 1) \times T_P. \quad (19)$$

Зная режим ремонтов, интенсивность отказов элементов и закон изменения их от числа произведенных ремонтов, можно определить

$$T_{\text{гар}} = \frac{-\ln P_{\text{тр}} (R + 1)}{\lambda_1 + \lambda_2 R + \lambda_3 (R + 1)}. \quad (20)$$

Анализ формулы (20) показывает, что для получения зависимости между  $T_{\text{зар}}$  и  $R$  необходимо задаться законом изменения интенсивности отказов восстанавливаемого элемента в зависимости от числа произведенных ремонтов. Примем линейный закон изменения числа ремонтов

$$\lambda_n = \lambda_2 (1 - a n). \quad (21)$$

После соответствующих преобразований получим величину

$$T_{\text{гар}} = (R + 1) \frac{-\ln P_{\text{ТР}}}{R \lambda_p + \lambda_0}, \quad (22)$$

где  $\lambda_p = \lambda_3 + a \lambda_2$ ;  $\lambda_0 = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$ .

Анализ формулы (22) показывает, что имеется предел гарантированного ресурса эксплуатации

$$\lim_{R \rightarrow \infty} T_{\text{гар}} = \frac{-\ln P_{\text{ТР}}}{\lambda_p}. \quad (23)$$

Зная зависимость  $T_{\text{зар}}$  и  $R$ , можно оценить взаимосвязь между надежностью отдельных элементов устройства и режимов работы с учетом экономических показателей (рис.).

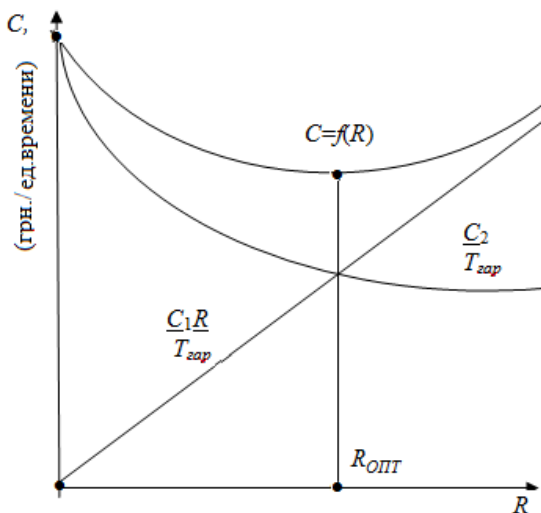


Рис. Зависимость производственных и эксплуатационных затрат от количества ремонтов машины

Затраты  $C$ , необходимые на поддержание работоспособности, можно определить

$$C = C_1 + C_2 R, \quad (24)$$

где  $C_1$  — первоначальная стоимость устройства;  $C_2 R$  — затраты на ремонт (здесь  $C_2 R$  — стоимость одного ремонта).

Для дальнейшего анализа надежности устройства введем понятие критерий стоимости одной единицы времени (день, месяц, год) эксплуатации

$$C_D = \frac{C_1 + C_2 R}{T_{\text{зар}}}. \quad (25)$$

Из выражения (25) очевидно, что чем больше  $T_{\text{зар}}$ , тем ниже  $C_D$ .

Найдем функциональную зависимость величины стоимости затрат от количества ремонтов  $C_D = f(R)$ . Для этого подставим выражение (22) в выражение (25) и получим

$$C_D = \frac{C_2 \lambda_p R^2 + (C_1 \lambda_p + C_2 \lambda_0) R + \lambda_0 C_2}{(R + 1)(-\ln P_{\text{ТР}})}. \quad (26)$$

Определим оптимальное значение  $R_{\text{опт}}$  при котором стоимость одной единицы времени эксплуатации устройства будет наименьшей, т.е. определим  $(C_D)_{\text{min}}$ . Дифференцируя выражение (26) и приравнявая его к нулю, находим

$$R_{\text{опт}} = \sqrt{\left(\frac{\lambda_0}{\lambda_p} - 1\right) \left(\frac{C_1}{C_2} - 1\right)} - 1. \quad (27)$$

