

УДК 614.8.084:614.876:351.861:517.977.5

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМА ДЕЙСТВИЙ ДОЛЖНОСТНЫХ ЛИЦ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА БЕЛОРУССКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Худолеев А.Ф., Акулич И.П., Тихонов М.М., Акулич С.В.

Рассмотрены возможности метода сетевого планирования для оценки эффективности комплекса мероприятий по ликвидации чрезвычайной ситуации на Белорусской атомной электростанции. Описан подход к составлению сетевого графика на основе алгоритма действий должностных лиц, участвующих в ликвидации чрезвычайной ситуации, описаны выражения для расчета временных параметров сетевого графика, а также подход к оценке эффективности алгоритма действий на основе метода критического пути.

Ключевые слова: сетевое планирование, оценка эффективности, чрезвычайная ситуация, критический путь, ранний (поздний) срок наступления событий, резерв времени, БелАЭС.

(Поступила в редакцию 17 декабря 2018 г.)

Введение. Обоснованность и профессиональный уровень принимаемых решений определяют эффективность действий любого должностного лица. Необходимость учета большого количества факторов, что особенно характерно при ликвидации чрезвычайной ситуации (ЧС) в целом и на Белорусской атомной электростанции (БелАЭС) в частности, значительно усложняет задачу выбора правильного варианта решения.

Основной целью ликвидации ЧС на БелАЭС является максимальное уменьшение последствий (ущерба), наносимых всем сферам и видам деятельности нашего государства, а также сведение к минимуму потерь: людских и других видов ресурсов, задействованных при ликвидации ЧС.

В таком сложном процессе, как проведение мероприятий по ликвидации ЧС, перед руководителем стоит сложная задача организации всего перечня мероприятий с учетом временных и ресурсных ограничений.

Основное содержание. В задачах поддержки принятия решений любых сфер деятельности используется научный подход, который заключается в построении математической модели управляемой системы и последующем ее анализе. Взаимодействие этапов принятия решений представлено на рисунке 1 [1].

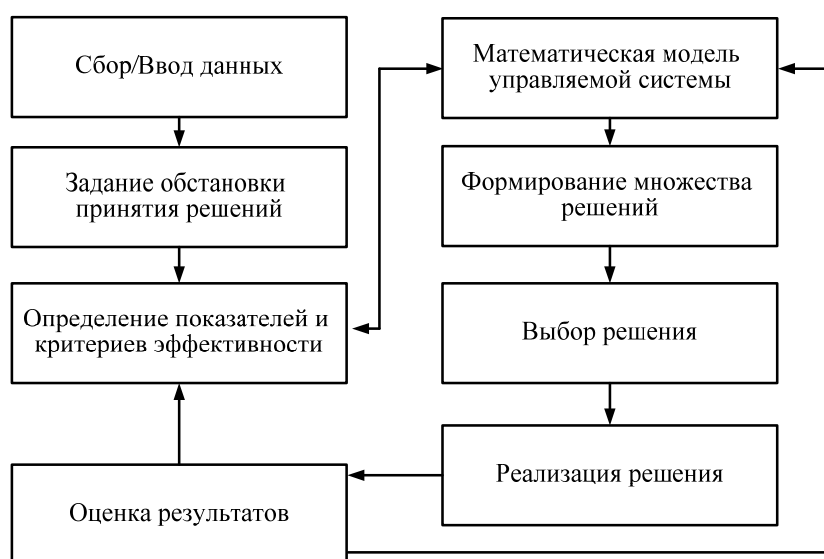


Рисунок 1. – Схема взаимодействия этапов принятия решений

Выработка и реализация решений подчиняются определенным закономерностям и принципам. Существуют определенные технологии принятия решения, помогающие ускорить этот процесс, что особенно важно в экстремальных ситуациях.

В связи с необходимостью проведения мероприятий по ликвидации ЧС на БелАЭС в кратчайшие сроки в качестве математического аппарата оценки алгоритма действий предложен к использованию аппарат сетевого планирования, основная цель которого – сокращение до минимума продолжительности комплекса мероприятий [2].

