

В. С. Харченко^{1, 2}, М. А. Ястребенецкий³,
Г. В. Фесенко⁴, А. А. Саченко^{5, 6}, В. В. Кочан⁵

¹Национальный аэрокосмический университет имени
Н. Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков, Украина

²Научно-производственное предприятие «Радий»,
г. Кропивницкий, Украина

³Государственный научно-технический центр по ядерной
и радиационной безопасности, г. Киев, Украина

⁴Харьковский национальный университет городского
хозяйства имени А. Н. Бекетова, г. Харьков, Украина

⁵Тернопольский национальный экономический
университет, г. Тернополь, Украина

⁶Технический университет Силезии, г. Гливице, Польша

Система послеаварийного мониторинга АЭС с использованием беспилотных летательных аппаратов: модели надежности

Представлены различные варианты построения системы послеаварийного мониторинга АЭС на базе флотов дронов. Разработаны структурные схемы надежности таких вариантов и получены формулы для оценки их вероятности безотказной работы. Показаны возможности использования разработанных моделей для исследования вариантов системы. Предложен подход к определению оптимального состава флотов дронов для мониторинга АЭС при ограничениях на траектории их полетов.

Ключевые слова: АЭС, мониторинг, флот дронов, модели надежности, структурная схема надежности, резервирование.

**В. С. Харченко, М. О. Ястребенецкий, Г. В. Фесенко,
А. О. Саченко, В. В. Кочан**

Система післяаварійного моніторингу АЕС з використанням безпілотних літальних апаратів: моделі надійності

Представлено різні варіанти побудови системи післяаварійного моніторингу АЕС на базі флотів дронів. Розроблено структурні схеми надійності таких варіантів і отримано формули для оцінки їх імовірності безвідмовної роботи. Показано можливості використання розроблених моделей для дослідження розглянутих варіантів системи. Запропоновано підхід до визначення оптимального складу флотів дронів для моніторингу АЕС у разі обмежень на траєкторії їх польотів

Ключові слова: АЕС, моніторинг, флот дронів, моделі надійності, структурна схема надійності, резервування.

© В. С. Харченко, М. А. Ястребенецкий, Г. В. Фесенко, А. А. Саченко,
В. В. Кочан, 2017

После использования японскими специалистами беспилотного летательного аппарата (БПЛА) самолетного типа Global Hawk для получения в режиме реального времени изображения разрушений на АЭС «Фукусима-1» вопросам радиационного мониторинга АЭС с использованием БПЛА уделяется все больше внимания [1–8].

Принципы создания малого БПЛА украинского производства для радиационного мониторинга АЭС, окружающей среды и видеоразведки, в состав которого входит бортовая аппаратура, позволяющая выполнять ряд функций: отбирать пробы радиоактивных аэрозолей на различных высотах и расстояниях от источника выброса; измерять мощность экспозиционной дозы гамма-излучения в заданных географических координатах и высотах в режиме реального времени; проводить видеонаблюдения в радиационно опасных и труднодоступных зонах — предложены в [1–3].

Вопросы дистанционного мониторинга окружающей природной среды при радиационных авариях на предприятиях атомной энергетики с использованием БПЛА самолетного типа, предложения по усовершенствованию технических средств БПЛА для такого мониторинга, результаты натурных испытаний рассмотрены в [4].

Концепция построения интегрированной системы послеаварийного мониторинга АЭС и поддержки принятия решений, которая, несмотря на повреждения при аварии, способна обеспечить высокую надежность обмена данными с измерительными (и при определенных условиях — управляющими) каналами для принятия обоснованных решений, представлена в [5–8]. В качестве одного из способов повышения надежности и живучести такой системы мониторинга авторы [5–8] рассматривают размещение ее сети связи на группе (флоте) малых БПЛА (дронов), базирующихся на значительном расстоянии от АЭС [5]. При этом флот дронов по назначению и оснащению делится на дроны-ретрансляторы, дроны-наблюдатели (оснащены телекамерой) и дроны-датчики (измерители информации об уровне радиации и др.).

Целью данной статьи является развитие предложенной в [5] концепции построения интегрированной системы послеаварийного мониторинга АЭС (далее — системы мониторинга) и разработки моделей надежности для различных вариантов ее построения, а также подхода к определению оптимального количества флотов дронов при ограничениях на траектории их полетов к заданным точкам АЭС.

Варианты резервирования и структурные схемы надежности систем послеаварийного мониторинга АЭС на базе флотов дронов. Согласно концепции построения и структурной схеме системы послеаварийного мониторинга на базе флота дронов [5], рассмотрены три варианта построения системы мониторинга (V1, V2, V3), структурные схемы надежности которых показаны соответственно на рис. 1–3.

