

В.Н. Неделько, М.Ф. Семенюта, В.Н. Стратонов

## Обоснование метода выбора оптимального места вынужденной посадки воздушного судна на водную поверхность

Изложены результаты разработки метода выбора оптимального места вынужденной посадки воздушного судна на водную поверхность. Проанализированы случаи приводнений, изложены результаты экспертных опросов и общая концепция метода решения задачи эвакуации.

**Ключевые слова:** вынужденная посадка, воздушное судно, приводнение, экспертный опрос, ориентированный граф, алгоритм Дейкстры, маршрут эвакуации.

Викладено результати розробки методу вибору оптимального місця вимушеної посадки повітряного судна на водну поверхню. Проаналізовано випадки приводень, викладено результати експертних опитувань та загальна концепція методу розв'язання задачі евакуації.

**Ключові слова:** вимушена посадка, повітряне судно, приводнення, експертне опитування, орієнтований граф, алгоритм Дейкстри, маршрут евакуації.

**Введение.** Ежедневно большое количество авиaperелетов выполняется над акваториями различных морей и рек. В некоторых случаях, таких как полеты вертолетов к нефтедобывающим платформам, которые находятся в открытом море – это ежедневная практика. Рассмотрим конкретные случаи вынужденных посадок на водную поверхность, завершившиеся успешно, выделены следующие: посадка Ту-124 на Неву в пределах г. Ленинграда (нынешний Санкт-Петербург) [1] и посадка Airbus 320 на реку Гудзон в пределах г. Нью-Йорка [2]. Благодаря достаточно удачно принятым решениям командиров воздушных судов (ВС), экипажи и пассажиры были спасены и только некоторые из них получили незначительные травмы или переохлаждения.

Характерная особенность для обоих случаев – они выполнялись на территории крупных городов, причем очевидцами авиационных происшествий стали сотни или даже тысячи людей. Кстати, спасательные операции и эвакуация пострадавших проводились оперативно (еще до момента полного погружения фюзеляжа ВС в воду) надводными средствами спасания, которые базировались в пределах городов и были вовремя проинформированы. При спасательной операции на реке Гудзон применены суда гражданского назначения, которые в момент приводнения располагались недалеко.

Также стоит отметить условно удачную (23 погибших и 40 спасенных) вынужденную по-

садку ВС DC-9-33CF на поверхность Карибского моря недалеко от острова Санта-Крус [3]. В этом случае, посадка обусловлена неблагоприятными погодными условиями, а именно несоответствием погоды посадочному минимуму. Данное обстоятельство заставило командира ВС выполнить вынужденную посадку вне аэродрома. Первый вертолет прибыл на место происшествия для проведения эвакуации только через полчаса.

Проанализировав названные случаи (причины возникновения и факторы, повлиявшие на выживаемость), а также принимая во внимание несовершенство и недостаточную эффективность существующих механизмов консультативного обеспечения, направленных на подбор оптимального места выполнения посадки, была поставлена задача разработать метод, который бы обеспечивал выбор наиболее эффективного места посадки с точки зрения выживаемости, с учетом состояния окружающей среды, инфраструктуры ближайших населенных пунктов и скорости эвакуации в медицинские учреждения.

### Постановка задач исследования

Основные задачи, которые освещаются в данной статье, такие:

- Разработка метода расчета оптимального маршрута проведения эвакуационных действий от места вынужденной посадки на водную поверхность к местам оказания специализированной медицинской помощи.

- Оценка факторов, влияющих на выполнение вынужденной посадки на водную поверхность, и процесс дальнейшего выживания.

- Оценка факторов, способствующих успешности выполнения эвакуационных действий с ВС, которое приводилось в воду или на плавсредство.

#### **Анализ исследований и публикаций**

Задачей, смежной по направлению исследования, занимался Москвичев В.В. в работе [4]. Он предложил классифицировать и распределить подстилающую поверхность земли на однородные по своему составу и качеству, а также на одинаковые по размерам участки. Экспертами данные участки оценены по степени пригодности выполнения на их поверхность вынужденной посадки, в том числе рассмотрена и исследована водная поверхность. Вопросы гидродинамики вынужденных посадок на водную поверхность освещены в работе [5]. Проектами, связанными с обеспечением безопасности при вынужденных посадках ВС на водную поверхность, занимается Технический университет г. Гамбург [6].

