

**Ретроспективный анализ принятых решений по выходу из нештатной ситуации на космодроме Плесецк 26 июня 1973 года****Е. Н. Шаповалов<sup>1✉</sup>, Ю. Б. Остапченко<sup>2</sup>, А. И. Вайнтрауб<sup>3</sup>, В. В. Романцев<sup>4</sup>**<sup>1</sup> АО «Научно-исследовательский институт программных средств», Санкт-Петербург, Россия<sup>2</sup> ООО «Альвекс», Санкт-Петербург, Россия<sup>3</sup> АО «Научно-инженерный центр Санкт-Петербургского электротехнического университета», Санкт-Петербург, Россия<sup>4</sup> Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

✉ henya56@mail.ru

**Аннотация.** Рассматривается процесс возникновения и развития нештатной ситуации при подготовке и проведении пуска ракеты-носителя «Космос-3М» на космодроме «Плесецк» 26 июня 1973 г., которая переросла в катастрофу вследствие неправильных решений, принятых руководителем пуска для выхода из этой ситуации. На основе теории игр предложена многоэтапная графическая модель подготовки и принятия решений, учитывающая целевую установку выхода из нештатной ситуации и возможность ее корректировки на основе поступающей информации. Охарактеризованы целевые установки, которые лежат в основе принимаемых решений по выходу из нештатной ситуации, этапы принятия решений. Проведен ретроспективный анализ решений, которые принимались в процессе подготовки и пуска ракеты-носителя «Космос-3М» 26 июня 1973 г., определены и описаны причины ошибочных решений. Обоснованы рекомендации по интерпретации поступающей информации и ее использованию для принятия корректных решений, которые на первых этапах развития нештатной ситуации были нацелены на осуществление пуска ракеты-носителя, а в дальнейшем – на предотвращение катастрофы. Материалы статьи могут быть полезны специалистам по подготовке и принятию решений, связанным с эксплуатацией ракетно-космической техники, а также всем интересующимся историей отечественной космонавтики.

**Ключевые слова:** катастрофа; нештатная ситуация; лицо, принимающее решение; этапы принятия решения

**Для цитирования:** Ретроспективный анализ принятых решений по выходу из нештатной ситуации на космодроме Плесецк 26 июня 1973 года / Е. Н. Шаповалов, Ю. Б. Остапченко, А. И. Вайнтрауб, В. В. Романцев // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2024. Т. 17, № 9. С. 12–21. doi: 10.32603/2071-8985-2024-17-9-12-21.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Retrospective Analysis of Decisions Made to Exit an Emergency Situation at the Plesetsk Cosmodrome on June 26, 1973

E. N. Shapovalov<sup>1✉</sup>, Yu. B. Ostapchenko<sup>2</sup>, F. I. Weintraub<sup>3</sup>, V. V. Romantsev<sup>4</sup>

<sup>1</sup>JSC «Research Institute of Software», Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup>LLC «Alvex», Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup>JSC «Research & Engineering Center of Saint Petersburg Electrotechnical University, Saint Petersburg, Russia

<sup>4</sup>Saint Petersburg Electrotechnical University, Saint Petersburg, Russia

✉henya56@mail.ru

**Abstract.** The article discusses the main aspects of decision-making during an emergency situation at the preparation and launch of the Cosmos-3M launch vehicle at the Plesetsk cosmodrome on June 26, 1973, which developed into a disaster. A graphical model developed by the authors for preparing and making decisions to overcome emergency situations, taking into account incoming information, is presented. A retrospective analysis of the decisions made by the head of the process of preparation and launch of the Cosmos-3M launch vehicle on June 26, 1973, when an emergency situation occurred, was carried out based on game theory, and the stages of decision-making were characterized. The target settings that make the basis for the decisions made are given. In the article the decisions made, the reasons for erroneous decisions are characterized at the substantive level, recommendations for using the available information to make the right decisions, which could not only prevent a disaster, but also launch a launch vehicle, are given. The article may be useful for the specialists in decision-making related to the rocket and space technology, as well as to anyone interested in the history of Russian cosmonautics.

**Keywords:** disaster, emergency situation, decision maker, stages of decision making

**For citation:** Retrospective Analysis of Decisions Made to Exit an Emergency Situation at the Plesetsk Cosmodrome on June 26, 1973 / E. N. Shapovalov, Yu. B. Ostapchenko, F. I. Weintraub, V. V. Romantsev // LETI Transactions on Electrical Engineering & Computer Science. 2024. Vol. 17, no. 9. P. 12–21. doi: 10.32603/2071-8985-2024-17-9-12-21.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflicts of interest.