Найдем зависимость между  $C_D$  и  $T_{\text{зар}}$

$$C_D = \frac{T_{\text{зар}} (C_1 \lambda_p - C_2 \lambda_0) + \ln P_{\text{ТР}} (C_1 - C_2)}{T_{\text{зар}}^2 \lambda_p - T_{\text{зар}} \times \ln P_{\text{ТР}}}. \quad (28)$$

Определим оптимальное значение  $T_{\text{зар}}^0$ , при котором стоимость одной единицы времени эксплуатации будет наименьшей

$$T_{\text{гар}}^{\text{опт}} = \frac{-\ln P_{\text{ТР}}}{\lambda_p} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left(\lambda_0 / \lambda_p - 1\right) \left(C_1 / C_2 - 1\right)}}. \quad (29)$$

Задаваясь сроком службы устройства, допустимой вероятностью надежной работы, числом восстановлений, его стоимостью и стоимостью од-

ного восстановления, определим показатель надежности отдельных элементов устройства. Для этого, решая совместно уравнение (22), (27) и (28), найдем зависимость  $\lambda_0$  и  $\lambda_p$  от указанных выше параметров машины.

$$\lambda_0 = \left( \frac{C_1}{C_2} - 1 \right) \frac{\ln P_{TP}}{T_{zap}} \left( \frac{\ln P_{TP}}{T_{zap}} \times \frac{1}{\lambda_p} + 2 \right) + \frac{C_1}{C_2} \lambda_p; \quad (30)$$

$$\lambda_p = \frac{-\ln P_{TP}}{T_{zap}} \left( \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2 R} \right); \quad (31)$$

откуда

$$\lambda_0 = \frac{-\ln P_{TP}}{T_{zap}} \cdot \frac{(C_1 + C_2 R) + C_2 R(R+1)}{C_1 + C_2 R}. \quad (32)$$

Коэффициент  $\lambda_0$  будет зависеть от принятого типа или вида восстановления элементов, так что его можно полагать известным. Таким образом, имеется система двух уравнений с тремя неизвестными. В первом приближении можно принять интенсивность отказов, изменяющуюся обратно пропорционально первоначальной стоимости. Тогда

$$\lambda_3 = (\lambda_1 + \lambda_2) \frac{C_1}{C_1 + C_2}. \quad (33)$$

В результате решения уравнений (22) и (33) получим:

$$\lambda_2 = \frac{-\ln P_{TP}}{T_{zap}} \cdot \frac{(C_1 - C_2) - C_2(R+1)}{a \cdot C_1};$$

$$\lambda_3 = \frac{-\ln P_{TP}}{T_{zap}} \cdot \frac{(C_1 - C_2 R) + C_2 R(R+1)}{C_1 + C_2 R} \cdot \frac{C_2}{C_1};$$

$$\lambda_0 = \frac{-\ln P_{TP}}{T_{zap}} \times$$

$$\times \frac{(R+1)^2 C_2 [C_2 + a(C_1 - C_2) - (1-a)(C_1 - C_2)]}{(C_1 + C_2 R)a \times C_1}.$$

Таким образом, получается конкретное значение интенсивности «отказов» каждого из трех фиктивных элементов в зависимости от расчетных параметров устройства.

Полученные результаты позволяют предположить, что имеется прямая зависимость между интенсивностью «отказов» и убытками при отказе

$$\alpha_i = y_i \lambda_i \Rightarrow \lambda_i = \frac{\alpha_i}{y_i}.$$

В этом случае интенсивность отказов  $i$ -го элемента устройства в каждой из трех групп элементов будет определяться формулой

$$\lambda_i = \frac{\lambda}{\sum_{i=1}^j \frac{\alpha_i}{y_i}} \cdot \frac{\alpha_i}{y_i}.$$

Для расчета на заданную надежность каждого элемента устройства необходимо знать время его работы и допустимую вероятность безотказной работы.