Авторами проведен анализ публикаций, в которых рассмотрено моделирование движения по оптимальному маршруту [7–8]. Поиск такого маршрута осуществляется с использованием методов и алгоритмов теории графов. При этом граф выступает в качестве модели изучаемого объекта, а решение конкретной задачи сводится к поиску определенного подграфа, обладающего необходимыми свойствами. Обычно, требования оптимизации задаются в виде критерия выбора наилучшего, в определенном смысле, решения из множества допустимых. Тем самым, задачи комбинаторной оптимизации на графах по своей сути – это задачи принятия решений. Они широко используются в искусственном интеллекте, робототехнике и других научных областях.

#### **Результаты исследования**

***Определение комплексных факторов и их влияния на выживаемость при авиационных происшествиях, связанных с вынужденными посадками на водную поверхность***

Факторы, которым после исследований даны весовые показатели, представлены в виде

рейтингового списка и сокращены до первых (самых важных) пяти. Сначала экспертам на рассмотрение и оценку влияния предложено ряд комплексных факторов. Цель опроса – определение тех комплексных факторов, которые имели существенное влияние на выживаемость при авиационных происшествиях, связанных с вынужденной посадкой на водную поверхность. Авторами статьи применялся метод Дельфи, а в качестве экспертов выбраны специалисты и практики по летному делу, геоинформационным системам и специалисты в области логистики. Обработка полученных данных проводилась по общепринятым формулам, в результате применения которых были найдены:  $R_{cp}$  – среднее значение оценок экспертов,  $D_i$  – исправленная выборочная дисперсия,  $\sigma_i$  – среднеквадратическое отклонение,  $v_i$  – коэффициент вариации. После проведения первого тура опроса только один фактор остался несогласованным (коэффициент вариации составил 43 процента), после проведения второго удалось достичь согласованности по всем комплексным факторам, а коэффициент конкордации составил 98 процентов. На основании опроса выделены три комплексных фактора: *условия посадки, время эвакуации, пригодность населенного пункта к оказанию помощи пострадавшим*, которые по набранным баллам значительно опережали остальных. Для исследования факторов условия посадки и пригодность населенного пункта к оказанию помощи пострадавшим, в связи со спецификой оцениваемых факторов, использован метод сопоставления (парное сравнение). После обработки полученных от экспертов результатов по упомянутому подходу, и достижения согласованности ( $W = 0,84$ ) определены весовые показатели. Метод перехода от ранга к весовым показателям предполагает линейную зависимость между полученным рангом и показателем относительной ценности показателя эффективности. Результаты представлены в табл. 1.

К весовым показателям из табл. 1 применена методика вычислений, описанная в работе [4] и определен суммарный показатель наличия ресурсов населенных пунктов, которые

могут быть задействованы при оказании помощи пострадавшим в результате приводнения летательных аппаратов.

**Таблица 1.** Весовые показатели элементов инфраструктуры населенных пунктов, отображающие пригодность к оказанию помощи пострадавшим в случае вынужденной посадки на водную поверхность

№ фактора согласно степени важности	Название фактора	Весовой показатель
1.	Наличие в населенном пункте морского судна, которое возможно привлечь к поисково-спасательным работам (любой формы собственности)	0,109
2.	Наличие медицинского учреждения любой специализации, имеющий в своем штате персонал, способный оказать первую медицинскую помощь	0,107
3.	Наличие в населенном пункте ВС, которое возможно привлечь к поисково-спасательным работам (любой формы собственности)	0,0893
4.	Наличие в медицинском учреждении реанимационного отделения	0,0866
5.	Наличие в населенном пункте сухопутных подразделений, специализирующихся на поисково-спасательных и аварийно-спасательных работах	0,0833

Рассмотрим факторное пространство. Пусть суммарный показатель наличия ресурсов населенных пунктов определяется уравнением вида:

$$K_{n,p} = \varphi(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n), \quad (1)$$

где  $X_i$  – параметр, отвечающий  $i$ -му фактору в момент возникновения вынужденной посадки, и  $X_i \in X$ ;  $n$  – количество факторов, которые могут быть задействованы при оказании помощи пострадавшим в результате приводнения летательных аппаратов;  $\varphi(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n)$  – некоторая функция, связывающая факторы, которые могут быть задействованы при оказании помощи пострадавшим в результате приводнения летательных аппаратов.

