

Формализованная модель оценки рисков от эксплуатации подъемно-транспортных средств

Р.С.Магомадов

Грозненский государственный технический нефтяной университет

Аннотация. Проблема уменьшения всех затрат, связанных с выполнением работ на объекте строительства, является актуальной ввиду все возрастающей стоимости специальной техники и материалов, используемых при строительстве, ужесточение конкурентной борьбы на рынке строительных услуг. Одним из направлений уменьшения этих потерь является поиск оптимальных вариантов организации процесса строительства, в частности использования дорогой строительной техники и прежде всего подъемно-транспортных средств (ПТС). Именно этой задаче и посвящена данная работа. В работе формализована задача минимизации потерь и издержек связанных с доставкой с выполнением различных вспомогательных сопровождающих процессов использования ПТС. Учен большой набор фактов, которые могут оказать негативные влияние на процесс использования ПТС. Полученные выражения включают семь вспомогательных функций, которые в свою очередь зависят от ряда констант и простейших функций. Исследованы две из семи вспомогательных функций, востребованных в построенных моделях, получены аналитические соотношения для вычисления значений этих функций.

Ключевые слова: подъемно-транспортное средство, математическая модель, зона строительства, риски, потери и издержки, минимизация, вспомогательные функции, оценка параметров модели.

Введение

Задача повышения эффективности выполнения строительных работ в современных условиях тесно связана с проблемой внедрения средств автоматизации и автоматизации в процессы, связанные как непосредственно со строительными действиями, так и с процессами, связанными с подготовкой, организацией и поддержкой этих работ [1, 2]. В свою очередь, качество и эффективность функционирования средств автоматизации в значительной степени определяется степенью адекватности и полноты тех моделей, которые использованы в алгоритмах автоматизированной системы [3, 4]. Поэтому задача построения моделей, наиболее адекватно отображающих различные процессы, связанные со строительной деятельностью, является актуальной.

Одними из наиболее важных компонентов процесса выполнения строительных работ являются подъемно-транспортные средства. Практически любые нарушения в их работе потенциально чреватые значительными финансовыми и иными потерями и издержками. Поэтому задача минимизации рисков, прежде всего потерь и издержек, связанных с работой подъемно-транспортных средств на объекте строительства, занимает важное место в ряду задач, нацеленных на повышение эффективности выполнения строительных работ. Данная работа посвящена построению математических моделей оценки рисков для ряда процессов, связанных с использованием подъемно-транспортных средств. Проблема оценки рисков в строительной сфере рассматривается во многих работах [5-8]. Среди работ по данной тематике укажем на работы [9, 10].

Построение целевых функций процесса использования подъемно-транспортных средств

Для оценки потерь и издержек, связанных с эксплуатацией подъемно-транспортных средств (ПТС) прежде всего необходимо описать возможные источники и причины потерь и издержек. Непосредственно ПТС могут быть источником следующих потерь: 1) несвоевременная и/или неадресная доставка грузов и материалов; 2) нанесение повреждений различным объектам и конструкциям в процессе перемещения грузов; 3) поломки в компонентах ПТС; 4) падение ПТС – прежде всего, стационарных и передвижных. Тогда суммарные потери, связанные с данным компонентом модели, могут быть записаны следующим образом:

$$f_1(n, t_{кр}, t_{раб}, y_{зд}, y_{алк}, y_{нар}, \lambda, w, l_{просм})$$
$$L_1 = \sum_{k=1}^{N_{ПТС}} \sum_{t=1}^T (f_1(k, x_j, y_j, \tau_j (j = \overline{1; N_{паб}}), m_k, Z_k^{ПТС}, G_k^{ПТС}, H_k^{ПТС}, s_k, \lambda(t)) \cdot \Pi_{доств} +$$
$$+ f_2(k, x_j, y_j, \tau_j (j = \overline{1; N_{паб}}), m_k, Z_k^{ПТС}, G_k^{ПТС}, H_k^{ПТС}, s_k, \lambda(t)) \cdot \Pi_{новр} +$$

