

А.В. Васильченко, канд. техн. наук, доцент, УГЗУ
Н.Н. Стец, адъюнкт УГЗУ

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА РИСКА ТРАВМИРОВАНИЯ ЛЮДЕЙ ПРИ ЭВАКУАЦИИ ИЗ ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Предложен метод сравнения технических средств эвакуации людей из высотных зданий на основе тросовой, рукавной и парашютной систем, заключающийся в расчете рисков тяжелого травмирования при работе этих систем в нормальном и ненормальном режимах

Постановка проблемы. Высотные здания, относящиеся к объектам повышенной опасности, требуют тщательной разработки методов как предотвращения пожаров, так и безопасной эвакуации людей. Этой цели служат оптимальным образом расположенные основные пути эвакуации – лестницы, размещенные в незадымляемых лестничных клетках. Однако часто возникают проблемы, связанные с необходимостью спасения людей, оказавшихся отрезанными от основных путей эвакуации. В этом случае есть только один выход – воспользоваться техническими средствами эвакуации (ТСЭ). В высотном здании профессиональным спасателям может не хватить времени для того, чтобы прийти на помощь людям при пожаре. Поэтому люди, оказавшиеся в подобной ситуации должны иметь возможность спастись самостоятельно, используя наиболее пригодные для этого ТСЭ. Данная работа посвящена проблеме выбора ТСЭ для оснащения существующих и проектируемых высотных зданий.

Анализ последних исследований и публикаций. В более ранних публикациях на тему использования ТСЭ рассматривались вопросы их классификации, расчета времени эвакуации с помощью различных систем [1], сравнения индивидуальных тросовых ТСЭ [2]. На основании этих работ наметилась возможность сравнить эффективность не только конструктивно схожих, но и принципиально различных средств эвакуации.

Постановка задачи и ее решение. При оснащении высотного здания ТСЭ необходимо определить их количество, а также типы и оптимальное размещение в помещениях по этажам. Но, кроме этого, требуется сделать выбор из довольно большого числа предлагаемых различных ТСЭ в пользу одного или ограниченного их числа. Для решения этой задачи нужно обнаружить, проанализировать и сравнить сходные характеристики предложенных средств, существенно влияющие на их функционирование и эксплуатацию.

- Каждое ТСЭ, независимо от конструкции можно охарактеризовать:
- стоимостью использования, куда входят цена устройства и затраты на его эксплуатацию;
 - фактическим временем эвакуации, зависящим от количества спасаемых людей и высоты (этажа), но включающим также время поиска ТСЭ и приведения их в рабочее положение;
 - риском тяжелого травмирования людей, который зависит, главным образом, от скорости спуска и высоты (этажа).

Стоимость использования однозначно характеризует конкретное ТСЭ, она может быть рассчитана или определена договором с поставщиком, но не может быть принята решающим показателем без учета последующих двух характеристик.

Время эвакуации также можно рассчитать по формулам из [1], исходя из данных, предоставленных производителем ТСЭ, а также полученных методом экспертных оценок.

Риск тяжелого травмирования людей рассматривался как критерий сравнения при выборе тросовых ТСЭ в [2]. Под тяжелым здесь подразумевается травмирование, при котором человек, воспользовавшийся ТСЭ, после приземления не может самостоятельно покинуть зону эвакуации (например, при переломе или вывихе ног, переломе позвоночника, сотрясении мозга, а также при летальном исходе). Проверим, можно ли воспользоваться этим же методом для сравнения принципиально различных ТСЭ? Для примера сравним устройства на основе тросовой системы, рукавной системы и специальных парашютов.

Риск травматизма (R_{mp}) при использовании определенного спасательного устройства в общем случае можно записать как

$$R_{mp} = P_{mp} \cdot U , \quad (1)$$

где P_{mp} – вероятность травмирования;
 U – ожидаемый ущерб от травмирования.

Однако, чаще находит применение вероятностная интерпретация меры риска (без учета величины ущерба).

Вероятность травмирования (P_{mp}) во всех случаях может быть обусловлена техническими причинами (например, как вероятность отказа тормозного устройства), воздействием опасных факторов пожара (ОФП) на пути спасаемого человека с высоты к земле, а также психологическими факторами (например, воздействием сильного стресса).

