

A.B. Shumanskaya

UNIT COSTS CALCULATING WITH REGARD TO REGULAR ROUTINE MAINTENANCE OF SPORTS AND HEALTH COMPLEX INFRASTRUCTURES

Anastasia Shumanskaya – Senior Lecturer, the Department of Staff Management and Advertising, the Faculty of Economics and Management, Saint-Petersburg State Technical University, Saint-Petersburg; **e-mail: ivannikova_a_b@mail.ru.**

The need for unit costs calculations concerning regular routine maintenance of infrastructural premises including the ones of sports and health complex is based on economical standards and requirements to maintenance costs elements. Different methods might be used meanwhile which may be implemented in order to analyze the efficiency of relevant technologies and schemes of providing routine maintenance to different infrastructures as well as to define the most suitable configuration of such technologies management system. Hence during the period of operation of such an expensive object of infrastructure it highly preferable for managers in the realm of management process modeling to have quantitative assessment of inter-linkage between the method parameters and the results of implementation whereof.

The author proposes herein the method of unit costs calculation concerning regular routine maintenance of an infrastructure of sports and health complex when the above mentioned conditions are met.

Keywords: *infrastructural object; sports and health complex; risks of accident; unit costs calculations; running an object of infrastructure; feasibility study.*

А.Б. Шуманская

О ВЫЧИСЛЕНИИ УДЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ НА РЕГЛАМЕНТНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРНОГО СООРУЖЕНИЯ СПОРТИВНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Анастасия Борисовна Шуманская – старший преподаватель кафедры управления персоналом и рекламы факультета экономики и менеджмента ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)», г. Санкт-Петербург; **e-mail: ivannikova_a_b@mail.ru.**

Необходимость вычисления удельных расходов на регламентное техническое обслуживание инфраструктурного сооружения, в том числе спортивно-оздоровительного комплекса, объясняется экономическими требованиями к определению составляющих затрат на его техническое обслуживание и ремонт. При этом возможно применение различных методов, которые могут быть использованы для анализа эффективности соответствующих технологий (схем) технического обслуживания инфраструктурного сооружения и определения наиболее подходящей конфигурации системы управления такими технологиями. Поэтому на стадии эксплуатации столь дорогостоящего инфраструктурного объекта специалистам в области моделирования процесса управления спортивно-оздоровительным комплексом крайне желательно иметь в своём распоряжении количественные приближённые оценки взаимосвязей между параметрами метода и результатом его применения. В данной статье автором предложена методика вы-

числения удельных расходов на регламентное техническое обслуживание инфраструктурного сооружения спортивно-оздоровительного комплекса при наличии указанных условий.

Ключевые слова: инфраструктурный объект; спортивно-оздоровительный комплекс; риски аварийной ситуации; вычисление удельных расходов; эксплуатация инфраструктурного сооружения; технико-экономическое обоснование.

На основе описания оценок соответствий между параметрами метода и результатами его применения, а также функционально-формализованной формы процесса динамики технического состояния инфраструктурного объекта можно выделить условно детерминированные и стохастические составляющие. Причём, в качестве результата эксплуатации данного конкретного инфраструктурного объекта, сообразуясь с техническими процессами, проходящими при вышеназванной эксплуатации и механическими свойствами такого объекта, можно принять число повреждений и прихода в негодность либо всего объекта в целом, либо отдельных его частей, неограниченно распределённых во времени. Во всех остальных случаях применения иных алгоритмов технические процессы, проходящие в полной мере во время использования инфраструктурного объекта по назначению, ограничиваются временными рамками, фиксирующими моменты прихода в непригодное для использования состояние рассматриваемого инфраструктурного сооружения. В соответствии с таким подходом эти временные рамки, фиксирующие моменты требуемых технических вмешательств в конструктивные узлы инфраструктурных объектов, можно подразделить на периодические – то есть, осуществляемые ещё тогда, когда объект используется, и объективно необходимые, то есть такие, когда объект перестаёт выполнять свои эксплуатационные задачи, – то есть приходит к аварийному состоянию.

Для выбора более подходящей системы технических вмешательств в вышеназванный конкретный объект спортивной инфраструктуры необходимо оценить влияние параметров выбранного метода из числа тех, о которых сказано выше: иными словами, учесть, какой конкретно вид вмешательства необходим (контроль-

но-ревизионный или стационарно-аварийный).