По итогам проведенного анализа появляется возможность определить вероятность безотказной работы:

– основных элементов

$$P_i^{очн} = \exp(-\lambda_i T_{gap});$$

– восстанавливаемых элементов

$$P_i^e = \exp\left(-\lambda_i T_{gap} (1+aR) \frac{1}{R+1}\right);$$

– сменных элементов

$$P_i^c = \exp\left(-\lambda_i T_{gap} \frac{1}{R+1}\right).$$

Выводы. В результате проведенных исследований: 1) проанализированы аспекты моделирования жизненного цикла, и предложена методика определения надежности навесного оборудования для прокладки трубопроводов, с целью определения искомым временных и надежности параметров комплексной технологичности подземного трубопроводного строительства.

2) приведены концептуально-методологические аспекты теоретических исследований, которые могут послужить основой для разработки нового оборудования трубопроводного строительства, формируемых на базе принципов комплексной технологичности; а также для исследования оптимальных режимов создания, эксплуатации и санации строительной техники.

#### Л и т е р а т у р а

1. А.С. 1645734 СССР, МКИ F16L21/02. Соединение труб и способ его осуществления / А.С.Вишневецкий, А.Г.Черенков, Е.П.Уваров и др. (СССР).- №4438528/29; Заявлено 08.06.88; Опубл.30.04.91. Бюл. № 16.

2. А.С.1638275 СССР, МКИ ЕОЗРЗ/05//F16/1/08. Устройство для монтажа раструбных труб/ А.Г Черенков, Е.П.Уваров, А.Х.Теплицкий и др.(СССР)-№4337943/29;Заявлено 15.10.87;Опубл.30.03.91.Бюл.№12.
3. Войнов К.Н. Прогнозирование надежности механических систем.- Л.: Машиностроение, 1978. -320 с.
4. Карпунин М.Г. и др. Жизненный цикл и эффективность машин. - М.: Машиностроение,1989. -335 с.
5. Меженский А.Н., Скобликов В.В., Уваров П.Е., Насонкина Н.Г. Методическое пособие по обоснованию надежности и технологичности внешних сетей водоснабжения и канализации при комплексном проектировании, управлении проектами и инженерном мониторинге. – Луганск, ВУНУ им. В. Даля, 2004. -140 с.
6. Уваров Е.П., Пазин В.В., Меженский А.Н. Управление проектами структурно-связанных конструктивно-технологических систем – Сборник научных трудов ПГАСА, Днепропетровск, ПГАСА, 2000, вып. 2. 18-23 с.
7. Хазов Б.Ф. Надежность строительных и дорожных машин.- М.: Машиностроение, 1979. -260 с.
8. Хмара Л.А. Тенденции совершенствования специализированного навесного оборудования к тракторам и экскаваторам – Сборник научных трудов ПГАСА, Днепропетровск, ПГАСА, 2002, вып. 15, 4-27 с.
9. Шальнов А.П. Технология и организация строительства водопроводных и канализационных сетей и сооружений. –М.: Стройиздат, 1981. -317 с.
10. Шутенко Л.Н. Об оценке надежности жизненного цикла городского жилого фонда. Научный вестник строительства, Харків, ХДТУБА, 2001, вип. 16.
9. Shalnov A.P. Tehnologiya i organizatsiya stroitelstva vodoprovodnyih i kanalizatsionnyih setey i sooruzheniy. – М.: Stroyizdat, 1981. -317 s.
10. Shutenko L.N. Ob otsenke nadezhnosti zhiznennogo tsikla gorodskogo zhilogo fonda. Naukoviy vIsnik budlVnitstva, Harklv, HDTUBA, 2001, vip. 16.