Сетевое планирование – один из методов, широко применяемых в исследовании проблем организации крупномасштабных мероприятий, использующий идею графического отображения связей между выполняемыми работами [3]. Удобство зрительного восприятия, возможность выявить главное, относительная простота вычислений делают рассматриваемый метод пригодным для анализа систем различной природы.

Метод сетевого планирования позволяет решать как прямые, так и обратные задачи исследования операций. Первые связаны с оценкой последствий выбора вполне определенного решения, вторые – с поиском наилучших решений [4]. Это расширяет области применения метода и делает его эффективным средством совершенствования целенаправленной деятельности.

На основе сетевых моделей разработано множество методов планирования, составления временных расписаний и управления проектами [5]. Для решения задачи ликвидации ЧС на БелАЭС используется метод критического пути. Критический путь – это наиболее продолжительный из всех полных путей сетевого графика: минимальное время выполнения всех работ [4]. Выполнение работ, не лежащих на критическом пути, можно замедлить или сместить по времени, и это не отразится на сроке завершения всех работ. В этом методе проводится анализ предлагаемых мероприятий для составления временных графиков распределения фаз комплекса мероприятий.

На первом этапе определяются отдельные задачи, составляющие комплекс мероприятий, их отношения последовательности (т. е. какая задача должна предшествовать другой) и длительность. Перечень и последовательность (алгоритм) действий должностных лиц, а также их временные параметры при ликвидации ЧС на БелАЭС регламентированы нормативно-правовыми актами (табл. 1) [6]. Особенность таких сложных комплексов мероприятий в том, что они состоят из отдельных работ, выполнение части которых не может быть начато раньше, чем завершены другие.

Далее комплекс мероприятий представляется в виде сети, показывающей последовательность задач, из которых он состоит. На третьем этапе на основе построенной сети выполняются вычисления, в результате чего составляется временной график реализации комплекса мероприятий.

Графическое изображение заданного комплекса выполняемых работ по ликвидации ЧС отражает их логическую последовательность, существующую взаимосвязь и планируемую продолжительность. Оно обеспечивает дальнейшую оптимизацию разработанного графика на основе экономико-математических методов и компьютерной техники с целью его использования для управления ходом работ.

Представление комплекса мероприятий ликвидации ЧС на БелАЭС с использованием сетевой модели позволяет использовать возможности частной оптимизации сетевого графика, такие как:

- минимизация времени выполнения комплекса работ при заданной его стоимости;
- минимизация стоимости комплекса работ при заданном времени выполнения.

Комплексная оптимизация сетевого графика позволяет найти оптимальное соотношение стоимости (в качестве стоимости могут рассматриваться не только финансовые затраты, но и затраты всех возможных ресурсов) и сроков выполнения проекта в зависимости от условий ЧС.

Таблица 1. – Выборочные мероприятия из перечня действий должностных лиц при ликвидации чрезвычайной ситуации на БелАЭС

| № | Защитная мера или задача | Показатель времени реагирования | Примечание |
|-----|---|--|---|
| 1 | Выделение канала связи для органа управления, оповещения и информирования населения | <30 мин | Первое мероприятие |
| 2 | Оповещение населения и выдача рекомендаций по осуществлению срочных защитных мер для населения | <30 мин | После выделения канала связи |
| 3 | Первоначальное предупреждение и информирование населения | <1 ч | После выделения канала связи |
| 4 | Сбор комиссии по чрезвычайным ситуациям | 30–60 мин | |
| ... | | | |
| 8 | Выдвижение подразделений МЧС на ликвидацию ЧС | 10 мин | Возможно только после оповещения органов управления и сил ГСЧС |
| 9 | Организация разведки в зоне ЧС | 10 мин | Только после прибытия подразделений МЧС |
| ... | | | |
| 15 | Определение места сбора и посадки населения и безопасного района | <1 ч | Возможно только после оповещения органов управления и сил ГСЧС, первоначального предупреждения и информирования населения |
| 16 | Организация временного отселения населения в безопасный район | <1 ч | |
| 17 | Проведение эвакуации или обеспечение укрытия для населения | До выброса или в течение 1 часа после выброса | |
| 18 | Обеспечение транспортом эвакуируемых | <1 ч | Возможно только после оповещения органов управления и сил ГСЧС |
| 19 | Контроль эвакуированного населения и определение необходимости в проведении дезактивации или медицинской помощи | <1 ч В процессе и после окончания эвакуации | |
| ... | | | |
| 30 | Регулирование дорожного движения, организация пропускного режима | < 1 ч | Возможно только после оповещения органов управления и сил ГСЧС |
| 31 | Обеспечение питанием, одеждой и обувью эвакуируемых | <2 ч | По прибытию населения в контрольно-распределительный пункт |
| 32 | Защита с/х животных и растений | <4 ч | Возможно только после оповещения органов управления и сил ГСЧС |
| 33 | Защита продукции животноводства и растениеводства | <4 ч | |
| 34 | Обеззараживание территорий, зданий и сооружений | 24 ч | После ликвидации ЧС |
| ... | | | |