Научно-технический прогресс развивается в направлении усложнения как создаваемых технических комплексов, так и процессов их эксплуатации. Это обуславливает повышенные требования к качеству принимаемых руководителями эксплуатационных процессов решений. Неверно принятые решения могут приводить к аварийным ситуациям и, в конечном итоге, к катастрофическим последствиям. При этом среди причин аварий в опасных сферах деятельности значительное место (до 80 % от всех причин) занимает человеческий фактор. Радикальное решение проблемы человеческого фактора – исключение человека из процесса управления эксплуатацией потенциально опасных объектов. Однако, исходя из современных реалий состояния и развития техники, можно сделать вывод о том, что реализация этого направления возможна только в отдаленном будущем. В на-

стоящее время одно из основных направлений решения этой проблемы – разработка и внедрение систем поддержки принятия решений (СППР) и подготовка руководителей, способных принимать решения в различных ситуациях.

**Принятие решений в нештатных ситуациях.** Проблема снижения числа ошибочных действий при управлении потенциально опасными объектами, например комплексами ракетно-космической техники (РКТ), связана как с непосредственной деятельностью человека-оператора в эргатических системах, так и ролью лица, принимающего решения (ЛПР), при управлении эксплуатацией изделий РКТ на космодромах. В процессе предстартовой подготовки ракеты космического назначения к пуску, которая осуществляется в два этапа – на техническом и стартовом комплексах, часто возникают отклоне-

ния от установленных в эксплуатационной документации требований. Эти отклонения носят название нештатных ситуаций (НшС) и могут приводить к происшествиям – поломке техники, несчастному случаю, аварии, катастрофе. Поэтому любое возникновение НшС требует реакции на нее со стороны ЛПР, а именно – принятия решения по выходу из этой ситуации. При этом активно используется СППР, которая призвана помочь ЛПР не только найти правильное решение по выходу НшС, но и стимулировать процесс логического мышления в условиях дефицита времени и высокой степени ответственности за принимаемое решение.

На первом этапе создания СППР в эксплуатирующихся организациях на основе накопленного опыта составляются перечни НшС, характерных для конкретного образца РКТ. Такие НшС называются расчетными. Для каждой из таких ситуаций разрабатываются организационно-технические мероприятия, обеспечивающие безопасность его эксплуатации. На основе перечня НшС предприятие-разработчик образца РКТ вносит изменения в эксплуатационную документацию, которые определяют действия ЛПР в случае возникновения такой ситуации.

После того как расчетная НшС занесена в эксплуатационную документацию, она переходит в разряд разобранных.

Основную опасность представляют собой не встречавшиеся ранее НшС, которые называются нерасчетными. Формирование решения при возникновении нерасчетной НшС базируется на накопленном опыте работы ЛПР и обусловленной этим опытом интуитивной оценке ситуации. Как показывает практика, обоснование решения по выходу из нерасчетной НшС осуществляется в следующем порядке:

1. Описание и содержательный анализ факторов, обусловивших возникновение НшС.

2. Анализ возможных исходов развития НшС и обусловленных ими целевых установок принимаемого решения по выходу из НшС.

3. Определение возможности изменения целевой установки в процессе выхода из НшС в зависимости от поступающей информации о развитии ситуации.

4. Выбор и обоснование целевой установки решения по выходу из НшС, документальное оформление решения.

5. Реализация принятого решения и непрерывный анализ поступающей информации.

6. Корректировка (при необходимости) целевой установки принятого решения, повторение пп. 4–5.

Одно из направлений подготовки специалистов, способных принимать решения при возникновении НшС, представлено ретроспективным анализом происшествий при эксплуатации ракетно-космической техники.

**Описание нештатной ситуации.** 26 июня 1973 г. при подготовке к пуску ракеты-носителя (РН) «Космос 3М» на космодроме Плесецк произошел взрыв первой ступени ракеты, заправленной компонентами топлива, в результате которого погибли семь человек, еще двое позже скончались от полученных ожогов [1]–[3].

Государственная комиссия по расследованию причин катастрофы определила, что технической причиной стал отказ – зависание поплавкового датчика системы измерения объемов (СИО) в баке горючего первой ступени (бак Г-1) в процессе заправки. Кратко опишем его работу.

Процесс заправки горючим состоит из двух стадий:

1) с начала заправки подача горючего из хранилища в бак осуществляется так называемым большим расходом, что позволяет сокращать время заправки;

2) при достижении определенного объема заполнения бака осуществляется переход на малый расход заправляемого горючего для повышения точности дозы заправки.

Момент перехода с большого на малый расход заправляемого горючего определяется датчиком СИО (сигнализатором наполнения). СИО представляет собой погруженный в компонент топлива стержень, на котором в качестве чувствительных элементов размещены катушки самоиндукции. Вдоль стержня, следя за уровнем компонента, перемещается магнитный поплавок. Изменение уровня наполнения бака горючим при прохождении поплавком контрольных точек передается на наземный пульт системы дистанционного управления заправкой (СДУЗ), где измерения регистрируются посредством мостиковой схемы и загоранием соответствующего транспаранта. При достижении датчиком СИО первой контрольной отметки (на пульте СДУЗ загорается транспарант «ВНИМАНИЕ 1») осуществляется переход на малый расход заправляемого горючего, а при достижении второй контрольной точки – окончание заправки (загорается транспарант «ВНИМАНИЕ 2»). В рассматриваемом случае в

расчетное время транспарант «ВНИМАНИЕ 1» не загорелся, и наполнение бака Г-1 большим расходом продолжалось. Исходя из сложившейся ситуации, насосы, подающие горючее в бак Г-1, были выключены по команде руководителя подготовки и пуска РН.