Далее рассмотрим влияние комплексного фактора условия посадки. Коэффициент корреляции  $W$  по Кендаллу составил 0,78. По результатам обработки данных составлена табл. 2.

**Таблица 2.** Весовые показатели факторов комплексного фактора условия посадки

№ фактора согласно степени важности	Название фактора	Весовой показатель
1.	Волнение водной поверхности (шторм пять и более баллов)	0,0849
2.	Температура воды в районе выполнения посадки от 0 до +10°C	0,0835
3.	Волнение водной поверхности (шторм 3–5 баллов)	0,0821
4–5.	Наличие сплошного льда толщиной менее 15 см	0,0683
4–5.	Наличие ветра в районе посадки, как фактора, препятствующего выполнению захода на посадку на выбранный участок (5–15 м/с)	0,0683

Аналогично, как и в случае табл. 1, обобщены рассмотренные факторы и осуществлена их оценка.

### *Построение математической модели оптимизации процесса эвакуации*

Комплексный фактор *время эвакуации* решено рассматривать с точки зрения переменной величины в задаче поиска оптимального маршрута эвакуации. Места вынужденного приводнения, временного размещения пострадавших (МВРП), оказания специализированной медицинской помощи (медицинские учреждения) и отдельные пункты маршрута представлены в качестве вершин графа. В качестве ребер используются участки маршрута эвакуации. Для максимизации количества выживших членов экипажа и пассажиров, необходимо построить математическую модель оптимизации процесса организации эвакуации пострадавших с места приводнения в медицинское учреждение с остановкой в МВРП. Факторами, учтенными при расчетах, решено принять *среднее время прохождения участка эвакуации* и *способность к оказанию медицинской помощи медицинским учреждением*. Последний из факторов связан с концепцией «Золотого часа», смысл заключается в том, что предоставление специализированной медицинской помощи – критически важен в течение часа с момента приобретения характерных для авиационных событий политравм. Считается, что, оказав помощь в первые 15 минут, удастся спасти 50 процентов пострадавших, в дальнейшем каждые 20 минут указанный показатель снижается на 15 процентов.

Для обеспечения единого информационного пространства исследуемой задачи, предлагаем в качестве математической модели использовать специальный орграф  $G = (V, E)$ , на множестве ребер которого задана весовая функция  $w: E \rightarrow R_+$ . Для любого подмножества  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\} \subset E$  определим вес по формуле:

$$W(X) = \sum_{i=1}^k w(x_i), \quad (2)$$

где  $w(x_i)$  – вес ребра  $x_i \in E$ . Нужно найти подграф, порожденный  $X$ , с минимальным весом  $W(X)$ .

Вершины  $G$  разделим на три типа в зависимости от назначения. К вершинам первого типа отнесем те, которые отвечают МВРП, второго – медицинским учреждениям, а к третьему типу – все остальные. Обозначим  $V_1 = \{v_1^1, v_2^1, \dots, v_k^1\}$ ,  $V_2 = \{v_1^2, v_2^2, \dots, v_n^2\}$  – множество вершин первого и второго типов соответственно, а  $U = V - (V_1 \cup V_2)$  – множество вершин третьего типа, его элементы назовем промежуточными вершинами.

### **Общая концепция метода решения задачи об эвакуации**

Метод решения задачи об оптимальном плане эвакуации пострадавших на специальном орграфе  $G$  можно разделить на три этапа:

- 1) поиск на  $G$  кратчайшего пути от каждой вершины первого типа к вершинам второго;
- 2) выбор способов учета оказания медицинской помощи в необходимом объеме;
- 3) выбор оптимального плана на орграфе  $G$  в соответствии с дополнительными условиями п. 2.