Математически это можно выразить так:

$$P_{mp} = P_{mex} + P_{офп} + P_{ncu} - P_{mex} \cdot P_{офп} - P_{mex} \cdot P_{ncu} - P_{ncu} \cdot P_{офп} + P_{mex} \cdot P_{офп} \cdot P_{ncu}, \quad (2)$$

где P_{mex} – вероятность травмирования, обусловленная техническими причинами (неисправностью механизма и т.п.);

$P_{офп}$ – вероятность травмирования при воздействии опасных факторов пожара;

P_{ncu} – вероятность травмирования спасаемого, обусловленная психологическим фактором (воздействием сильного стресса).

Значения вероятностей можно получить: из статистических данных, представленных производителем ТСЭ; методом экспертных оценок; в результате расчетов. Более детально причины травмирования показаны в табл.1.

Таблица 1 – Наиболее вероятные причины травмирования при использовании ТСЭ

Фактор	Тросовые ТСЭ	Рукавные ТСЭ	Специальные парашюты
P_{mex} – технические причины (неисправность механизма)	– поломка или заклинивание механизма торможения	– разрыв рукава	– нераскрытие парашюта
	– обрыв троса, крепления	– обрыв крепления рукава	–
	– нарушение нормальной работы автоматического тормоза	–	–
$P_{офп}$ – воздействие ОФП	– воздействие непосредственно на человека	–	– воздействие непосредственно на человека
	– воздействие на устройство	– воздействие на рукав непрерывно	– воздействие на парашют
P_{ncu} – воздействие стресса	– неправильное регулирование скорости спуска	– неправильное регулирование скорости спуска	– неправильное регулирование скорости спуска
	– неправильная группировка при приземлении	– неправильная группировка при приземлении	– неправильная группировка при приземлении

Надо обратить внимание на влияние скорости спуска на выбранные вероятностные факторы. При ее повышении (вследствие нарушения нормальной работы механизма торможения или неправильного

регулирования скорости спуска) возрастает вероятность травмирования из-за удара. Вероятность воздействия ОФП в этом случае снижается. При снижении скорости спуска (из-за заклинивания механизма торможения или неправильной его регулировки) увеличивается вероятность травмирования в результате более длительного негативного воздействия ОФП.

Из анализа табл.1 видно, что каждому фактору (P_{mex} , $P_{офп}$, P_{ncu}) для разных устройств можно привести в соответствие, в основном, похожие причины травматизма. А это значит, что ТСЭ, основанные на разных принципах, можно сравнивать друг с другом и при этом (пусть даже с оговорками) пользоваться одними и теми же эмпирическими формулами. Например, из [3] можно применить эмпирическую формулу для расчета вероятности тяжелого травмирования вследствие удара с большой скоростью (V) о землю.

$$P_{mex} = 57.2 \cdot 10^{-6} \cdot V^2 + 0.9 \cdot 10^{-6} \cdot e^V - 448 \cdot 10^{-6} . \quad (3)$$

Вероятность тяжелого травмирования при воздействии ОФП зависит от времени этого воздействия, а следовательно, от высоты (H) и скорости (V) спуска. Она вычисляется по эмпирической формуле из [3]:

$$P_{офп} = H \cdot (240 \cdot V)^{-1} . \quad (4)$$

Подставив (3) и (4) в (2) и приняв $P_{ncu} = const$ можно, продифференцировав получившуюся формулу по dV и приравняв ее нулю, вычислить оптимальную скорость спуска с выбранных высот здания для различных типов ТСЭ.

Сказанное выше больше относится к тросовым устройствам, которые при нормальной работе испытывают воздействие ОФП сравнительно недолго, от 15 до 40 секунд.

Воздействие ОФП при эвакуации на специальном парашюте минимально или в любом случае не превысит 15 с, поэтому для парашютной системы можно принять $P_{офп} = 0$.

Рукавное ТСЭ предназначено для коллективного использования. Время его функционирования зависит от количества эвакуируемых людей и с учетом времени, необходимого для подготовки к работе, может составлять от 150 до 600 секунд. При воздействии ОФП этого времени достаточно для приведения спасательного устройства в негодность. Поэтому рукавные ТСЭ устанавливаются в местах не подверженных действию ОФП и для них $P_{офп} = 0$.

Значения P_{ncu} можно определить экспериментально или методом экспертной оценки. В то же время, вероятность травмирования спасаемого из-за воздействия сильного стресса обусловлена его ошибочными действиями при необходимости быстрого принятия решения. Т.е. вероятность травмирования можно приравнять вероятности принятия ошибочного решения. В [4] показано, что при времени принятия решения меньше 5 минут вероятность принятия ошибочного решения равна 0.1, и она нелинейно увеличивается при сокращении этого времени.