Контроль дозы заправленного горючего помимо средств СИО осуществляется и наземными средствами – уровнемерами и сигнализаторами расхода горючего на выходе из хранилища компонента. Однако наземные средства контроля используются как дополнительные к бортовым, поскольку имеют низкую точность. На момент прекращения заправки (выключения насосов подачи горючего) по показаниям СИО невозможно было определить объем горючего, заправленного в бак Г-1. Такая ситуация была нерасчетной. При принятии решения о выходе из нее пришлось учитывать данные уровнемеров и сигнализаторов расхода горючего из хранилища. Для понимания факторов, обусловивших возникновение НшС и ее дальнейшее развитие, приведем особенности конструкции первой ступени РН «Космос-3М».

Первая ступень РН «Космос-3М» была создана на базе одноступенчатой баллистической ракеты средней дальности Р-14 с самовоспламеняющимися компонентами ракетного топлива: горючее – несимметричный диметилгидразин, окислитель – на основе азотной кислоты. Баки горючего (Г-1) и окислителя (О-1) выполнены по несовмещенной схеме, между ними предусмотрен межбаковый отсек.

Бак О-1 располагался над баком Г-1. В каждом баке был дренажно-предохранительный клапан (ДПК), предназначенный для сброса избыточного давления газовой подушки, а также для сообщения полости бака с атмосферой, что необходимо при сливе компонентов ракетного топлива из заправленной ракеты. С учетом того, что компоненты топлива являются самовоспламеняющимися, горловины ДПК были разнесены по длине первой ступени: горловина ДПК бака О-1 располагалась на верхнем днище бака окислителя (в верхней части ступени), а горловина ДПК бака Г-1 – на нижнем днище бака горючего (в нижней части ступени). Для соединения ДПК с газовой подушкой бака горючего в баке Г-1 была предусмотрена труба. При этом существовала опасность заливки этой трубы, если будет заправлено избыточное количество горючего. Но эта опасность считалась маловероятной, поскольку заправляемая доза горючего контролировалась как

наружными датчиками, так и датчиками, расположенными внутри бака Г-1.

Заправка баков РН «Космос-3М» компонентами ракетного топлива проводилась с помощью СДУЗ, обеспечивающей заправку в ручном и автоматическом режимах. На панелях пульта СДУЗ расположены: вышеописанные транспаранты, пневмогидравлическая мнемосхема системы заправки, регистрирующие приборы контроля параметров процесса заправки. Оператор СДУЗ контролирует по соответствующим сигналам последовательность выполнения операций. Заправка РН компонентами топлива и сжатыми газами, подготовка РН к пуску осуществляются автоматически, заполнение хранилищ компонентами топлива, слив компонентов топлива из заправочных магистралей осуществляются вручную по командам оператора пульта.

На основании этих данных можно провести анализ решений, принимаемых руководителем подготовки и пуска РН, который базируется на модели возникновения и развития нештатной ситуации.

**Модель возникновения и развития нештатной ситуации.** Возникновение и развитие НшС обусловлено решениями руководителя пуска (ЛПР) и процессами изменения состояния техники, которые привели к отказу поплавкового датчика СИО. В теории игр модель такого процесса представляет собой игру с двумя участниками: первый – это руководитель пуска, второй – процесс возникновения и развития НшС. Второго участника при этом обычно называют фиктивным игроком (ФИ) [4]. Игра считается антагонистической, поскольку у ее участников противоположные цели. Цель ЛПР – проведение пуска РН или, как минимум, предотвращение аварии (катастрофы) при неблагоприятном характере процесса подготовки пуска. Поскольку у ЛПР нет точных сведений о причинах возникновения отказа и его влиянии на возможность осуществления пуска РН, можно считать целью ФИ воспрепятствование проведению пуска.

ЛПР должен выбрать целевую установку принимаемого решения (стратегию игры), исходя из следующих обстоятельств. Во-первых, это внешнее проявление НшС. Наличие таких проявлений, как течь компонентов топлива, негерметичность баков и т. п., делают невозможным проведение пуска РН. Во-вторых, имеющийся запас ресурсов, позволяющих устранить причину НшС. В-третьих, наличие резерва времени. В четвертых, другие обстоятельства.