Основной целью любого технического вмешательства в конструктивные узлы инфраструктурных объектов является способность предупреждать аварийные ситуации, когда объект полностью выходит из строя на какое-либо время. Учитывая, что момент наступления аварийной ситуации заранее неизвестен, а процесс устранения той или иной неисправности занимает то количество времени, которое статистически оценено как необходимое для данного вида конструктивно выполненного узла объекта, отдельных деталей и т.д., в качестве стохастической характеристики, математически учитывающей вышеназванные обстоятельства, используют то, как именно стохастически распределена плотность распределения числа аварийных ситуаций, требующих технического вмешательства в течение вышеописанного статистически необходимого времени. От функции плотности распределения зависит математическое ожидание временного интервала стандартной нормальной работы конкретного инфраструктурного объекта до наступления аварийного случая T_o ; в то же время, следует задаваться величиной коэффициента вариации периодов нормальной работы объекта до поломки – коэффициент V_t . Приняв в дальнейшем допущение о линейной закономерности изменения технического состояния, а в качестве закона распределения для скорости изменения технического состояния – закон Вейбулла [1, с. 37] как универсальное распределение, охватывающее широкий диапазон коэффициентов вариации, для практических целей примем диапазон коэффициентов вариации периодов нормальной работы объекта до поломки $V_t = 0 - 1$, что обеспечивается коэффициентами вариации для постоянной скорости изменения

технического состояния $V_v = 0 - 0,48$. Практика применения различных законов распределения плотностей вероятностей случайных величин непрерывного типа свидетельствует о том, что закон Вейбулла даёт максимально заниженные результаты в смысле предупреждения выходов из строя объектов инфраструктуры при одной и той же величине периодов нормальной работы объекта до поломки, и при высоких значениях вероятности предупреждения выходов из строя эти результаты весьма близки к результатам с применением логарифмически нормального закона распределения плотностей вероятностей непрерывных случайных величин. В материалах данной статьи с учётом того, что инфраструктурные объекты спортивно-оздоровительных комплексов по своей экономической сущности и общности в инженерно-техническом исполнении, обладают признаком умеренной неоднородности (неоднородной совокупности объектов), автор использует для демонстрации результатов работоспособности предложенной методики коэффициент вариации $V_v = 0,4$ (в прикладной теории статистики устанавливается, что объекты статистической совокупности однородны только в случае коэффициента вариации $V_v \leq 0,33$). На рисунке автор приводит пример вычисления удельных расходов на периодическое техническое обслуживание инфраструктурного сооружения без учёта сменно-запасных деталей для распределения скорости изменения технического состояния инфраструктурного объекта по закону Вейбулла с вышеуказанным коэффициентом вариации, доведённый до графического изображения средствами программной среды Mathcad в виде графиков вышеназванных зависимостей удельных расходов от величины вероятности предупреждения выходов из строя по нормативному периоду технического обслуживания инфраструктурного сооружения $\Delta T_{рег}$:

$P_{пр}$ – вероятности предупреждения выходов из строя по нормативному периоду технического обслуживания инфраструктурного сооружения;

$T_{рег}$ – относительная продолжительность цикла эксплуатации инфраструктурного сооружения;

$R_{ост}$ – относительный остаточный ресурс на момент выполнения технического обслуживания инфраструктурного сооружения.

Остаточный ресурс, продолжительность периода эксплуатации, периодичность планового технического обслуживания инфраструктурного сооружения представляются в безразмерном виде для того, чтобы одни и те же графики функций распределения можно было использовать для технически разнородных объектов инфраструктуры. Для перехода к абсолютным значениям измерения времени необходимо использовать среднюю наработку до выходов из строя по нормативному периоду технического обслуживания инфраструктурного сооружения T_o :

$$\begin{aligned} \Delta \bar{T}_{рег} &= \Delta T_{рег} \cdot T_o, \text{ ч} \\ \bar{T}_{рег} &= T_{рег} \cdot T_o, \text{ ч}. \end{aligned}$$

Для определения нормирующей величины T_o возможны следующие способы:

– по фактическим данным наработок до выхода из строя по нормативному периоду технического обслуживания инфраструктурного сооружения как средняя величина:

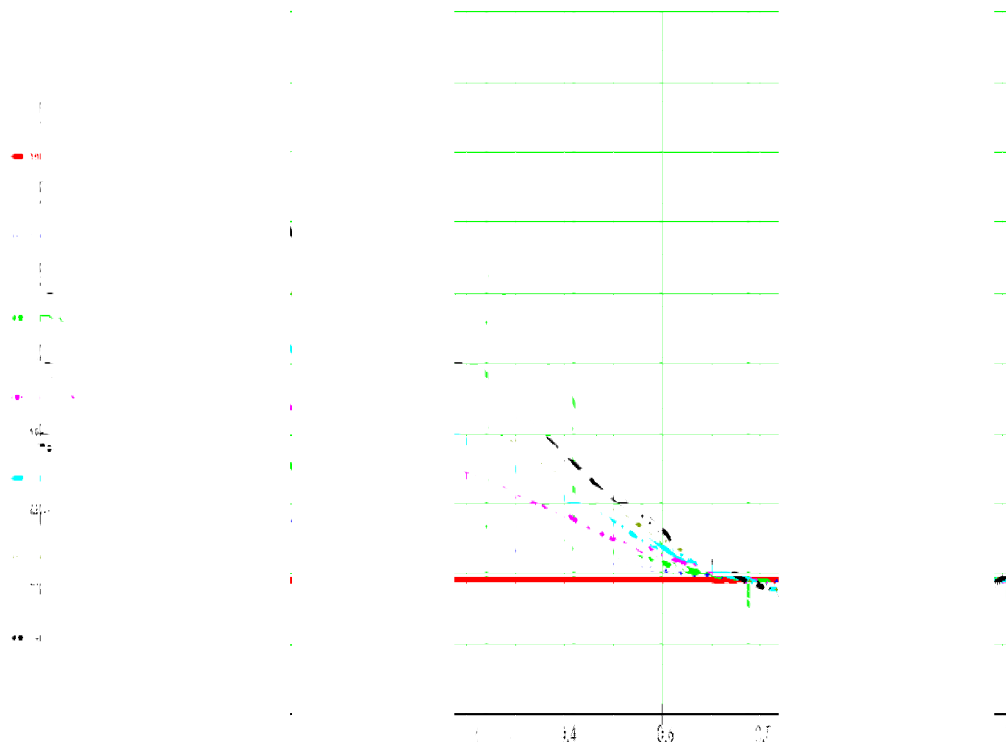
$$T_o = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{отки};$$

– по фактическим параметрам технического состояния a_1, a_2, \dots, a_n , зафиксированном при выполнении технического обслуживания инфраструктурного сооружения и периодах эксплуатации t_1, t_2, \dots, t_n , а также заданном аварийном значении параметра $a_{отк}$.

Средняя продолжительность работы объекта до выхода из строя по контрольно-ревизионному периоду технического обслуживания инфраструктурного сооружения при отсутствии фактических выходов из строя определяется как:

$$T_o = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_{омк} \cdot \frac{t_i}{a_i}.$$

В некоторых случаях спецификация производителей не содержит информации



Зависимости удельных расходов на регламентное техническое обслуживание инфраструктурного сооружения без учёта сменно-запасных деталей от величины вероятности предупреждения отказов по регламентному техническому обслуживанию инфраструктурного сооружения $P_{пр}$.

Источник: расчёты автора.

об аварийном значении параметра технического состояния – $a_{отк}$, а приведены предельно допустимые значения параметра (параметр, характеризующий неудовлетворительное состояние данного инфраструктурного объекта – $a_{неуд}$). В этом случае приведённые зависимости могут быть использованы следующим образом:

- вместо вероятности предупреждения выхода из строя необходимо использовать вероятность недостижения предельно допустимого значения структурного параметра технического состояния;

- вместо средней продолжительности времени функционирования объекта до выхода из строя необходимо использовать среднюю величину времени такого функционирования до неудовлетворительного состояния объекта;

- остаточный ресурс определяется не до выхода из строя, а до предельно допустимого значения параметра технического состояния деталей объекта, что практиче-

ски всегда соответствует спецификациям и инструкциям производителей.

Для выбора семейства функций при осуществлении расчётов, теоретически, разумеется, необходимо определить коэффициент вариации для скорости изменения технического состояния данного инфраструктурного объекта – V_v . Это выполняется по данным эксплуатации посредством определения средней скорости изменения технического состояния v_{cp} , а затем самого коэффициента вариации:

$$v_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{a_i}{t_i}; \quad V_v = \frac{1}{v_{cp}} \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(a_i - v_{cp})^2}{N - 1}}.$$

Если по данным эксплуатации известны наработки до выхода из строя – $t_{омки}$, в этом случае вместо a_i подставляется $a_{отк}$, а вместо t_i подставляется $t_{омки}$.