Исходя из существующего алгоритма действий, рассматриваемого на данный момент в качестве основного при ликвидации ЧС на БелАЭС, составлен сетевой график (рис. 2).

Главными элементами сетевой модели (рис. 2) являются работы (на сетевом графике отмечены в виде дуг) и события (отображаются в виде кружков с цифрой, соответствующей номеру мероприятия в перечне действий при ликвидации ЧС).

Событие не имеет временной длительности, является результатом одной или нескольких работ (т. е. это результат действий должностных лиц на каждом из этапов алгоритма), после которой можно начинать одну или несколько последующих работ.

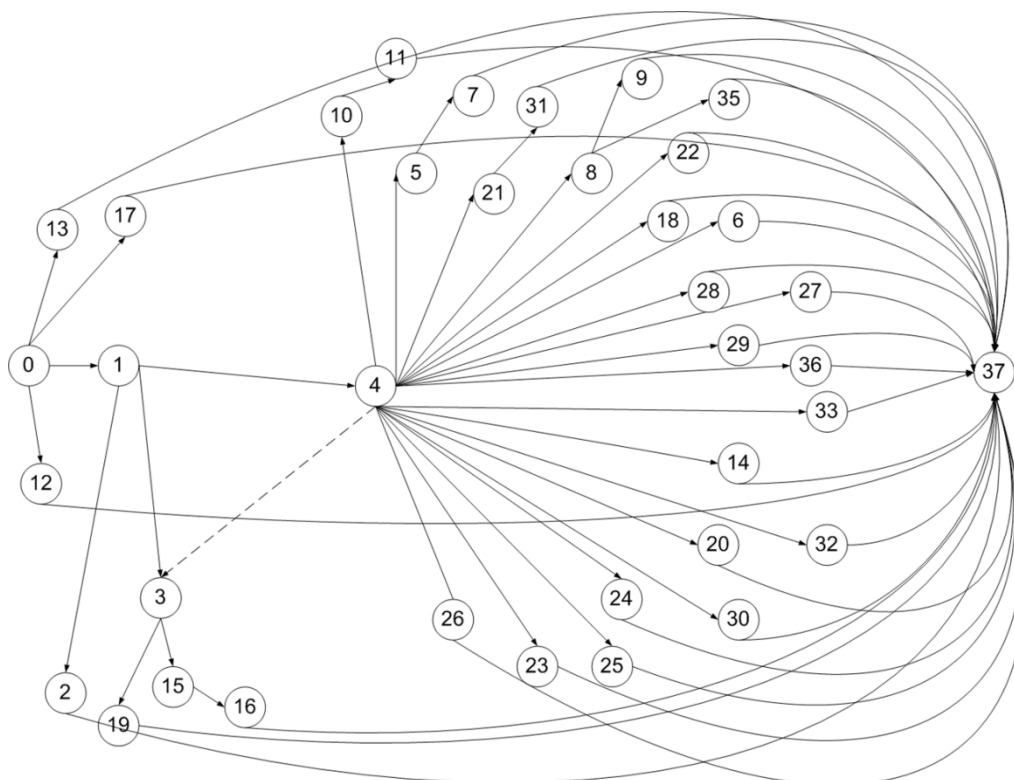


Рисунок 2. – Сетевой график комплекса работ ликвидации чрезвычайной ситуации

Сетевой график может быть составлен с помощью Microsoft Project, в которой описывается содержание работ (рис. 3).