Количество стратегий игры может быть различным, но для рассматриваемой ситуации ограничимся тремя [4]:

1) устранение причин НшС в пределах имеющегося резерва времени и проведение пуска РН в назначенный срок;

2) перенос пуска РН для выявления и устранения причин НшС, проведение пуска после устранения причин НшС;

3) отмена пуска РН, слив заправленных в ракету компонентов топлива, снятие ракеты с пускового стола и ее транспортирование на технический комплекс для тщательного анализа причин НшС и их устранения.

Первая целевая установка основана на уверенности ЛПР, что причины НшС могут быть устранены в оставшееся до пуска время или не повлияют на его результат, а эта уверенность, в свою очередь, определяется анализом риска возникновения аварийной ситуации. Ущерб при этом обусловлен только дополнительными работами по точному определению причин НшС и их устранению, но в связи с ограниченностью времени, оставшегося до пуска, эта целевая установка связана с высоким риском неверного определения причин НшС и, соответственно, возникновения аварийной ситуации.

Вторая целевая установка приводит к ущербу, связанному с переносом пуска на неопределенный срок, дополнительными работами по устранению НшС, технологию которых, в общем случае, предстоит разработать. Риск аварийной ситуации в этом случае снижается.

Третья целевая установка сопряжена со значительными потерями, обусловленными не только отменой пуска, но и операциями слива компонентов топлива из баков ракеты (отметим, что технология слива компонентов отражена в эксплуатационной документации, при этом первым должен был сливаться окислитель), а также длительными работами на техническом комплексе. Для этой установки риск возникновения аварийной ситуации при подготовке и проведении пуска существенно снижается.

Правильность принятого решения определяется сценарием развития НшС (стратегией ФИ), который неизвестен ЛПР.

Стратегии ФИ определяют один из четырех возможных результатов выхода из НшС (своевременный пуск РН, перенос пуска на более позднее время, отмена пуска, катастрофа) и зависят от развития НшС, а также правильности принимаемых ЛПР решений.

Руководителем подготовки и пуска РН была принята первая целевая установка.

Во многом это было связано с тем, что в эксплуатационной документации отсутствовало описание возникшей НшС, поэтому ЛПР действовал методом проб и ошибок.

Ретроспективный анализ последовательности принятых решений при возникновении НшС в процессе заправки баков РН компонентами топлива, приведших в конечном итоге к катастрофе, позволяет, во-первых, определить, когда именно и на основании чего ЛПР принимал неверные решения, во-вторых, обосновать корректную интерпретацию имеющейся и поступающей информации, в-третьих, предложить алгоритм подготовки и принятия решений по выходу из НшС, который, как показывает практика, носит многошаговый характер. Шаг определяется как принимаемое решение о выполнении определенных действий на основании имеющейся информации, реализация этого решения, анализ результатов и поступившей информации для принятия решения о следующем шаге. Заранее определить количество шагов невозможно, оно определяется развитием ситуации.

Схема развития нештатной ситуации в зависимости от принимаемых решений показана на рисунке.

Она представляет собой дерево развития НшС в зависимости от правильности принимаемыми ЛПР решений. Также на схеме можно показать те решения, которые следовало принимать на основе имевшейся информации на каждом этапе.

Буква И в верхнем овале обозначает исходное событие (незагорание транспаранта «ВНИМАНИЕ 1» на пульте оператора СДУЗ). Следующий уровень на схеме – выбор целевой установки решения. Первый символ (цифра) означает номер шага принятия решений, второй (буква) – выбранную ЛПР стратегию: Р – пуск РН в установленный срок (стратегия Р); П – перенос пуска РН (стратегия П); О – отмена пуска РН (стратегия О). Далее – последующие шаги принятия решения. В некоторых овалах появляется третий символ (буква), означающий стратегию ФИ и предопределяющий правильное решение ЛПР. Символ К означает катастрофу.

Крайняя левая ветвь – это фактически принятые решения, остальные ветви – возможные решения, направленные на достижение цели выбранной стратегии.