Поскольку скорости спуска для каждого спасательного устройства рекомендованы техническими условиями, то, используя их и принимая во внимание высказанные выше соображения, можно вычислить риск травматизма при эвакуации с разных высот с помощью различных типов ТСЭ. Значения P_{ncu} выбираются на основании данных [4] с учетом скорости спуска и конструктивных особенностей рассматриваемых ТСЭ. Результаты расчетов рисков тяжелого травматизма при эвакуации с помощью различных ТСЭ в режимах, рекомендованных техническими условиями, представлены в табл.2. Для тросовых ТСЭ значение P_{ncu} уменьшено, т.к. скорость регулируется автоматически.

Таблица 2 – Вероятность тяжелого травмирования при эвакуации с помощью различных ТСЭ в нормальном режиме

Высота спуска	Вероятность тяжелого травмирования, P_{mp}		
	Тросовые ТСЭ с автоматическим управлением, $V=3 \text{ м/с}, P_{ncu}=0.05$	Рукавные ТСЭ, $V=3 \text{ м/с}, P_{ncu}=0.125$	Специальные парашюты, $V=7 \text{ м/с}, P_{ncu}=0.3$
45 м (16 этаж)	0,08664	0,12507	0,30230
63 м (22 этаж)	0,10087	0,12507	0,30230
87 м (30 этаж)	0,11985	0,12507	0,30230
120 м (40 этаж)	0,14595	0,12507	0,30230

Применить предложенную методику можно и для случаев, когда спасение с помощью ТСЭ проходит нештатно и скорость спуска увеличивается. Это возможно вследствие неисправности автоматического механизма торможения тросового устройства или повреждения рукава. Также возможно увеличение скорости при неправильном пользовании неавтоматическим механизмом торможения или из-за неумелого ее регулирования в длинном рукаве. При этом будет увеличиваться и значение фактора P_{ncu} . Случай неисправности (нераскрытия) парашюта и вовсе нет смысла рассматривать. Результаты соответствующих расчетов для тросовой и рукавной систем представлены в табл.3.

Таблица 3 – Вероятность тяжелого травмирования при эвакуации с помощью различных ТСЭ в ненормальном режиме

Высота спуска	Тросовые ТСЭ с автоматическим управлением		
	$V=5 \text{ м/с}, P_{ncu}=0.15$	$V=7 \text{ м/с}, P_{ncu}=0.275$	$V=10 \text{ м/с}, P_{ncu}=0.5$
45 м (16 этаж)	0,18278	0,29674	0,52105
63 м (22 этаж)	0,19552	0,30448	0,52471
87 м (30 этаж)	0,21250	0,31481	0,52959
120 м (40 этаж)	0,23585	0,32900	0,53630
	Рукавные ТСЭ		
	$V=5 \text{ м/с}, P_{ncu}=0.25$	$V=7 \text{ м/с}, P_{ncu}=0.35$	$V=10 \text{ м/с}, P_{ncu}=0.55$
45 м - 120 м	0,25083	0,35214	0,56071

Выводы. Таким образом, с оговоренными допущениями удалось рассчитать риски тяжелого травмирования людей при эвакуации из высотного здания с помощью различных ТСЭ в условиях штатного и нештатного режима работы.

На основании приведенных данных, можно, рассчитав для разных ТСЭ риски тяжелого травмирования и время эвакуации из высотного здания, а также приняв во внимание их стоимость, объективно оценить и сравнить выбранные ТСЭ. Это позволит разработать для высотных зданий обоснованные требования к ТСЭ либо рекомендовать для использования ТСЭ с надлежащими характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильченко О.В., Стець М.М. Визначення часу евакуації людей з верхніх поверхів висотних будівель за допомогою індивідуальних технічних засобів. // Сб. науч. трудов УГЗ України «Проблеми пожежної безпеки». – Вып.20.– Харьков: Фолио, 2006. – С. 33-36
2. Васильченко О.В., Стець М.М. Сравнительная оценка безопасности эвакуации людей из высотных зданий при помощи различных тросовых систем. // Зб. наук. праць УЦЗ України «Проблеми надзвичайних ситуацій». – Вип.5.– Харків: УЦЗУ, 2007. – С. 54-60.
3. Харисов Г.Х. Аварийно-спасательные работы. – М.: МИПБ МВД России, 1999. – 110 с.
4. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем: Учебник/ Л.Н.Александровская, И.З.Аронов, А.И.Елизаров; Под ред. В.П.Соколова. –М.: Логос, 2001.