$$\begin{aligned} &+ f_3(k, x_j, y_j (j = \overline{1; N_{\text{раб}}}), m_k, Z_k^{\text{ПТС}}, G_k^{\text{ПТС}}, H_k^{\text{ПТС}}, s_k, \lambda(t)) \cdot \Pi_{\text{лом}, k} + \\ &+ f_4(k, x_j, y_j, \tau_j (j = \overline{1; N_{\text{раб}}}), m_k, Z_k^{\text{ПТС}}, G_k^{\text{ПТС}}, H_k^{\text{ПТС}}, s_k, \lambda(t)) \cdot \Pi_{\text{над}, k}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $N_{\text{ПТС}}$ – число ПТС на объекте строительства, $f_1(k, x_j, y_j, \tau_j (j = \overline{1; N_{\text{раб}}}), m_k, Z_k^{\text{ПТС}}, G_k^{\text{ПТС}}, H_k^{\text{ПТС}}, s_k, \lambda(t))$ – функция, оценивающая вероятность несвоевременной и/или неадресной доставки грузов k -ым ПТС с учетом значений показателей по обслуживающему ПТС персоналу ($x_j, y_j, \tau_j, j = \overline{1; N_{\text{раб}}}$ – показатели квалификации, надежности и длительности непрерывной работы, что является источником усталости, по j -му работнику соответственно) ($N_{\text{раб}}$ – количество работников, обслуживающих ПТС), значений показателей, характеризующих ПТС ($m_k, Z_k^{\text{ПТС}}, G_k^{\text{ПТС}}, H_k^{\text{ПТС}}, s_k$ – показатели уровня стационарности размещения ПТС, зоны покрытия стрелы ПТС, грузоподъемности, максимальной высоты подъема груза и текущего уровня надежности как технического устройства соответственно), а также в зависимости о состояния погодных-климатических условий и степени освещенности $\lambda(t)$;

$\Pi_{\text{дост}}^{(6)}$ – величина средних потерь, связанная с несвоевременной или неадресной доставкой грузов; $f_2(k, x_j, y_j, \tau_j (j = \overline{1; N_{\text{раб}}}), m_k, Z_k^{\text{ПТС}}, G_k^{\text{ПТС}}, H_k^{\text{ПТС}}, s_k, \lambda(t))$ – функция, характеризующая вероятность нанесения повреждений (грузу и/или строительным конструкциям и их элементам) при перемещении груза k -ым ПТС в зависимости от значений показателей, перечисленных в качестве аргументов функции $f_2()$; $\Pi_{\text{повр}}$ – величина средних потерь, связанная с нанесенными повреждениями; $f_3(k, x_j, y_j (j = \overline{1; N_{\text{раб}}}), m_k, Z_k^{\text{ПТС}}, G_k^{\text{ПТС}}, H_k^{\text{ПТС}}, s_k, \lambda(t))$ – функция, характеризующая вероятность возникновения поломок и отказов в ПТС в процессе работы k -го ПТС в зависимости от значений показателей,

перечисленных в качестве аргументов функции $f_3()$; $\Pi_{лом,k}$ - величина средних потерь, связанная с поломками в k -ом ПТС; $f_4(k, x_j, y_j, \tau_j (j = \overline{1; N_{раб}}), m_k, Z_k^{ПТС}, G_k^{ПТС}, H_k^{ПТС}, s_k, \lambda(t))$ функция, характеризующая вероятность падения k -го ПТС в результате нарушений требований техники безопасности при работе с ПТС, серьезных поломок, неправильного монтажа при установке либо неблагоприятных погодных условий в зависимости от значений показателей, перечисленных в качестве аргументов функции $f_4()$; $\Pi_{пад,k}$ - величина средних потерь, связанная с падением k -го ПТС.

При эксплуатации ПТС могут возникнуть также потери, связанные с группой эксплуатации. Имеются также еще и следующие причины потерь, связанных с ПТС: 1) хищение материалов (в частности, горюче-смазочных) или комплектующих для ПТС; 2) использование мобильных ПТС для выполнения сторонних работ вне стройплощадки; 3) отсутствие на работе отдельных сотрудников (прогулы, заболевания, чрезвычайные происшествия). Тогда дополнительные потери, связанные с группой эксплуатации, равны:

$$L_2 = \sum_{j=1}^{N_{раб}} (f_5(y_j, s_k (k = \overline{1; N_{ПТС}})) \cdot \Pi_{хищ} + f_6(x_j, y_j, m_k (k = \overline{1; N_{ПТС}})) \cdot \Pi_{исп} + f_7(x_j, y_j) \cdot \Pi_{омс,j}) \quad (2)$$

где $f_5(y_j, s_k (k = \overline{1; N_{ПТС}}))$ - функция, описывающая зависимость вероятности хищения j -ым работником эксплуатационной группы в зависимости от его надежности y_j и технического состояния ПТС $s_k (k = \overline{1; N_{ПТС}})$; $\Pi_{хищ}$ - средние потери, связанные с хищениями со стороны работников, обслуживающих ПТС; $f_6(x_j, y_j, s_k (k = \overline{1; N_{ПТС}}))$ - функция, описывающая зависимость вероятности несанкционированного использования ПТС j -ым

работником эксплуатационной группы в зависимости от его квалификации x_j , надежности y_j и технического состояния ПТС s_k ($k = \overline{1; N_{ПТС}}$); $\Pi_{исп}$ - средние потери, связанные с несанкционированным использованием ПТС со стороны работников, обслуживающих ПТС; $f_7(x_j, y_j)$ - функция, описывающая зависимость вероятности отсутствия на рабочем месте j -го работника с учетом его квалификации x_j и надежности y_j ; $\Pi_{отс, j}$ - величина средних потерь, связанная с отсутствием на рабочем месте j -го работника.