Для каждого события (вершины) графика рассчитаны временные параметры:

– ранний срок наступления j -го события $t_p(j)$ – момент времени, к которому завершаются все работы, предшествующие этому событию. Время его наступления определяется при движении по сети слева направо и равно продолжительности максимального по времени предшествующего пути (путь – это последовательность работ между событиями), соединяющего начальное событие с j -м. Ранний срок наступления j -го события вычисляется по формуле

$$t_p(j) = \max_{\forall i: \exists A_{ij}} \{ t_p(i) + t(i, j) \}, \quad (1)$$

где A_{ij} – работа, ведущая от i -го события к j -му;

$t_p(i)$ – ранний срок наступления i -го события;

$t(i, j)$ – длительность работы A_{ij} ;

– поздний срок наступления i -го события $t_n(i)$ – такой предельный момент, после которого остается столько времени, сколько необходимо для выполнения всех работ, следующих за этим событием. Он определяется при движении по сети справа налево как разность между продолжительностью критического пути и наибольшей из продолжительностей путей, следующих за данным событием:

$$t_n(i) = \min_{\forall j: \exists A_{ij}} \{ t_n(j) - t(i, j) \}; \quad (2)$$

– резерв времени i -го события $R(i)$ показывает, на какой срок может задержаться i -е событие без изменения конечного срока выполнения всего комплекса работ:

$$R(i) = t_n(i) - t_p(i). \quad (3)$$

| № | Название задачи | Длительность |
|----|--|--------------|
| 1 | Выделение канала связи для органа управления, оповещения и и | 0,02 дней |
| 2 | Оповещение населения и выдача рекомендаций по осуществлению срочных защитных мер для населения | 0,02 дней |
| 3 | Первоначальное предупреждение и информирование населения | 0,04 дней |
| 4 | Оповещение органов управления и сил ГСЧС | 0,07 дней |
| 5 | Сбор КЧС | 0,04 дней |
| 6 | Организация работы ситуационного штаба УЛЧС | 0,04 дней |
| 7 | Оперативная группа | 0,04 дней |
| 8 | Выдвижение подразделений МЧС на ликвидацию ЧС | 0,02 дней |
| 9 | Организация разведки в зоне ЧС | 0,02 дней |
| 10 | Развертывание информационного центра на базе республикански | 0,17 дней |
| 11 | Взаимодействие с ССКЦ | 0,17 дней |
| 12 | Раздача препаратов стабильного йода в зонах с целью блокиров | 0,25 дней |
| 13 | Проведение мониторинга объектов окружающей среды вблизи А | 0,04 дней |
| 14 | Привлечение учреждений организаций (СНЛК) | 0,25 дней |
| 15 | Определение места сбора и посадки населения и безопасного ра | 0,04 дней |
| 16 | Организация временного отселения населения в безопасный рай | 0,04 дней |
| 17 | Проведение эвакуации или обеспечение укрытия для населения | 0,04 дней |
| 18 | Обеспечение транспортом эвакуируемых | 0,04 дней |
| 19 | Контроль эвакуированного населения и определение необходи | 0,04 дней |
| 20 | Оказание МП в районе аварии | 0,02 дней |
| 21 | Организация контрольно-распределительного пункта | 0,04 дней |
| 22 | Подготовка дополнительных койко-мест | 0,02 дней |
| 23 | Оказание медицинской помощи в безопасном районе | 0,25 дней |
| 24 | Оказание помощи при проведении работ по обеззараживанию те | 0,25 дней |
| 25 | Оцепление зоны заражения | 0,04 дней |
| 26 | Охрана порядка в зоне заражения | 0,04 дней |
| 27 | Охрана порядка на маршрутах эвакуации | 0,04 дней |
| 28 | Охрана порядка в месте сбора и посадки населения на транспор | 0,04 дней |
| 29 | Оповещение населения, проживающего на территории, не охвач | 0,04 дней |
| 30 | Регулирование дорожного движения, организация пропускного ре | 0,04 дней |
| 31 | Обеспечение питанием и одеждой, обувью эвакуируемых, питан | 0,08 дней |
| 32 | Защита с/х животных и растений | 0,17 дней |
| 33 | Защита продукции животноводства и растениеводства | 0,17 дней |
| 34 | Обеззараживание территорий, зданий и сооружений | 0,25 дней |
| 35 | Локализация и ликвидация ЧС, обеззараживание | 0,25 дней |
| 36 | Обеспечение ГСМ техники, участвующей в ликвидации ЧС и эвак | 0,25 дней |