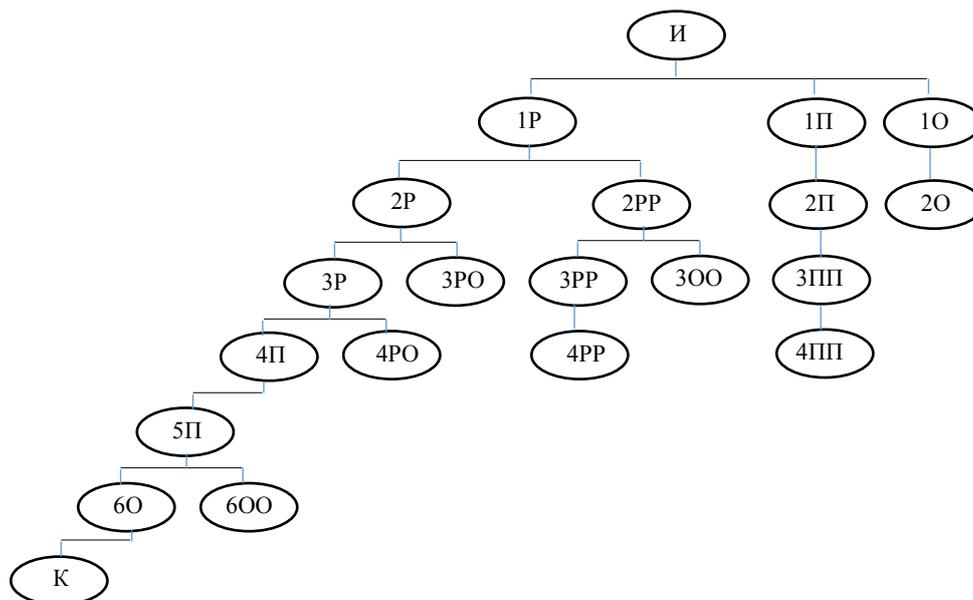


Схема развития нештатной ситуации в зависимости от принимаемых решений  
The scheme of the development of an emergency situation depending on the decisions taken

**Последовательность решений ЛПР, которая привела к катастрофе.** И–1Р – решение о прекращении заправки горючим бака Г-1 и использовании наземных средств измерений (СИ) для оценки объема заправленного горючего.

1Р – информация о недозаправке горючего в бак Г-1 от наземных СИ. При использовании этой информации для оценивания заправленного в бак Г-1 горючего ЛПР должен был учесть низкую точность наземных СИ, а также возможность попадания горючего в трубу ДПК.

Принимая решение, следовало оценить вероятность совершения ошибки, которая становится очевидной при проведенном расчете. Приведем исходные данные для расчета: объем заправленного в бак Г-1 горючего, измеренный наземными СИ, составил  $V_{изм} = 25\,500$  л; максимальный объем горючего в баке (с учетом особенностей конструкции бака Г-1) составляет  $V_{max} = 31\,500$  л; установленная для данного пуска доза заправки равна  $V_{тр} = 29\,500$  л; класс точности наземных СИ равен  $K_{\delta} = 16$ , определен по относительной погрешности. Истинное значение измеренного наземными средствами объема  $V_{ист}$  с учетом исходных данных лежит в следующих пределах:

$$V_1 = \frac{V_{изм}}{1 + 0.01K_{\delta}} \leq V_{ист} \leq \frac{V_{изм}}{1 - 0.01K_{\delta}} = V_2,$$

или  $21\,980 \leq V_{ист} \leq 30\,360$ .

Отсюда следует, что вероятность того, что недозаправка бака Г-1 составляет не более 4000 л,

$$\text{Вер}[(V_{тр} - V_{ист}) \leq 4000] = \frac{V_{тр} - V_{изм}}{V_2 - V_1} = \frac{29\,500 - 25\,500}{30\,360 - 21\,980} = 0.477.$$

По существу, с вероятностью  $\approx 0.5$  решение о дозаправке бака Г-1 ошибочно (напомним, что наземные СИ должны использоваться как дополнительные к бортовым). Тем не менее, решение о дозаправке было принято.

1Р–2Р – решение (неверное) о дозаправке бака Г-1. При этом предполагалось, что в процессе дозаправки на пульте СДУЗ должен был загореться соответствующий транспарант («ВНИМАНИЕ 1»).

2Р – загорание на пульте СДУЗ транспаранта «ПЕРЕЛИВ» и появление течи горючего в процессе дозаправки бака Г-1 через дренажно-предохранительный клапан, как результат переполнения бака. При этом горючее попало в дренажную трубу. Отсутствие реакции на эту ситуацию (не загорелся сигнал «ВНИМАНИЕ 1») напрямую свидетельствовало об отказе сигнализатора СИО. Кроме того, загорание на пульте СДУЗ транспаранта «ПЕРЕЛИВ» означало, что в бак заправили горючего больше нормы, что означало возможность отсутствия сообщения бака Г-1 с атмосферой при принудительном открытии ДПК. Таким образом, было создано условие, которое

при сливе горючего приведет к смятию бака. Однако ЛПР, не учитывая указанные обстоятельства, при подготовке следующего решения руководствовалось необходимостью слива излишнего горючего из бака Г-1.

2Р–3Р – решение о подсливе горючего из бака Г-1. Решение неверное в силу вышеуказанных причин.

3Р – в процессе частичного слива горючего из бака Г-1 произошло восстановление работы его сигнализатора наполнения. Однако во время частичного слива в баке Г-1 вследствие залитой дренажной трубы и отсутствия сообщения с внешней атмосферой снизилось давление, что привело к смятию (нарушению герметичности) бака и течи горючего по корпусу РН. Визуально течь горючего не наблюдалась, поскольку в процессе заправки РН находится внутри башни обслуживания.

3Р–4П – решение об отводе башни обслуживания, наборе схемы готовности и проведении пуска РН.