Следует обратить внимание на то, что при интервалах между техническим обслуживанием инфраструктурного соору-

жения ΔT_{pez} с обеспечением $P_{np} = 1$, продолжительность полного периода эксплуатации $T_{pez} = \Delta T_{pez}$, а при $P_{np} = 0$ $T_{pez} = T_0$. В пределах функционального диапазона интервалов между техническим обслуживанием инфраструктурного сооружения, когда $P_{np} < 1$ в абсолютных единицах $R_{ocm} + T_{pez} = T_0$, или в относительных единицах: $R_{ocm} + T_{pez} = 1$.

Приведённые выше допущения, гипотезы и схематизации позволяют математически сопоставить закономерности динамики технического состояния инфраструктурного объекта с конечной вероятностью достижения того или иного его состояния и, соответственно, следующими за этим необходимыми затратами на технические вмешательства с приостановкой функционирования того или иного объекта спортивной инфраструктуры. Используя статистически известные данные по динамике технического состояния при помощи соответствующих формул, можно вычислить любые величины, характеризующие материальные затраты на техническое обслуживание инфраструктурного сооружения, а говоря более масштабно, – на управление экономическим механизмом поддержания функционирования и развития инфраструктуры спортивно-оздоровительного комплекса в регионе (или мегаполисе). В зависимости от вероятности предупреждения выходов из строя и, соответственно, интервала между техническим обслуживанием инфраструктурного сооружения основная составляющая затрат определяется согласно предложенной автором методике в данной статье, как:

$$Y_{pez}^c = \frac{w}{T_{pez}} = \frac{P_{np}(1 - k) + k}{T_{pez}}$$

Для частного случая скорости изменения технического состояния с коэффициентом вариации $V_v = 0,4$ имеют вид, представленный на вышеуказанном рисунке. Для других случаев такие зависимости могут быть рассчитаны по приведенной формуле [2, с. 238]. Чем больше последствия отказов k , тем более отчетливо выделяется область минимальных за-

трат $\frac{w}{T_{pez}} \Rightarrow MIN$.

Однако автор учитывает также и вторую составляющую затрат, связанную с неполным использованием ресурса инфраструктурного объекта:

$$Y_{pez}^{sp} = \frac{w(t)}{T_{pez}} = \frac{1}{T_{pez}} \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{W_{nl}} \cdot r_{ti}$$

Ввиду того, что $\frac{C_i}{W_{nl}}$ является постоянной, могут быть вычислены $\frac{r_{ti}}{T_{pez}}$.

Если сложить эти затраты, то в зависимости от соотношения величин $\frac{C_i}{W_{nl}}$ минимум суммарных расходов будет приходиться на область низких значений вероятности предупреждения отказов системой для присутствующих в ней дорогих сменно-запасных частей и, наоборот, на область высоких значений вероятности предупреждения отказов, когда сменно-запасные части, используемые в системах всего инфраструктурного объекта, недорогие, и расходы на техническое обслуживание (вмешательство и ремонт) инфраструктурного сооружения мало зависят от неполноты использования ресурса.

Основной смысл методов технического контроля в процессе использования инфраструктурных объектов (учитывая их специфику) заключается в периодической проверке технического состояния этих объектов и, в случаях необходимости, – выполнения промежуточного контроля технического состояния и проведения стационарно-аварийных технических вмешательств. Можем заранее сказать, что учащение контроля приведёт к увеличению вероятности выводов из строя тех или иных инфраструктурных объектов, в то время как больше интервалы между контрольными мероприятиями должны повлечь наличие целого спектра распределения скорости изменения технического состояния данного объекта в течение его эксплуатации, а параметры этого спектра, в свою очередь, позволяют вычислить удельные величины стоимости по отношению к коэффициенту вариации скорости изменения технического состояния. Если известен спектр изменения скорости технического состояния инфраструктур-

ного объекта, то в реальности временной интервал между операциями контроля и, тем более, технических вмешательств должен быть выбран меньшим, чем необходимое время, учитываемое при полностью неудовлетворительном состоянии такого объекта с тем, чтобы обеспечить стопроцентное предупреждение всех видов технических вмешательств. В то же время, такая стратегия увеличивает время на текущий контроль и, следовательно, затраты на него; это особенно неэффективно при относительно хорошем или более-менее удовлетворительном состоянии конкретного инфраструктурного объекта.