Выражения для функций потерь L_v зависят от введенных выше функций $f_k()$ ($k = \overline{1; 7}$). Поэтому для практического решения задач анализа на основе построенных моделей необходимо, прежде всего, провести анализ возможного вида всех функций $f_k()$. Кроме того, необходимо также описать методы оценки и получения значений всех параметров, входящих в функции L . Ниже с целью обеспечения возможностей проведения анализа структуры вспомогательных функций некоторые из переменных вспомогательных функций опущены.

Анализ структуры вспомогательных функций

Функция $f_1()$ предназначена для оценки вероятности несвоевременной и/или неадресной доставки грузов конкретным ПТС. Причинами несвоевременной или неадресной доставки груза могут быть: а) недостаточная квалификация крановщика; б) недостаточное знание объекта строительства; в) злой умысел – мотивы могут быть самые разные, например, подготовка к возможному хищению груза; г) низкая освещенность из-за плохой погоды или освещенности территории; д) усталость, вызванная напряженной и/или длительной работой; е) состояние опьянения (алкогольное или наркотическое) крановщика.

Если квалификация крановщика равна x , то вероятность p_{12}^a неправильной доставки груза по причине недостаточной квалификации (аналогично рассмотренным выше оценкам, связанным с учетом квалификации) можно оценить на основе выражения $p_{13,кв}^a = p_{13}^{a,0} \cdot \exp\{-\varepsilon_{дост} x\}$, где $p_{13}^{a,0}$ - вероятность неправильной доставки груза для случая, когда крановщик не имеет специальной квалификации – эту величину можно принять во многих случаях равной единице, а $\varepsilon_{дост}$ - коэффициент, учитывающий степень уменьшения вероятности неправильной доставки при увеличении квалификации на единицу.

Недостаточное знание объекта строительства, являющееся второй из возможных причин неправильной доставки груза, зависит от сложности объекта строительства и объёма одновременно выполняемых работ, а также от подготовленности крановщика к выполнению работ на данном объекте. Пусть n есть число мест на объекте в зоне обслуживания ПТС, где одновременно выполняются строительные работы, $t_{кр}$ - время работы крановщика на объекте. Тогда если через $p_{ош}$ обозначить вероятность неправильной доставки груза из-за незнания объекта, то можно принять, что $p_{ош}$ убывает достаточно быстро по мере роста $t_{кр}$ – примем, что в первом приближении скорость убывания экспоненциальна. Отметим, что если $t_{кр} = 0$ (то есть крановщик вообще не знает объекта строительства), то выбор места осуществляется случайно с вероятностью успеха $1/n$, и, следовательно, вероятность неудачи равна $1 - 1/n$. Далее, при $n = 1$ необходимо $p_{ош}$ равно нулю, так как возможное место доставки груза единственно. Исходя из вышесказанного предлагается следующее выражение для оценки вероятности $p_{ош}$:

$$p_{ош} = \left(1 - \frac{1}{n}\right) \cdot \exp\{-\varepsilon_{обуч} t_{кр}\} \quad (3)$$

где $\varepsilon_{обуч}$ - коэффициент, описывающий интенсивность обучения крановщика.

Следующая возможная причина неправильной доставки груза связана с злоумышленными намерениями, в частности, с подготовкой к возможному хищению груза. Если $\mu_{зн}$ - есть интенсивность злонамеренных действий, то считается, что не менее 80% из них выполняются с участием персонала – интенсивность хищений с участием персонала равна $0,8\mu_{зн}$. Тогда промежуток времени между последовательными хищениями с участием персонала равен $1/(0,8\mu_{зн})$, а вероятность $p_{хищ.перс}$ того, что в течение рабочего дня не будет хищений с участием персонала, равна

$$p_{хищ.перс} = 1 - \exp\{-0,8\mu_{зн}t_{раб}\}, \quad (4)$$

где $t_{раб}$ – длительность рабочего дня.

Вероятность $p_{пл.прос}$ неправильной доставки груза из-за слабой просматриваемости строительной зоны, по аналогии с предыдущими функциями, где учитывались погодные условия и степень освещенности объекта, может быть оценена на основе соотношения:

$$p_{пл.прос} = 1 - \frac{\gamma_{прос}\lambda w}{1 + (l_{просм})^2} \quad (5)$$

где $l_{просм}$ - эффективная зона просмотра территории при идеальной погоде ($w = 1$) и полной освещенности ($\lambda = 1$), $\gamma_{прос}$ - подправочный коэффициент.