В качестве веса дуги орграфа  $G$  берем среднее время передвижения на данном участке соответствующей дороги. Разобьем  $G$  на такие ориентированные подграфы  $G_i = (V'_i, E'_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$ , что  $V'_i = \{v_i^1\} \cup V'_{1,i} \cup V'_{2,i} \cup U'_i$ , где  $V'_{1,i} \subseteq V_1 - \{v_i^1\}$ ,  $V'_{2,i}$  – множество мощности  $s$ ,  $s \leq n$  и  $V'_{2,i} \subseteq V_2$ . Элементами множества  $E'_i$  есть те дуги  $G$ , которые принадлежат маршрутам из  $v_i^1$  к каждой вершине из  $V'_{2,i}$ .  $U'_i$  – множество промежуточных вершин, инцидентных соот-

ветствующим дугам с  $E'_i$ . Все вершины из  $V'_{2,i}$  в орграфе  $G_i$ , достижимые из вершины  $v_i^1$ , и каждый  $G_i$  не содержит контуры отрицательной длины. Полустепень захода для вершины  $v_i^1$  в  $G_i$  равна нулю.

На первом этапе необходимо осуществить поиск кратчайшего пути от каждой вершины первого типа к вершинам второго. Понятно, что между заданными вершинами в общем случае существует несколько путей различной продолжительности, причем количество этих путей не бесконечно. Таким образом, можно перебрать все возможные пути и выбрать из них самый короткий. Однако полный перебор всех возможных вариантов в реальных задачах может быть неэффективным или вообще не осуществимым, учитывая их большое количество. Значительно сократить количество вариантов перебора можно с помощью известных алгоритмов. В свою очередь, расчет оптимального маршрута эвакуации проводился по следующему алгоритму:

1. Задание сети  $G_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$ , матрицей весов  $D_i = (d_{lj})$ , где  $l, j = 1, 2, \dots, n$  и  $d_{lj}$  – вес ребра является средним временем передвижения от вершины  $i$  к вершине  $j$  на  $G_i$ .
2. Расчет, согласно алгоритму Дейкстры, кратчайших путей на  $G_i$ .
3. Нахождение совокупности кратчайших маршрутов, составляющих корневое ориентированное дерево в  $G_i$  с корнем в вершине  $v_i^1$ . Вершины  $v_j^2$  в этом дереве имеют нулевую полустепень выхода и  $v_j^2 \in V'_{2,i}$ .
4. Выбор среди множества маршрутов шага 2 коротких путей, ведущих в  $G_i$  от  $v_i^1$  ко всем вершинам  $v_j^2 \in V'_{2,i}$ , где  $j = 1, 2, \dots, s$ ,  $s \leq n$ .
5. Построение массива  $B_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{in})$  для соответствующего  $i$  на основе шага 4, где  $b_{ij}$  – длина минимального пути на  $G_i$  от определенной вершины  $v_i^1$  к вершине  $v_j^2 \in V'_{2,i}$ ,  $j = 1, 2, \dots, s$ ,  $s \leq n$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$ .

6. Анализ элементов массива  $B_i$ . Если  $b_{ij} \neq \infty$ , то переход к шагу 7, иначе ищем следующий элемент массива  $B_i$ , отличный от  $\infty$ .

7. Сравнение  $b_{ij}$  и нахождения процента пострадавших, выживших в  $p$ -й период, где  $p = 1, 2, \dots$ . Пусть  $t$  – время, затраченное на эвакуацию в МВРП, в минутах. Если  $0 < t + b_{ij} \leq 15$ , то удастся спасти около 50 процентов пострадавших с тяжелыми политравмами, т.е. каждую минуту погибает 3,(3) процента из них. Если  $t + b_{ij} > 15$ , то период рассчитывается по формуле  $p = \lceil (t + b_{ij} - 15) : 20 \rceil + 1$  и вероятность наступления смерти равна  $(50 + 0,75(t + b_{ij} - 15))\%$  процентов для  $p \geq 2$ , т.е. вероятность выжить в этот период составляет  $(50 - 0,75(t + b_{ij} - 15))\%$ .