**Уваров П.Є., Татарченко Г.О., Шпарбер М.Є., Юзін О.О. Аспекти моделювання надійності життєвого циклу навісного спеціалізованого устаткування для прокладення підземних трубопроводних мереж**

*Розглядаються аспекти моделювання життєвого циклу, і пропонується методика визначення надійності навісного устаткування для прокладення трубопроводів, з метою визначення шуканих тимчасових і надійнісних параметрів комплексної технологічності підземного трубопроводного будівництва. Приведені концептуально-методологічні аспекти теоретичних досліджень, які можуть послужити основою для розробки нового устаткування будівництва трубопроводних мереж, формованих на базі принципів комплексної технологічності; а також для дослідження оптимальних режимів створення, експлуатації і санації будівельної техніки.*

**Ключові слова:** життєвий цикл, технологічність і надійність пристрою, оптимальні режими експлуатації, моделювання, прокладення трубопроводів, навісне спеціалізоване устаткування

**Uvarov P., Tatarchenko G., Shparber M. Uzin A. Aspects of modeling the reliability of the life cycle attachments specialized equipment for laying underground pipe networks**

*Discusses aspects of the simulation life cycle, and a method of determining the reliability of attachments for piping, to determine the required time and reliability of complex technological parameters of underground pipeline construction. Given the conceptual and methodological aspects of theoretical research that can serve as the basis for the development of new equipment pipeline construction formed on the basis of the principles of integrated manufacturability, as well as for exploring optimal modes of creation, operation and rehabilitation of construction equipment.*

**Keywords:** life cycle, manufacturability and reliability, optimal modes of operation, modeling, piping, attachments specialized equipment

**Уваров П.Є.** – к.т.н., доцент кафедри «Міського будівництва та господарства» ЧНУ ім. В. Даля, e-mail: uvarov\_p@ukr.net.

**Татарченко Г.О.** – д.т.н., проф., зав. кафедри «Міського будівництва та господарства» ЧНУ ім. В. Даля, tatarchenkogalina@gmail.com

**Шпарбер М.Є.** старший викладач кафедри «Міського будівництва та господарства» ЧНУ ім. В. Даля, e-mail: shparber\_m@ukr.net.

**Юзін А.А.** студент ЧНУ ім. В. Даля, e-mail: [budivelnik\\_caf@ukr.net](mailto:budivelnik_caf@ukr.net)

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Соколов В.І.**

Стаття подана 23.03.2016

### References

1. А.С. 1645734 SSSR, МКИ F16L21/02. Soedinenie trub i sposob ego osu-schestvleniya / A.S.Vishnevskiy, A.G.Cherenkov, E.P.Uvarov i dr. (SSSR).- #4438528/29; Zayavleno 08.06.88; Opubl.30.04.91 .Byul. # 16.
2. А.С.1638275 SSSR, МКИ ЕОЗРЗ/05//F16/1/08. Ustroystvo dlya montazha rastrubnyih trub/ A.G Cherenkov, E.P.Uvarov, A.H.Teplitskiy i dr.(SSSR)-#4337943/29;Zayavleno 15.10.87;Opubl.30.03.91.Byul.#12.
3. Voynov K.N. Prognozirovaniye nadezhnosti mehanicheskikh sistem.- L.: Mashinostroeniye, 1978. -320 s.
4. Karpunin M.G. i dr. Zhiznennyiy tsikl i effektivnost mashin. - М.: Mashinostroeniye,1989. -335 s.
5. Mezhenkiy A.N., Skoblikov V.V., Uvarov P.E., Nasonkina N.G. Metodicheskoye posobie po obosnovaniyu nadezhnosti i tehnologichnosti vneshnih setey vod-osnabzheniya i kanalizatsii pri kompleksnom proektirovaniy, upravleniiy proektami i inzhenernom monitoringe. – Lugansk, VUNU im. V. Dalya, 2004. -140 s.
6. Uvarov E.P., Pazin V.V., Mezhenkiy A.N. Upravleniye proektami strukturno-svyazannyih konstruktivno-tehnologicheskikh sistem – Sbornik nauchnyih trudov PGASA, Dnepropetrovsk, PGASA, 2000, vyip. 2. 18-23 s.
7. Hazov B.F. Nadezhnost stroitelnyih i dorozhnyih mashin.- М.: Mashinostroeniye, 1979. -260 s.
8. Hmara L.A. Tendentsii sovershenstvovaniya spetsializirovannogo navesnogo oborudovaniya k traktoram i ekskavatoram – Sbornik nauchnyih trudov PGASA, Dnepropetrovsk, PGASA, 2002, vyip. 15, 4-27 s.