Вероятность $p_{уст}$ ошибочной доставки ввиду усталости крановщика зависит, прежде всего, от времени t непрерывной работы крановщика, от его состояния здоровья. Соотношение для вероятности $p_{уст}$ может быть получено на основе предположения, что эластичность этой вероятности постоянна, то есть при возрастании степени усталости на 1% процентное уменьшение вероятности $p_{уст}$ постоянно и равно некоторой константе $e_{уст}$. Тогда, если через $x_{уст}$ обозначить степень усталости крановщика, приведенное определение эластичности записывается в виде:

$$\frac{(dp_{уст} / p_{уст}) \cdot 100\%}{(dx_{уст} / x_{уст}) \cdot 100\%} = e_{уст},$$

откуда, решив полученное дифференциальное уравнение с учетом начального условия $p_{уст}(0) = 0$ (то есть, если нет усталости, вероятность ошибки по причине усталости равна нулю), имеем:

$$p_{уст}(x_{уст}) = 1 - \exp\{-e_{уст} x_{уст}\} \quad (6)$$

В свою очередь можно принять, что степень усталости пропорциональна времени $t_{раб}$ непрерывной работы крановщика и его физическому состоянию (состоянию здоровья) $y_{зд}$, уровню алкогольного $y_{алк}$ и наркотического $y_{нар}$ опьянения по шкале $[0; 1]$. При этом будем считать, что от состояния здоровья степень усталости зависит линейно, от уровня наркотического опьянения зависит квадратично, поскольку подрывает не только физическое состояние субъекта, но и его адаптивные реакции и действия. Наконец, алкогольное опьянение занимает промежуточное положение между указанными двумя состояниями, больше тяготея к больному состоянию, и поэтому можно принять, что зависимость имеет вид функции $y^{0,4}$. Таким образом, получаем следующее выражение для описания зависимости усталости от состояния крановщика:

$$x_{уст} = \theta_{зд} \cdot y_{зд} + \theta_{алк} \cdot y_{алк}^{0,4} + \theta_{нар} \cdot y_{нар}^2,$$

после подстановки которого в (6) получаем следующее соотношение:

$$p_{уст}(y_{зд}, y_{алк}, y_{нар}) = 1 - \exp\{-e_{уст} (\theta_{зд} \cdot y_{зд} + \theta_{алк} \cdot y_{алк}^{0,4} + \theta_{нар} \cdot y_{нар}^2)\},$$

или

$$p_{уст}(y_{зд}, y_{алк}, y_{нар}) = 1 - \exp\{-\alpha_{зд} \cdot y_{зд} - \alpha_{алк} \cdot y_{алк}^{0,4} - \alpha_{нар} \cdot y_{нар}^2\} \quad (7)$$

где $\alpha_{зд}$, $\alpha_{алк}$ и $\alpha_{нар}$ - подправочные коэффициенты, их возможные значения обсуждаются в следующем разделе.

На основе соотношений (3), (4), (5) и (7) получаем следующее выражение для функции $f_1()$:

$$\begin{aligned} f_1(n, t_{кр}, t_{раб}, y_{зд}, y_{алк}, y_{нар}, \lambda, w, l_{просм}) &= \\ &= 1 - p_{13, кв}^a (1 - p_{ош}) (1 - p_{хищ.перс}) (1 - p_{пл.перс}) (1 - p_{уст}) = \\ &= 1 - p_{13}^{a,0} \left(1 - \frac{1}{n}\right) \cdot e^{-\varepsilon_{дост} x - \varepsilon_{обуч} t_{кр} - 0,8 \mu_{зн} t_{раб} - \alpha_{зд} \cdot y_{зд} - \alpha_{алк} \cdot y_{алк}^{0,4} - \alpha_{нар} \cdot y_{нар}^2} \frac{\gamma_{прос} \lambda w}{1 + (l_{просм})^2} \end{aligned} \quad (8)$$

$$p_{13}^a = p_{13}^{a,0} \cdot \exp\{-\varepsilon_{дост} x\}$$

Параметрами функции $f_2()$ являются $\varepsilon_{обуч}$, $\mu_{зн}$, $\alpha_{зд}$, $\alpha_{алк}$, $\alpha_{нар}$, $\gamma_{прос}$.

Функция $f_2()$ предназначена для оценки вероятности нанесения повреждений (грузу, строительным конструкциям).

Основными причинами нанесения повреждений являются: а) недостаточный уровень квалификации крановщика; б) недостаточное знание объекта строительства; в) злой умысел – мотивы могут быть самые разные; г) низкая освещенность из-за плохой погоды или освещенности территории; д) усталость, вызванная напряженной и/или длительной работой; е) состояние опьянения (алкогольного или наркотического) крановщика; ж) появление посторонних предметов на маршруте перемещения груза либо в его конечном пункте.

В случае а) оценка вероятности p_{14}^a повреждения из-за недостаточного уровня квалификации крановщика может быть оценена аналогично случаю а) для предыдущей функции: $p_{14, кв}^a = p_{14}^{a,0} \cdot \exp\{-\varepsilon_{повр} x\}$, где $p_{14}^{a,0}$ - вероятность поломки для случая, когда крановщик не имеет специальной квалификации – эту величина близка к единице, а $\varepsilon_{повр}$ - коэффициент, учитывающий степень уменьшения вероятности поломки при увеличении квалификации крановщика на единицу.