Рисунок 3. – Сетевая модель, разработанная с использованием Microsoft Project

Событие может наступить только тогда, когда закончатся все работы, предшествующие ему по сетевому графику. Для всех непосредственно предшествующих событию работ оно является конечным, а для всех непосредственно следующих за ним – начальным. Фиктивная работа (указывает на зависимость между работами, т. е. что выполнение какой-либо работы не может быть начато до завершения ряда других) изображается пунктирной линией (рис. 2).

Анализ сетевого графика (рис. 2) и временных параметров (1)–(3), рассчитанных методом критического пути для каждого события, позволяет обосновать целесообразность выбора работ, степени их расчленения, а также необходимость корректировки действий должностных лиц и сил, задействованных в ликвидации ЧС на БелАЭС.

Сетевым графиком с учетом предлагаемых изменений последовательности действий должностных лиц, а также исключения некоторых мероприятий из перечня (табл. 1) представлен на рисунке 4.

Критический путь является самым напряженным, определяющим продолжительность всего комплекса работ. Срыв срока выполнения хотя бы одной из работ критического пути приводит к нарушению сроков завершения всего комплекса работ. У событий критического пути резерв времени (3) равен 0. Результаты расчетов критического пути позволяют внести корректировки в алгоритм действий должностных лиц, исключить из перечня те

мероприятия, которые не влияют на эффективность комплекса проводимых мероприятий, а также изменить последовательность и взаимосвязь между выполняемыми работами.

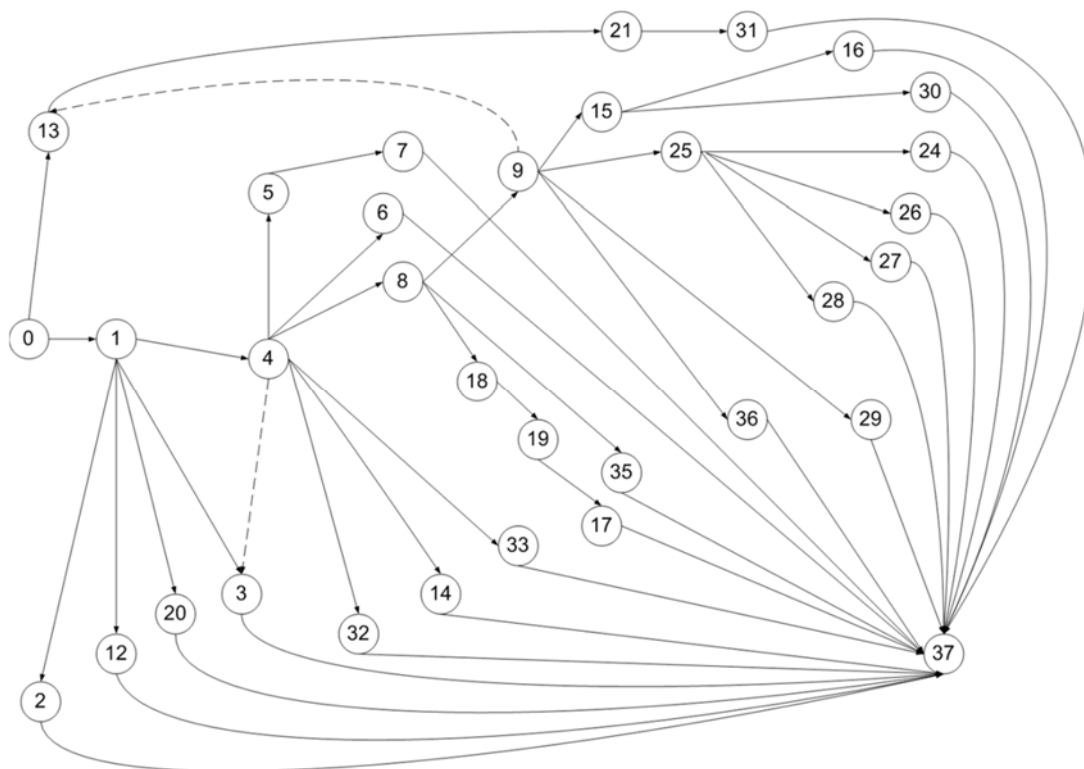


Рисунок 4. – Сетевой график ликвидации чрезвычайной ситуации после внесенных изменений