Все предстартовые операции вплоть до команды «наддув баков Г-1 и О-1» прошли штатно. После выдачи этой команды визуально было замечено парение горючего в районе межбакового отсека первой ступени и стал слышен вначале скрежет, а затем звуки переменного тона. В пультовой пуска РН было зарегистрировано резкое снижение давления в баке Г-1. Руководитель пуска дал команду на подключение дополнительных баллонов высокого давления в магистраль наддува бака Г-1, однако предпринятые меры не помогли. Автоматический контроль бортового наддува за 15 с до пуска РН остановил схему.

4П – давление в баке Г-1 ниже заданного, визуально наблюдается парение горючего в районе межбакового отсека первой ступени заправленной РН. В таких условиях пуск РН невозможен, и руководитель пуска готовит решение о его отмене.

4П–5П – принимается решение о переносе пуска на сутки (неверное, поскольку ЛПР не приняло во внимание возможность потери герметичности бака Г-1) и подводе башни обслуживания к ракете для ее осмотра и получения информации о ее состоянии.

5П – башня обслуживания подведена, группа осмотра ракеты выявила течь горючего из бака Г-1, потеки горючего вдоль корпуса ракеты и около пускового стола. На основании этой ин-

формации принимается решение об отмене пуска, нейтрализации пролитого горючего, подготовке к сливу компонентов из баков ракеты. При этом необходимо было учесть безветренную погоду, высокую концентрацию паров горючего вблизи ракеты, что существенно повышало вероятность взрыва, особенно при подведенной башне обслуживания, поскольку это затрудняло естественную вентиляцию.

5П–6О – проверка оборудования пускового стола и нейтрализация пролившегося горючего, открытие створок башни обслуживания, где скопились пары горючего. Как оказалось, меры по проветриванию пространства между башней и ракетой не снизили концентрацию горючего до безопасного уровня.

6О – решение о сливе компонентов топлива из баков ракеты по штатной схеме, в соответствии с которой первым должен был сливаться окислитель (неверное решение). С учетом сложившейся ситуации, наличия проливов и паров горючего следовало первым сливать горючее, для чего должно было быть подготовлено техническое решение, в котором должна быть описана, согласована и утверждена технология слива компонентов из баков ракеты по нештатной схеме.

6О–7К – подготовка к сливу окислителя из баков ракеты с расчетами непосредственно на ракете. При подстыковке магистралей слива к ракете неизбежны микропроливы компонентов. В условиях наличия проливов горючего это привело к вспышке, пожару, взрыву ракеты – к катастрофе.

Непосредственной причиной катастрофы было признано образование взрывоопасной смеси горючего с воздухом в хвостовом отсеке РН в результате пролива горючего. Вспышка паров или жидкой фазы горючего и последующий взрыв по времени совпали с началом работы специалистов-заправщиков окислителем по подготовке к сливу компонента непосредственно у ракеты. Государственная комиссия, анализируя причины, которые могли бы вызвать вспышку, пришла к выводу, что наиболее вероятно случайное попадание на проливы горючего остатков окислителя из магистралей слива при неосторожных действиях исполнителей.

Как показывает проведенный анализ, на этапах принятия решений 1Р, 2Р можно было осуществить своевременный или отложенный на некоторое время пуск ракеты, а на этапах 3Р, 4П, 5П, 6О с учетом невозможности осуществления

пуска можно было избежать катастрофы, используя всю имеющуюся информацию при обосновании решений.

Рассмотрим эти решения.

**Последовательность решений, позволяющая выполнить своевременный пуск РН.** 1Р–2РР – решение на слив горючего из бака Г-1 по штатной схеме. На основании этого решения можно было проверить работу всех средств контроля заправки и найти причину нештатной ситуации. Кроме того, при этом мог восстановиться поплавковый сигнализатор (что и произошло).

Если бы поплавковый сигнализатор уровня заправки при реализации этого решения не восстановился, то своевременный пуск РН был бы невозможен, и следовало принимать решение либо о переносе, либо об отмене пуска.

2РР – завершение слива горючего из бака Г-1, контроль уровня горючего в хранилище, который должен соответствовать исходному перед началом заправки РН состоянию.

2РР–3РР – решение на повторную заправку бака Г-1 (при условии, что сигнализатор уровня заправки восстановился).

3РР – бак Г-1 РН заправлен до расчетного уровня (при условии, что сигнализатор уровня функционирует штатно).

3РР–4РР – решение на набор готовности и пуск РН в заданное время.

4РР – пуск РН в заданное время.

**Последовательность решений по переносу пуска РН.** И–1П – решение о прекращении заправки горючего и использовании для контроля наземных средств контроля заправленного горючего;

1П – информация от наземных СИ о недозаправке 4000 л горючего. Определение низкой достоверности этой информации. Решение о дозаправке горючего в бак Г-1 не принимается.