Недостаточное знание объекта строительства, являющееся второй из возможных причин поломки, зависит от сложности объекта строительства и объема выполняемых работ, а также от подготовленности крановщика к выполнению работ на данном объекте. Пусть $n_{одн}$ есть число мест на объекте в зоне обслуживания ПТС, где одновременно выполняются строительные работы, v_i ($i = \overline{1; n_{одн}}$) – степень сложности i -ого места выполнения работ (в частности, ввиду его неполной просматриваемости, наличия дополнительных построек и строительных элементов) – v_i принимает натуральные значения 1, 2, ...; $t_{кр}$ – время работы крановщика на объекте. Тогда так же как и выше, если через $p_{незн}$ обозначить вероятность поломки груза из-за незнания объекта, то можно принять, что $p_{незн}$ убывает достаточно быстро по мере роста $t_{кр}$, и также как и выше, в первом приближении принять, что скорость убывания $p_{незн}$ по $t_{кр}$ экспоненциальная. Отметим, что если $t_{кр} = 0$ (как следствие, крановщик вообще не знает объекта строительства), то выбор места осуществляется случайно с вероятностью успеха $1/n$. Далее, если уровень квалификации крановщика равен x , а сложность места доставки равна v_i , то вероятность ошибочных действий крановщика, приведших к поломкам можно оценить величиной $(1-1/(v_i)^x)$, и, следовательно, вероятностью поломки для крановщика, который впервые оказался на объекте строительства, равна $p_{пол}^{(0)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n_{одн}} \left(1 - \frac{1}{v_i^x}\right)$. В частности, если сложность всех мест доставки груза на объекте равна единицы (то есть сложность минимальна), то есть $v_i = 1$ для всех i , то $p_{пол}^{(0)} = 0$. Исходя из вышесказанного предлагается следующее выражение для оценки вероятности поломки из-за незнания объекта $p_{пол}$:

$$p_{пол} = \frac{1}{n_{одн}} \sum_{i=1}^{n_{одн}} \left(1 - \frac{1}{v_i^x}\right) \cdot \exp\{-\varepsilon_{обуч} t_{кр}\} \quad (9)$$

где $\varepsilon_{обуч}$ - коэффициент, описывающий интенсивность обучения крановщика.

Следующая возможная причина поломки груза и/или строительных элементов в результате столкновения связана со злоумышленным намерениями, в частности, с подготовкой к возможному хищению груза и размещением груза в удобном для хищения месте. Если $\mu_{зн}$ - есть интенсивность злонамеренных действий, то считается, что не менее 80% из них выполняются с участием персонала. Следовательно, интенсивность хищений с участием персонала равна $0,8\mu_{зн}$. Тогда аналогично (9) можно получить следующее выражение для вероятности $p_{повр}$ того, что в течение рабочего дня не будет повреждений при попытке совершения злоумышленных действий с участием персонала:

$$p_{повр} = \frac{1}{n_{зл}} \sum_{i=1}^{n_{зл}} \left(1 - \frac{1}{v_{i,on}^x} \right) \cdot \exp\{-0,8\mu_{зн}t_{кр}\} \quad (10)$$

где $v_{i,on}$ ($i = \overline{1; n_{зл}}$) – степень сложности i -ого места, где может быть размещен груз, предназначенный для совершения злоумышленных действий (в частности, хищения), $v_{i,on}$ принимает натуральные значения 1, 2, ...; $n_{зл}$ - число всех указанных мест на объекте.

Вероятность $p_{пл.прос}$ поломки из-за слабой просматриваемости строительной зоны, по аналогии с предыдущей функцией, где учитывались погодные условия и степень освещенности объекта, может быть оценена на основе соотношения:

$$p_{пл.прос} = 1 - \frac{\gamma_{прос} \lambda w}{1 + (l_{прос.м})^2} \quad (11)$$

где $l_{прос.м}$ и $\gamma_{прос}$ определены выше.

Вероятность $p_{уст}$ поломки ввиду усталости крановщика оценивается совершенно так же, как и выше при анализе $f_1(\cdot)$; получаем аналогично (7):

$$p_{уст}(y_{зд}, y_{алк}, y_{нар}) = 1 - \exp\{-\alpha_{зд} \cdot y_{зд} - \alpha_{алк} \cdot y_{алк}^{0,4} - \alpha_{нар} \cdot y_{нар}^2\} \quad (12)$$

где значения коэффициентов $\alpha_{зд}$, $\alpha_{алк}$ и $\alpha_{нар}$, вообще говоря, отличаются от соответствующих коэффициентов в (7).