Таким образом, описанная автором методика предполагает следующие возможные варианты выполнения в процессе эксплуатации объектов спортивной инфраструктуры:

- контроль технико-эксплуатационного состояния с постоянной периодичностью;
- контроль технико-эксплуатационного состояния с периодичностью, соответствующей с результатами прогноза;
- контроль технико-эксплуатационного состояния с изменением периодичности при приобретении инфраструктурным объектом категории, учитывающей определенное техническое состояние объекта.

Контрольно-технические мероприятия в отношении конкретного инфраструктурного объекта, осуществляемые с постоянной периодичностью, упрощают применение продемонстрированной методики, но требуют принимать во внимание необходимое сообщение между периодичностью контроля и коэффициентами доверия при учёте интервалов времени эксплуатации объекта до прихода его в непригодное аварийное состояние. При периодичности ΔT_1 вовремя обнаруживается неудовлетворительное состояние и предупреждается выход объекта (или его узла) из строя, при более частых контрольных мероприятиях, например при ΔT_2 и ΔT_3 , результат ухудшается, однако далее, при уменьшении периодичности контрольных мероприятий, эффект существенно возрастёт. Другой способ улучшения результата применения описанной

автором методики заключается в перемещении зоны неудовлетворительных состояний объекта в область меньших значений, но это приведёт к ухудшению экономического эффекта всех подсистем и системы в целом рассматриваемого инфраструктурного объекта [3, с. 301]. Поэтому периодичность контрольно-плановых мероприятий с целью предупреждения выходов из строя системы того или иного инфраструктурного объекта (или всего объекта в целом) необходимо устанавливать исходя из взаимного положения коэффициентов доверия при интервалах эксплуатации, а не только используя их численные значения.

Автором также вычислен диапазон значений вероятностей предупреждения отказов по регламентному техническому обслуживанию инфраструктурного сооружения P_{np} , в пределах которого удельные расходы на регламентное техническое обслуживание инфраструктурного сооружения без учёта сменно-запасных деталей будут минимальны (численное значение величин таких минимумов определяется, помимо выше обозначенных условий, значениями коэффициентов последствий отказов в работе всего инфраструктурного объекта – k).

В среде Mathcad нижняя граница указанного диапазона может быть вычислена следующим образом (верхняя граница по смыслу будет равна 1,0):

$$x_0 := 0.5$$

$$x := \text{root} \left[\frac{\text{dweibull}(x_0, s) \cdot (1 - k_7) + k_7}{T_{\text{дв}}^{\text{дв}}} - \frac{\text{dweibull}(x_0, s) \cdot (1 - k_1) + k_1}{T_{\text{дв}}^{\text{дв}}}, x_0 \right]$$

$x = 0.696$, что соответствует приближённому визуальному сопоставлению с соответствующей точкой на графике.

Основное заключение, к которому приходит автор согласно результатам своих исследований, состоит в том, что следует избегать применения контроля технического состояния того или иного инфраструктурного объекта с постоянным интервалом по времени; в противном случае исчезает возможность выполнения прогноза времени наступления аварийных состояний, а значит увеличивается риск пропуска ближайшего по времени

контроля посредственного технического состояния и, как следствие, уменьшается время до аварийного выхода из строя всего инфраструктурного объекта. Применение технологии выполнения контроля с корректировкой периодичности контрольно-технических мероприятий в отношении объекта согласно результатам прогноза может осуществляться различными средствами выполнения процедуры прогноза. Наиболее простое из них – это применение дискретной процедуры фиксации уже состоявшихся в конкретные периоды времени технических вмешательств, дополненной функцией аппроксимации или функцией плотности распределения вероятностей частоты технических вмешательств применительно к конкретному, одному типу инфраструктурно-

го объекта, с последующей экстраполяцией всех необходимых параметров, вплоть до получения удельных стоимостных оценок затрат на те или иные (контрольно-ревизионные или стационарно-аварийные) виды технических вмешательств.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кобзарь А.И.* Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. 2-е изд., испр. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 816 с.
2. *Grivet J.-P.* Méthodes numériques appliquées. Les Ulis Cedex A: EDP Sciences, 2009. 373 p.
3. *Hayes B.* Infrastructure: a field guide to the industrial landscape. N.-Y., 2005. 536 p.