Заключение. Ликвидация ЧС на БелаЭС является сложным комплексом мероприятий, выполнение которых требует четкой последовательности действий, выделения требуемого количества ресурсов. Причем все эти действия должны быть выполнены в минимальные сроки.

Алгоритм действий должностных лиц (табл. 1), участвующих в ликвидации ЧС на БелаЭС, был проанализирован с использованием метода критического пути сетевого планирования. Внесение изменений в алгоритм действий должностных лиц позволит сократить время, рассчитанное для сетевого графика (рис. 4) на проведение мероприятий ликвидации ЧС на БелаЭС, на 33 % ($t_{кр} = 7 \text{ ч } 58 \text{ мин}$) по отношению к расчетному времени ($t_{кр} = 12 \text{ ч}$) на проведение комплекса мероприятий, рассчитанного для сетевого графика (рис. 2).

В качестве изменений в алгоритме предлагается следующее:

1. Исключить из алгоритма действий мероприятия:

– не влияющие на эффективность выполнения алгоритма действий по ликвидации ЧС на БелаЭС и допускающие параллельное проведение: 10 (Развертывание информационного центра на базе республиканского унитарного предприятия «Белорусское телеграфное агентство» и проведение брифинга для новостных СМИ, ССКЦ), 11 (Взаимодействие с ССКЦ);

– проводимые в безопасном районе и не влияющие на время проведения комплекса мероприятий по ликвидации ЧС на БелаЭС: 22 (Подготовка дополнительных койко-мест), 23 (Оказание медицинской помощи в безопасном районе);

– проводимое непосредственно после ликвидации ЧС: 34 (Обеззараживание территорий, зданий и сооружений).

2. Изменить порядок действий и проведения отдельных мероприятий в соответствии с рисунком 4.

3. Алгоритм действий рассматривать для различных вариантов развития ЧС (степени сложности в соответствии с табл. 1).

В качестве направления дальнейших исследований предлагается:

– использование графика Ганта, который даст возможность руководителю определить, какие работы имеют место в любой момент, а также требуемые ресурсы в конкретные

моменты времени в течение выполнения проекта. Ресурсы, как правило, отображаются в виде гистограммы, что может помочь руководителю проанализировать варианты их распределения при возникновении проблем с выполнением запланированного графика;

– дробление и оценка эффективности отдельных мероприятий, включенных в перечень. Так, предлагается провести оценку эффективности мероприятий со следующими номерами:

8 (Выдвижение подразделений МЧС на ликвидацию ЧС), 15 (Определение места сбора и посадки населения и безопасного района), 16 (Организация временного отселения населения в безопасный район), 18 (Обеспечение транспортом эвакуируемых), 36 (Обеспечение ГСМ техники, участвующей в ликвидации ЧС и эвакуации). В качестве решения данной задачи возможно применение метода оптимизации транспортных задач по критерию минимума стоимости или времени (в зависимости от имеющихся ресурсов);

17 (Проведение эвакуации или обеспечение укрытия для населения). Оценка эффективности данной задачи может осуществляться с использованием метода динамического программирования, для установления условного и безусловного выигрышей возможно привлечение экспертов и обработка экспертных оценок;