Оценим теперь вероятность $p_{столк}$ поломки из-за непредусмотренного столкновения переносимого груза с посторонними предметами, прежде всего, в момент опускания перенесенного груза и, возможно, при его подъеме. Если V_i есть производительность i -го ПТС на объекте строительства и $N_{об}$ - количество всех строительных рабочих, обслуживающих все ПТС, то i -ое ПТС в среднем будут обслуживать $N_{об,i} = N_{об} \cdot V_i / (V_1 + V_2 + \dots + V_K)$ рабочих, где K - число всех ПТС на объекте. Обозначая через $x_{ср}$ и $y_{ср}$ средний уровень квалификации и надежности рабочих, обслуживающих ПТС, можем записать следующее выражение для вероятности $p_{столк}$:

$$p_{столк} = 1 - (1 - (p_{ст}^{(0)})^{\frac{x_{ср} + y_{ср}}{2} N_{об,i}}) \quad (13)$$

где $p_{ст}^{(0)}$ - вероятность поломки по вине одного рабочего наименьшей квалификации ($x = 1$) и минимальной надежности ($y = 1$).

На основе соотношений (9), (10), (11), (12) и (13) получаем следующее выражение для функции $f_2()$:

$$\begin{aligned} f_2(t_{кр}, t_{раб}, y_{зд}, y_{алк}, y_{нар}, \lambda, w, l_{просм}, \{v_i\}, \{v_{i,он}\}, \{V_i\}, x_{ср}, y_{ср}) = \\ = 1 - p_{14,кв}^a (1 - p_{пол})(1 - p_{пл.прос})(1 - p_{повр})(1 - p_{уст})(1 - p_{столк}) = \\ = 1 - p_{14}^{a,0} \frac{1}{n_{одн}} \sum_{i=1}^{n_{одн}} \left(1 - \frac{1}{v_i^x}\right) \cdot \frac{1}{n_{зл}} \sum_{i=1}^{n_{зл}} \left(1 - \frac{1}{v_{i,он}^x}\right) * \\ * e^{-\varepsilon_{повр} x - \varepsilon_{обуч} t_{кр} - 0,8 \mu_{зн} t_{раб} - \alpha_{зд} \cdot y_{зд} - \alpha_{алк} \cdot y_{алк}^{0,4} - \alpha_{нар} \cdot y_{нар}^2} * \end{aligned}$$

$$* \frac{\gamma_{прос} \lambda w}{1 + (l_{просм})^2} \left(1 - \left(1 - (p_{см}^{(0)})^{\frac{x_{ср} + H_{ср}}{2} N_{об,i}} \right) \right) \quad (14)$$

Параметрами функции $f_2()$ являются $N_{об}$, $\varepsilon_{обуч}$, $\mu_{зн}$, $\alpha_{зд}$, $\alpha_{алк}$, $\alpha_{нар}$, $\gamma_{прос}$.

Функция $f_3()$ характеризует поломки и отказы в ПТС в процессе его работы. Основными причинами поломки ПТС те же, что и для функции $f_2()$, именно а) недостаточный уровень квалификации крановщика; б) недостаточное знание объекта строительства; в) злой умысел; г) низкая освещенность территории; д) усталость крановщика; е) состояние опьянения крановщика; ж) появление посторонних предметов на маршруте перемещения груза, а также з) нарушение правил перемещения груза (избыток веса, сильный ветер, негабаритные размеры груза и др.).

Оценка вероятности поломки ПТС по вине крановщика (случай а)) может быть оценена на основе соотношений, аналогичных случаю а) для предыдущих двух функций:

$$p_{15}^a = p_{15}^{a,0} \cdot \exp\{-\varepsilon_{повр.ПТС} x\} \quad (15)$$

Вероятность $p_{незн}$ повреждения ПТС из-за недостаточного знания объекта строительства, так же, как и для функции $f_2()$, может быть оценена на основе выражения:

$$p_{незн} = \frac{1}{n_{одн}} \sum_{i=1}^{n_{одн}} \left(1 - \frac{1}{v_i^x} \right) \cdot \exp\{-\varepsilon_{об} t_{кр}\} \quad (16)$$

где $n_{одн}$, v_i ($i = \overline{1; n_{одн}}$), $t_{кр}$ определены выше, а $\varepsilon_{об}$ - коэффициент, характеризующий интенсивность самообучения крановщика, способствующего уменьшению поломок ПТС.