1П–2П – решение (промежуточное) о приостановке работ и переносе пуска для тщательного анализа создавшейся НшС.

2П – разработка технологии поиска неисправности, ее документальное оформление, установление и устранение причины НшС, определение резервного времени пуска РН.

2П–3ПП – проведение операций по подготовке к пуску РН по штатной схеме (при условии, что причина НшС найдена и устранена).

3ПП–4ПП – решение о пуске РН в резервное время.

4ПП – пуск РН в резервное время.

### **Последовательность решений по отмене пуска.**

*А. При появлении исходного события:*

И–1О – решение о прекращении заправки горючего и использовании наземных средств контроля (уровнемеров и сигнализаторов расхода).

1О – информация от наземных СИ о недозаправке 4000 л горючего. Определение низкой достоверности этой информации. Решение о дозаправке горючего в бак Г-1 не принимается.

1О–2О – решение на отмену пуска и снятие РН с пускового стола для поиска причин НшС.

2О – РН снята с пускового стола и отправлена на технический комплекс.

*Б. При появлении информации о течи горючего через ДПК:*

2Р – обнаружение течи горючего через ДПК (при реализации решения 1Р–2Р). Выбор стратегии О (отмена пуска), поскольку это аварийная ситуация.

2Р–3РО – решение о нештатном сливе горючего из бака Г-1 с принудительным наддувом бака через магистраль предстартового наддува. Затем по штатной схеме должен быть осуществлен слив компонентов топлива из остальных баков ракеты. Такое решение учитывает возможную заливку дренажной трубы бака Г-1 и предотвращает смятие бака Г-1.

3РО – проведение слива компонентов топлива, при этом обеспечивается герметичность бака Г-1. По окончании слива РН снимается с пускового стола.

*В. При появлении информации о падении давления в баке Г-1:*

3Р – следовало выбирать стратегию О на отмену пуска с учетом возможного повреждения бака Г-1. Поскольку технология слива горючего из поврежденного бака отсутствует, необходима разработка технологии слива горючего из поврежденного бака Г-1.

3Р–4РО – решение на слив горючего из бака Г-1 по нештатной схеме с постоянным орошением РН водой в процессе слива, при этом учитывается возможность нарушения герметичности бака Г-1. По окончании слива горючего из бака Г-1 слив компонентов топлива из остальных баков РН.

4РО – реализация решения 3Р–4РО. По окончании слива РН снимается с пускового стола.

*Г. При появлении информации о негерметичности бака Г-1:*

5П – при выявлении группой осмотра ракеты течи горючего из бака Г-1 следовало выбирать

стратегию О на отмену пуска и разработку технического решения о технологии слива горючего из поврежденного бака Г-1 и последующего слива компонентов из остальных баков ракеты.

5П–6ОО – решение о проведении слива горючего из бака Г-1 с постоянным орошением РН водой, последующим сливом компонентов топлива из остальных баков ракеты, снятие РН с пускового стола.

6ОО – проведение слива компонентов из баков ракеты по утвержденному техническому решению, снятие РН спускового стола.

*Д. При появлении информации о недозаправке бака Г-1:*

1Р–2РР – решение о сливе горючего по штатной схеме.

2РР – если причина НшС в процессе слива не будет установлена (поплачковый сигнализатор уровня заправки в процессе слива горючего не восстановится), то пуск РН невозможен. Следует принять решение об отмене пуска.

2РР–3ОО – решение о сливе компонентов топлива из баков ракеты по штатной схеме с последующим снятием РН с пускового стола.

3ОО – слив компонентов топлива из баков РН по штатной схеме, по окончании – снятие РН с пускового стола.

Результаты проведенного анализа позволяют сделать вывод о том, что практически на всех этапах развития нештатной ситуации была возможность избежать катастрофы. Для этого следовало адекватно использовать имеющуюся информацию, в том числе и визуальную, при планировании действий на каждом шаге.

Предложенный алгоритм позволяет структурировать процесс подготовки многошаговых решений по выходу из нештатной ситуации, обосновывать целевую установку таких решений с учетом анализа поступающей информации и конструктивных особенностей объекта эксплуатации. Он может быть использован при подготовке специалистов по управлению эксплуатацией потенциально опасных объектов.

#### Список литературы

1. Катастрофы на космодромах / А. И. Вайнтрауб, А. П. Ковалев, Н. И. Удодов, Е. Н. Шаповалов / под ред. А. П. Ковалева. СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация вузов, 2023. 294 с.  
2. Воробьев В. А. Космодром Плесецк в воспоминаниях его ветеранов. Первая катастрофа. Калуга: Гриф, 2011. С. 165–170.

3. Толстов А. С. Космодром Плесецк в воспоминаниях его ветеранов. Аварийные комиссии. Калуга: Гриф, 2003. С. 53–63.  
4. Алгоритм принятия обоснованных решений в нештатных ситуациях на основе моделей нечетких множеств / А. В. Экало, С. А. Кудряков, Е. Н. Шаповалов, Ю. Б. Остапченко, С. А. Беляев // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2016. № 9. С. 16–21.