8. Вывод корневого ориентированного взвешенного дерева из шага 3 и процент пострадавших, которые выжили в  $p$ -й период времени.

С целью исследования математической модели и проверки ее качественных показателей проведен вычислительный эксперимент, где рассматривалась ситуация вынужденной посадки ВС АН-148 вблизи с. Рыбаковка. На основе результатов вычислений сформирован граф принятия решений, на котором для каждого МВРП отражен оптимальный вариант эвакуации от места приводнения в медицинское учреждение. Руководствуясь данной консультативной информацией, командир ВС будет в состоянии принять оптимальное для конкретного случая решение. Для эффективного восприятия информации, планируется ее графический вывод (в виде карты) с отметками направления выполнения посадки и маршрута эвакуации на суше.

**Оценка факторов, влияющих на успешность выполнения эвакуационных действий с приводненного ВС**

Эффективно отработать все возможные сценарии, сопровождающие такие авиационные происшествия, как приводнение – невозможно, что обусловлено многими факторами, среди которых следует выделить непредсказуемость возможных повреждений ВС при приводнении, сочетание воздействия замкнутого пространства и воды на способность человека при-

нимать решения и на успешность эвакуации в целом, влияние окружающей среды, психологических факторов, организацию и эвакуацию, способность людей эффективно и своевременно использовать бортовое аварийно-спасательное оборудование (БАСО) в условиях дефицита времени и др. Отсутствие имитации упомянутых факторов при подготовке снижает реалистичность имитационной модели тренажера. В реальной обстановке учет влияния данных факторов может сыграть решающую роль в сохранении жизни.

Цель опроса – выделение среди многих факторов, влияющих на процесс эвакуации, первоочередных, которые можно было бы смоделировать или симитировать при тренировках на тренажерном комплексе. Эксперты оценивали факторы по шкале от нуля до 100 баллов. Экспертная группа состояла из военнослужащих 15-й бригады транспортной авиации, пилотов гражданской авиации и специалистов по вопросам поиска и спасания.

Описанные факторы были разделены на группы, отражающие этапы проведения эвакуации с ВС, которое приводнилось. Всего выделено три основных этапа проведения эвакуации:

1. *Начальный*. С момента приводнения до начала эвакуации. Процесс перемещения от первоначального места нахождения к месту выхода из ВС;

2. *Эвакуация*. Перемещение от выхода с борта ВС в воду или на плавсредство;

3. *Выживание*. Пребывание в воде или на плавсредстве.

Обработка полученных данных проводилась согласно упомянутому алгоритму, а окончательные выводы о согласованности сделаны после определения обобщенного коэффициента ранговой корреляции. Коэффициент конкордации  $W$  для этапа 1 составил – 0,977; для этапа 2 – 0,9395; для этапа 3 – 0,961. На основе приведенных коэффициентов можно сделать вывод, что согласованность мнений экспертов высока, а результат достоверен (согласно распределению  $\chi$ -квадрат). Результаты исследования приведены в табл. 3–5.

**Таблица 3.** Начальный. С момента приведения до начала эвакуации

№ фактора согласно степени важности	Название фактора	Количество баллов
1.	Положение ВС после приведения	93
2.	Вода, которая быстро прибывает на борт ВС	90
3.	Проблема (невозможность) открытия выходов из ВС	88,65
4.	Наличие огня на борту ВС	83,36
5.	Отсутствие знаний о процессе эвакуации	83

**Таблица 4.** Этап эвакуации. Перемещение от выхода с борта ВС в воду или на плавсредство

№ фактора согласно степени важности	Название фактора	Количество баллов
1.	Положение ВС после посадки	86,11
2.	Волны, морская пена, течения	80
3.	Состояние выхода из ВС	78
4.	Отсутствие инструктажа по вопросам эвакуации с ВС в воду или на плавсредство	77,06
5.	Предыдущий опыт приведения или опыт тренировок, которые моделируют приведение	74,58