Следующая возможная причина поломки груза и/или строительных элементов в результате столкновения связана со злоумышленным намерениями, в частности, с подготовкой к возможному хищению груза и

размещением груза в удобном для хищения месте. Аналогично (3.46) можно получить следующее выражение для вероятности $p_{зд}$ того, что в течение рабочего дня не будет повреждений при попытке совершения злоумышленных действий с участием персонала:

$$p_{зд} = \frac{1}{n_{зл}} \sum_{i=1}^{n_{зл}} \left(1 - \frac{1}{v_{i,on}^x} \right) \cdot \exp\{-0,8\mu_{зн} t_{кр}\} \quad (17)$$

Вероятность $p_{нл.прос}$ поломки из-за слабой просматриваемости строительной зоны, по аналогии с предыдущей функцией, может быть оценена на основе соотношения:

$$p_{нл.прос} = 1 - \frac{\gamma_{прос} \lambda w}{1 + (l_{просм})^2} \quad (18)$$

Вероятность $p_{уст}$ повреждения ПТС ввиду усталости крановщика оценивается совершенно так же, как и выше при анализе функции $f_{13}(\)$; получаем:

$$p_{уст}(y_{зд}, y_{алк}, y_{нар}) = 1 - \exp\{-\alpha_{зд} \cdot y_{зд} - \alpha_{алк} \cdot y_{алк}^{0,4} - \alpha_{нар} \cdot y_{нар}^2\} \quad (19)$$

где значения коэффициентов $\alpha_{зд}$, $\alpha_{алк}$ и $\alpha_{нар}$, вообще говоря, отличаются от соответствующих коэффициентов в (7).

Оценим теперь вероятность $p_{см}$ повреждения ПТС из-за непредусмотренного столкновения ПТС (в процессе переноса груза) с посторонними предметами. Аналогично выводу (13) получаем:

$$p_{см} = 1 - \left(1 - (p_{см}^0) \right)^{\frac{x_{ср} + y_{ср}}{2} N_{об,i}} \quad (20)$$

где $p_{см}^0$ - вероятность повреждения ПТС по вине крановщика, имеющего наименьшую квалификацию ($x = 1$) и минимальной надежности ($y = 1$).

Оценку вероятности $p_{нар.рег}$ повреждения ПТС из-за нарушения регламента перемещения грузов с помощью ПТС можно получить как

произведение вероятности $p_{нар.рег}$ нарушения регламента и вероятности $p_{пол.ПТС}$ того, что нарушение регламента привело к поломке ПТС.

Значение вероятности $p_{нар.рег}$ зависит от квалификации (умение соблюдать все правила и ограничения, приведенные в регламенте) и надежности как работника (готовность соблюдать все требования регламента) крановщика. Выражение для $p_{нар.рег}$ может быть получено аналогично (19):

$$p_{нар.рег}(x, y) = p_{нар.рег}^{(0)} \exp\{-\alpha_{нр}xy - \gamma_{кв}x - \gamma_{над}y\} \quad (21)$$

где $p_{нар.рег}^{(0)}$ - вероятность несоблюдения регламента крановщика совершенно некомпетентным ($x = 1$) и ненадежным ($y = 1$), $\alpha_{нр}$, $\gamma_{над}$ и $\gamma_{кв}$ константы.

Для оценки вероятности $p_{пол.ПТС}$ воспользуемся тем соображением, что проблема поломки ПТС в значительной степени связана с техническим состоянием ПТС, а техническое состояние ПТС (то есть его надежность) часто характеризуется распределением Вейбула-Гнеденко. Исходя из этого, для вероятности $p_{пол.ПТС}$ можем записать выражение:

$$p_{пол.ПТС} = \exp\{-\alpha_{пол}t_{кр}^{1,3}\} \quad (22)$$

где $t_{кр}$ - время работы с начала эксплуатации ПТС или после капитального ремонта, а $\alpha_{пол}$ - константа, описывающая интенсивность старения ПТС.

На основе (20) и (21) получаем следующее выражение для $p_{нар}$:

$$p_{нар}(x, y) = p_{нар.рег}^{(0)} \exp\{-\alpha_{нр}xy - \gamma_{кв}x - \gamma_{над}y - \alpha_{пол}t_{кр}^{1,3}\} \quad (23)$$

На основе соотношений (15), (16), (17), (18), (19), (20) и (13) получаем следующее выражение для функции $f_3()$:

$$\begin{aligned} f_3(t_{кр}, t_{раб}, y_{зд}, y_{алк}, y_{нар}, \lambda, w, l_{просм}, \{v_i\}, \{v_{i,on}\}, \{V_i\}, x_{ср}, y_{ср}) = \\ = 1 - p_{15,кв}^a (1 - p_{незн})(1 - p_{зд})(1 - p_{пл.прос})(1 - p_{уст})(1 - p_{ст})p_{нар} = \end{aligned}$$

$$= 1 - p_{15}^{a,0} \frac{1}{n_{одн}} \sum_{i=1}^{n_{одн}} \left(1 - \frac{1}{v_i^x} \right) \cdot \frac{1}{n_{зл}} \sum_{i=1}^{n_{зл}} \left(1 - \frac{1}{v_{i,он}^x} \right) \cdot e^{-\varepsilon_{повр.ПТС} x - \varepsilon_{об} t_{кр} - 0,8 \mu_{зн} t_{раб} - \alpha_{зд} \cdot y_{зд} - \alpha_{алк} \cdot y_{алк}^{0,4} - \alpha_{нар} \cdot y_{нар}^2} * \\ * \frac{\gamma_{прос} \lambda w}{1 + (I_{просм})^2} \left(1 - (1 - (p_{см}^0))^{\frac{x_{ср} + y_{ср}}{2} N_{об,i}} \right) p_{нар.рег}^{(0)} e^{-\alpha_{нр} x y - \gamma_{кв} x - \gamma_{над} y - \alpha_{пол} t_{кр}^{1,3}} \quad (24)$$