Первый вариант (V1) построения системы мониторинга (рис. 1) предполагает, что все зоны наблюдения (Z_1, \dots, Z_k) контролируется единой подсистемой датчиков (SS). В случае отказа проводной подсистемы (WS) дальнейший прием информации от подсистемы датчиков и передача ее в кризисный центр (CC) происходят с помощью беспроводных подсистем — подсистемы передачи данных на базе дронов-ретрансляторов (DR) и подсистемы мониторинга на базе дронов-наблюдателей (DM). Управление процессом сбора и передачи информации осуществляется с помощью блока управления (CU), состоящего из блока управления датчиками (CS) и двух контроллеров. Один из контроллеров (CW) управляет проводным, а другой

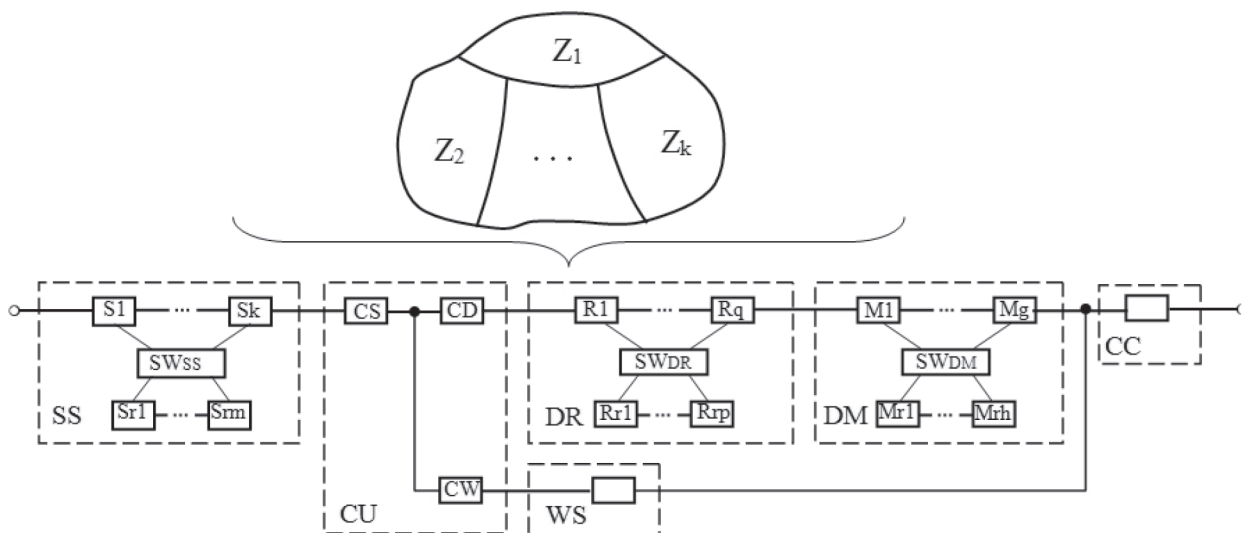


Рис. 1. Структурная схема надежности системы с общими датчиками

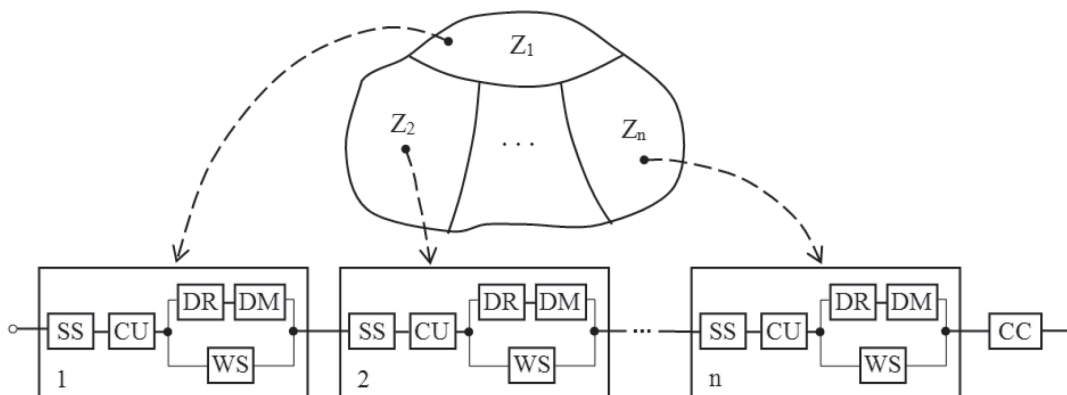


Рис. 2. Структурная схема надежности системы с отдельными зонами датчиков и дронов