**Таблица 5.** Этап выживания. Этап нахождения в воде или на плавсредстве

№ фактора согласно степени важности	Название фактора	Количество баллов
1.	Низкая температура воды и воздуха	95
2.	БАСО отсутствует или повреждено при посадке	93,47
3.	Неумение использовать БАСО (средства сигнализации, радиостанции, НАЗ)	89,14
4.	Наличие раненных и/или людей, которые не умеют плавать	85
5.	Большое расстояние от места авиационного происшествия к суше	83,47

### Описание метода выбора оптимального выполнения вынужденной посадки воздушного судна на водную поверхность

Метод выбора оптимального места вынужденной посадки ВС на водную поверхность состоит из следующих, упорядоченных по своей очередности, действий:

- Сначала командиру ВС необходимо подобрать безопасное место приведения с учетом имеющихся факторов окружающей среды и инфраструктуры ближайших к местонахождению

дению ВС населенных пунктов (условия посадки, пригодность населенного пункта к оказанию помощи пострадавшим).

- ВС направляться к ближайшему МВРП, которое заранее определено компетентными специалистами и маркировано на картах бортовых *gps*-приемников, путем закладок на территории МВРП *gps*-маяков («*gps*-закладок»).

- Эффективно провести эвакуацию (со своего места на ВС в воду или на плавсредство). Это достигается путем учета опасности исследованных факторов и проведением эффективной и реалистической подготовки.

- Провести эвакуацию в медицинское учреждение по самому быстрому маршруту (с учетом способности медицинского учреждения к приему соответствующего количества пострадавших). Наземная составляющая маршрута эвакуации заблаговременно просчитывается специалистами, от определенных МВРП в медицинские учреждения. Эксперты принимают во внимание все возможные пути эвакуации, их состояние, пропускную способность и способность медицинских учреждений к приему соответствующего количества пострадавших и оказания неотложной помощи в необходимом объеме.

**Заключение.** В результате проведенных исследований впервые получена методика расчета оптимального маршрута проведения эвакуационных действий от места вынужденной посадки к месту оказания специализированной медицинской помощи, основанной на концепции «Золотого часа». Кроме этого, определено множество факторов, характерных для авиационных происшествий, связанных с выполнением вынужденной посадки ВС на водную поверхность. В перечень факторов вошли преимущественно явления окружающей среды, опасные проявления погоды и другие процессы, затрудняющие или исключают успешное приведение. Также впервые получено множество факторов, характерных населенным пунктам, и с помощью которых можно оказать помощь пострадавшим. В их перечень вошли силы, средства спасания и сооружения.

Получила дальнейшее развитие методика количественной оценки факторов, влияющих

на эвакуацию с приводненного ВС и дальнейшее выживание, особенность – распределение процесса эвакуации на этапы, каждый из которых представлен характерными только данному этапу факторами.

1. *Авиационные происшествия, инциденты и авиакатастрофы в СССР и России.* – <http://www.airdisaster.ru/database.php?id=536>
2. *National Transportation Safety Board.* 2010. Loss of Thrust in Both Engines After Encountering a Flock of Birds and Subsequent Ditching on the Hudson River, US Airways Flight 1549, Airbus A320-214, N106US, Weehawken, New Jersey, January 15, 2009. Aircraft Accident Report NTSB/AAR-10 /03. Washington, DC.
3. *Aviation Safety Network.* – <https://aviation-safety.net/database/record.php?id=19700502-0>
4. *Москвичев В.В.* Информационная поддержка решений диспетчера для управления вынужденной посадкой воздушного судна вне аэродрома: Дис. ... к.т.н. – Кировоград, 1998. – 177 с.
5. *Гонцова Л.Г.* Исследования гидродинамики вынужденной посадки летательных аппаратов на воду и

разработка на их основе рекомендаций по выбору параметров ЛА: Дис. ... к.т.н. – Москва, 2004. – 233 с.