Параметрами функции $f_3()$ являются $p_{15}^{a,0}$, $p_{нар.рег}^{(0)}$, $n_{одн}$, $\varepsilon_{об}$, $\varepsilon_{повр.ПТС}$, $\mu_{зн}$, $\alpha_{зд}$, $\alpha_{алк}$, $\alpha_{нар}$, $\gamma_{прос}$, $\alpha_{нр}$, $\gamma_{кв}$, $\gamma_{над}$.

Анализ вида остальных вспомогательных функций предполагается провести в последующих работах автора.

Литература

1. Манжилевская С.Е., Шилов А.В., Чубарова К.В. Организационный инжиниринг // Инженерный вестник Дона, 2015, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3155.
2. Филь О.А., Власов Э.А. Система управления инвестиционно-строительных проектов с учетом региональных особенностей при их реализации // Инженерный вестник Дона, 2016, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3722.
3. Дорохов А.Ф., Магомадов Р.С. Математическая модель процесса использования подъемно-транспортных машин на объекте строительства. /Вестник АГТУ, Астрахань, 2016 г., №2 – с.46-63.
4. Ho S.P., Liu L.Y. An option pricing-based model for evaluating the financial viability of privatized infrastructure projects, Construction Management and Economics 20, 2002, pp. 143 – 156.
5. Филь О.А. Влияние факторов внешней среды на стоимость объекта незавершенного строительства // Инженерный вестник Дона, 2016, №1 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3563.



6. Fil O.A. Project Cost Management //Materials of the XI International scientific and practical conference, Trends of modern science, - 2015. Volume 5. Economic science. Sheffield. Science and education – pp.92-96.

7. Погорелов В.А., Жданов А.Н. Система управления инвестиционно-строительной организацией в условиях неопределенности // Инженерный вестник Дона, 2016, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3721.

8. Елисеева Т.А., Плахотникова Е.В., Соловьёв С.И. Анализ рисков принятия управленческих решений при использовании экспертных методов оценки надежности // Инженерный вестник Дона, №3 (2016), ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3681.

9. Магомадов Р.С. Магомадова Л.У. Формирование состава показателей оценки эффективности процесса использования подъемно-транспортных средств в строительстве. Сборник статей ЦНС “Международные научные исследования” по материалам VI международной научно-практической конференции: «Проблемы и перспективы современной науки», Часть 2, г. – Москва. “ISI-journal”, 2016. – с.38-43.

10. Магомадов Р.С., Магомадова Л.У. Показатели оценки эффективности использования подъемно-транспортных средств в строительстве. Новые задачи технических наук и пути их решения (сборник статей международной научно-практической конференции) 2015 г. Уфа Аэтерна, с.60-65.

References

1. Manzhilevskaja S.E., Shilov A.V., Chubarova K.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2015. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3155.

2. Fil' O.A., Vlasov Je.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №3. URL: iv-don.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3722.



3. Dorohov A.F., Magomadov R.S. Vestnik AGTU, Astrahan', 2016 g., №2, pp.46-63.

4. Ho S.P., Liu L.Y. An option pricing-based model for evaluating the financial viability of privatized infrastructure projects, Construction Management and Economics 20, 2002, pp. 143 – 156.

5. Fil' O.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3563.

6. Fil O.A. Project Cost Management. Materials of the XI International scientific and practical conference, Trends of modern science, 2015. Volume 5. Economic science. Sheffield. Science and education, pp.92-96.

7. Pogorelov V.A., Zhdanov A.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3721.

8. Eliseeva T.A., Plahotnikova E.V., Solov'jov S.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3681.

9. Magomadov R.S. Magomadova L.U. Sbornik statej CNS “Mezhdunarodnye nauchnye issledovanija” po materialam VI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii: «Problemy i perspektivy sovremennoj nauki», Chast' 2, g. Moskva. : “ISI-journal”, 2016. pp.38-43.

10. Magomadov R.S., Magomadova L.U. Pokazateli ocenki jeffektivnosti ispol'zovanija pod#emno-transportnyh sredstv v stroitel'stve. [Indicators for assessing the efficiency of the use of materials handling equipment in the building] Novye zadachi tehniceskikh nauk i puti ih reshenija (sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii) 2015g. Ufa Ajeterna, pp.60-65.