21 (Организация контрольно-распределительного пункта). Оценка эффективности данной задачи возможна с использованием метода динамического программирования, для установления условного и безусловного выигрышей возможно привлечение экспертов и обработка экспертных оценок, а выбор места контрольно-распределительного пункта требуется выполнять с учетом решения оптимизации транспортной задачи по критерию минимума стоимости или времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акулич, И.П. Поддержка принятия решений при организации противодействия средствам радиолокационной разведки космического базирования: дис. ... канд. техн. наук: 20.02.12 / И.П. Акулич. – М., 2017. – 183 л.
2. Вентцель, Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология: учеб. пособие для вузов / Е.С. Вентцель. – 4-е изд. – М.: Дрофа, 2006. – 206 с.
3. Миненко, С.Н. Экономико-математическое моделирование производственных систем: учеб.-метод. пособие / С.Н. Миненко, О.Л. Казаков, В.Н. Подзорова. – М.: ГИНФО, 2002. – 128 с.
4. Новицкий, Н.И. Сетевое планирование и управление производством / Н.И. Новицкий. – М.: Новое знание, 2004. – 159 с.
5. Гонтарева, И.В. Управление проектами: учеб. пособие / И.В. Гонтарева, Р.М. Нижегородцев, Д.А. Новиков. – М.: ЛИБРОКОМ, 2009. – 384 с.
6. Об утверждении Положения об условиях и порядке разработки аварийных планов [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 27 авг. 2010 г., № 1242 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.

APPLICATION OF THE METHOD OF NETWORK SCHEDULING FOR ASSESSMENT OF EFFECTIVENESS OF THE ALGORITHM OF ACTIONS OF OFFICIALS AT EMERGENCY RESPONSE ON THE BELARUSIAN NUCLEAR POWER STATION

Alexander Hudoleev

Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus

Inna Akulich, PhD in Technical Sciences

The Educational Establishment «Military academy of Republic of Belarus», Minsk, Belarus

Maxim Tikhonov, PhD in Technical Sciences, Associate Professor

The State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus» Minsk, Belarus

Sergey Akulich, PhD in Technical Sciences, Associate Professor

The Educational Establishment «Military academy of Republic of Belarus», Minsk, Belarus

Purpose. Evaluation of the effectiveness of the emergency response measures at the Belarusian NPP. Reducing to a minimum the time of their execution.

Methods. The method of network scheduling was used to the optimization of work duration.

Findings. An approach to drawing up the network schedule on the basis of actions algorithm of the officials involved in elimination of emergency situation is described, the expressions for calculation of time parameters of the network schedule and also the approach to assessment of effectiveness of actions algorithm on the basis of critical path method are presented.

Application field of research. The results of the study can be used for the correction of actions for elimination of emergency situation on the Belarusian nuclear power station.

Conclusions. Decision support, evaluation of decisions effectiveness, correction of actions based on the analysis of the obtained estimates is a complex task. Making proposed changes to the algorithm of actions of officials will allow a 33 % reduction in the estimated time for carrying out a set of measures to eliminate emergency situations at the Belarusian NPP.

Keywords: network scheduling, effectiveness assessment, emergency situation, critical path, BelNPP.

(The date of submitting: December 17, 2018)

REFERENCES

1. Akulich I.P. *Podderzhka prinyatiya resheniy pri organizatsii protivodeystviya sredstvami radiokatsionnoy razvedki kosmicheskogo bazirovaniya* [Decision-making support in organization of the counteraction against space-based radar reconnaissance means]. PhD tech. sci. diss.: 20.02.12. Moscow, 2017. 183 p. (rus)
2. Venttsel E.S. *Issledovaniye operatsiy. Zadachi, printsipy, metodologiya* [Operations research. Tasks, principles, methodology]: textbook. Moscow: Bustard, 2006. 206 p. (rus)
3. Minenko S.N., Kazakov O.L., Podzorova V.N. *Ekonomiko-matematicheskoye modelirovaniye proizvodstvennykh sistem* [Economic-mathematical model operation of production systems]: textbook. Moscow: GINFORM, 2002. 128 p. (rus)
4. Novitsky N.I. *Setevoye planirovaniye i upravleniye proizvodstvom* [Network scheduling and production management]. Moscow: Novoe znanie, 2004. 159 p. (rus)
5. Hontareva I.V. *Upravleniye proyektami* [Project management]: textbook. Moscow: LIBROKOM, 2009. 384 p. (rus)
6. *Ob utverzhdenii Polozheniya ob usloviyakh i poryadke razrabotki avariynyykh planov* [About the adoption of the Provision on conditions and an order of development of the emergency plans]: *Decree of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, August 27, 2010, No. 1242*. ETALON: Legislation of the Republic of Belarus. National Center of Legal Information of the Republic of Belarus. Minsk, 2018. (rus)