6. *Institute for Fluid Dynamics and Ship Theory* at the Hamburg University of Technology (TUHH). – <https://www.tuhh.de/fds/research/current-projects.html>
7. *Баранова В.А.* Решение задачи о поиске кратчайших путей на полном графе из пяти вершин средствами аналитических функций и функций работы с массивами Microsoft Excel. – СТЭЖ № 16. – 2012. – <http://cyberleninka.ru/article/n/reshenie-zadachi-o-poiske-kratchayshih-putey-na-polnom-grafe-iz-pyati-vershin-sredstvami-analiticheskikh-funktsiy-i-funktsiy-raboty-s-massivami-microsoft-excel>
8. *Мухамеджанов Б.А., Рогозин О.В.* Алгоритм определения кратчайшего пути на графе в задаче движения по биологически-заражённой местности // Новые информационные технологии в автоматизированных системах № 18. – 2015. – <http://cyberleninka.ru/article/n/algorithm-opredeleniya-kratchayshego-puti-na-grafe-v-zadache-dvizheniya-po-biologicheskii-zarazhyonnoy-mestnosti>

Поступила 07.03.2017

[nvn60@ukr.net](mailto:nvn60@ukr.net), [marina\\_semenyuta@ukr.net](mailto:marina_semenyuta@ukr.net),  
[vadya862@gmail.com](mailto:vadya862@gmail.com)

© В.Н. Неделько, М.Ф. Семенята, В.Н. Стратонов, 2017

UDC 629.7.077

V.N. Nedilko<sup>1</sup>, M.F. Semenyuta<sup>2</sup>, V.N. Stratonov<sup>3</sup>

## Justification of the Method of Choosing the Optimal Place for the Forced Landing of the Aircraft on the Water Surface

<sup>1</sup> PhD in Techn. Sciences, associate professor, Head of the Department of Information Technologies of the Kirovohrad Flying Academy of the National Aviation University, st. Dobrovolsky, 1, Kropivnitsky, 25005, Ukraine, [nvn60@ukr.net](mailto:nvn60@ukr.net)

<sup>2</sup> PhD in Phys.-Math. Sciences, associate professor Department of Physics and Mathematics Sciences of the Kirovohrad Flying Academy of the National Aviation University, st. Dobrovolsky, 1, Kropivnitsky, 25005, Ukraine, [marina\\_semenyuta@ukr.net](mailto:marina_semenyuta@ukr.net)

<sup>3</sup> Lecturer, Department of Search and Rescue, Aviation Security and Special Training of the Kirovohrad Flying Academy of the National Aviation University, st. Dobrovolsky, 1, Kropivnitsky, 25005, Ukraine, [vadya862@gmail.com](mailto:vadya862@gmail.com)

**Key words:** forced landing, aircraft, ditching, expert survey, oriented graph, Dijkstra's algorithm, evacuation route.

**Introduction.** The results of the research of the development of a method of choosing the optimal site for the forced landing of an aircraft on the water surface are summarized. The cases of ditching are analysed. The causal connects between the place of landing and the overall people survival rate are observed.

**Purpose.** The following problems are solved: the substantiation of the method of choosing the optimal place for the forced landing of an aircraft on the water surface, developing a method of the optimal route calculating for carrying out the evacuation operations, estimating the factors influencing the forced landing, evacuation and the process of further survival.

**Methods.** In order to assess the degree of the factors of influenced, the method of expert evaluations is used. The task of optimizing the evacuation route is solved using the methods of the graph theory.

**Results.** The article outlines the results of an expert survey aimed at identifying the factors that have the greatest impact on the process of ditching and further survival rate. The isolated complex factors (Landing Conditions, Evacuation Time and Eligibility of the Settlement, for Victims Assistance) are explored. The factors like Landing Conditions and Eligibility of the Settlement, for Victims Assistance are estimated by the experts, their impact is expressed in terms of weight, reflecting their danger. The task of reducing the time of evacuation is solved by applying the methods of graph theory.

**Conclusions.** The research describes and justifies the method of selecting the optimal place of ditch. This method can be used by flight crews during the situations on board, which prompts to perform the forced landings.