---

#### Информация об авторах

**Шаповалов Евгений Николаевич** – канд. техн. наук, доцент, руководитель центра компетенций АО «НИИ ПС», ул. Политехническая, д. 22, лит. Н, Санкт-Петербург, 194021, Россия.  
E-mail: henya56@mail.ru

**Остапченко Юрий Борисович** – канд. техн. наук, зам. генерального директора ООО «Альвекс», ул. Политехническая, д. 22, лит. А, корп. 1, Санкт-Петербург, 194021, Россия.  
E-mail: j.ostapchenko@alvex.spb.ru

**Вайнтрауб Анатолий Изидорович** – канд. воен. наук, доцент, зам. глав. конструктора, АО «НИЦ СПб ЭТУ», ул. Политехническая, д. 22, лит. К, Санкт-Петербург, 194021, Россия.  
E-mail: anatol1950@mail.ru

**Романцев Вениамин Викторович** – канд. техн. наук, доцент кафедры математического обеспечения и применения ЭВМ СПбГЭТУ «ЛЭТИ».  
E-mail: rvv.nic@mail.ru

#### Вклад авторов:

Шаповалов Е. Н. – описание модели возникновения и развития нештатной ситуации, редактирование статьи.

Остапченко Ю. Б. – описание алгоритма принятия решений по выходу из нештатной ситуации.

Вайнтрауб А. И. – описание нештатной ситуации, произошедшей 26 июня 1973 г. на космодроме Плесецк, анализ конструктивных особенностей ракеты-носителя «Космос-3М».

Романцев В. В. – описание последовательности возможных решений, которые могли бы привести к предотвращению катастрофы.

### References

1. Katastrofy na kosmodromah / A. I. Vajntraub, A. P. Kovalev, N. I. Udodov, E. N. Shapovalov / pod red. A. P. Kovaleva. SPb.: Izdatel'sko-poligraficheskaja asociacija vuzov, 2023. 294 s. (In Russ.).

2. Vorob'ev V. A. Kosmodrom Pleseck v vospominaniyah ego veteranov. Pervaja katastrofa. Kaluga: Grif, 2011. S. 165–170. (In Russ.).

3. Tolstov A. S. Kosmodrom Pleseck v vospominaniyah ego veteranov. Avarijnye komissii. Kaluga: Grif, 2003. S. 53–63. (In Russ.).

4. Algoritm prinjatija obosnovannyh reshenij v neshtatnyh situacijah na osnove modelej nechetkih mnozhestv / A. V. Jekalo, S. A. Kudrjakov, E. N. Shapovalov, Ju. B. Ostapchenko, S. A. Beljaev // Izv. SPbGJeTU «LJeTI». 2016. № 9. S. 16–21. (In Russ.).

### Information about the authors

**Evgeniy N. Shapovalov** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of the Competence Center of JSC Research Institute of PS, 22, Politechnicheskaya St., lit. N., St. Petersburg, 194021, Russia.

E-mail: [henya56@mail.ru](mailto:henya56@mail.ru)

**Yuri B. Ostapchenko** – Cand. Sci. (Eng.), Deputy General Director of Alvex LLC, 22, Politechnicheskaya St., lit. A., build. 1, St. Petersburg, 194021, Russia.

E-mail: [j.ostapchenko@alvex.spb.ru](mailto:j.ostapchenko@alvex.spb.ru)

**Anatoly I. Weintraub** – Cand. Sci. (Mil.), Associate Professor, Deputy Chief Designer of JSC «Scientific and Engineering Center of St. Petersburg Electrotechnical University», 22, Politechnicheskaya St., lit. K., St. Petersburg, 194021, Russia.

E-mail: [anatol1950@mail.ru](mailto:anatol1950@mail.ru)

**Veniamin V. Romantsev** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Mathematical Support and Computer Applications, Saint Petersburg Electrotechnical University.

E-mail: [rvv.nic@mail.ru](mailto:rvv.nic@mail.ru)

### Author contribution statement:

Shapovalov E. N. – description of the model of the occurrence and development of an emergency situation, editing of the article.

Ostapchenko Yu. B. – description of the decision-making algorithm for overcoming an emergency situation.

Weintraub A. I. – description of the emergency situation that occurred on June 26, 1973 at the Plesetsk cosmodrome, analysis of the design features of the Kosmos-3M launch vehicle.

Romantsev V. V. – description of the sequence of possible solutions that could lead to the prevention of a disaster.

Статья поступила в редакцию 28.06.2024; принята к публикации после рецензирования 27.08.2024; опубликована онлайн 25.11.2024.

Submitted 28.06.2024; accepted 27.08.2024; published online 25.11.2024.