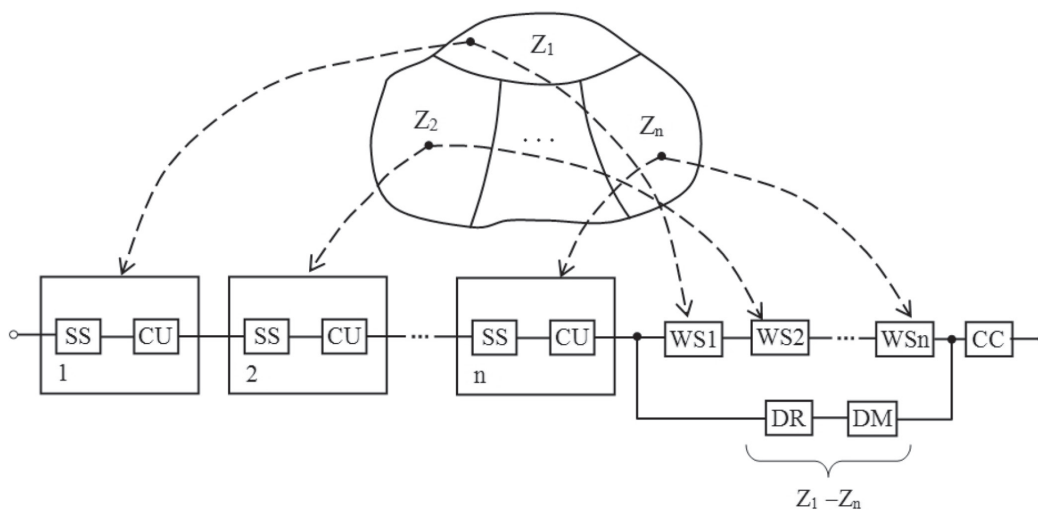


Рис. 3. Структурная схема надежности системы с отдельными зонами датчиков и общим флотом дронов

(CD) — беспроводными интерфейсами системы. Отметим, что для повышения надежности подсистем SS, DR и DM в этом и последующих рассмотренных вариантах системы мониторинга используется скользящее резервирование (динамическое резервирование, при котором функции основного элемента передаются резервному только после отказа основного элемента). В соответствии с данным видом резервирования, группа основных датчиков S_1, \dots, S_k подсистемы SS резервируется датчиками S_{r1}, \dots, S_{rm} , группа основных дронов R_1, \dots, R_q подсистемы DR резервируется дронами R_{r1}, \dots, R_{rp} , группа основных дронов M_1, \dots, M_g подсистемы DM — дронами M_{r1}, \dots, M_{rh} . Каждый из резервных датчиков (дронов) включается в работу с помощью блока коммутации. Блоки коммутации подсистем SS, DR и DM на рис. 1 обозначены как SW_{SS} , SW_{DR} и SW_{DM} соответственно.

Согласно второму варианту (V2) построения системы мониторинга (рис. 2), каждая из зон наблюдения контролируется своими подсистемами датчиков (дронов). Подсистема датчиков SS передает информацию в кризисный центр CC с помощью индивидуальной проводной подсистемы WS, а флот дронов (беспроводные подсистемы DR и DM) — по каналу, работающему по технологии Wi-Fi. Таким образом, для контроля всех зон наблюдения необходимо иметь n структур, каждая из которых будет включать подсистемы SW, SS, DR, DM и блок управления CU.

При использовании третьего варианта (V3) построения системы мониторинга (рис. 3) каждая из зон наблюдения контролируется своей подсистемой датчиков, информация с которых передается в кризисный центр CC по подключенному к подсистеме проводному каналу (подсистемы WS_1, \dots, WS_n), а флот дронов (подсистемы DR и DM) является общим для этих зон. В случае выхода из строя одной из подсистем WS_1, \dots, WS_n функции передачи информации в кризисный центр CC берет на себя флот дронов (подсистемы DR и DM).

Аналитические модели надежности вариантов системы.

Важнейшей характеристикой надежности любой технической системы является ее безотказность, которая может быть оценена вероятностью безотказной работы (ВБР) системы. Обозначим ВБР элемента системы мониторинга (датчика, дрона, блока) через p_i , где индекс i показывает, какой из этих элементов она характеризует. Например, p_{CS} — это ВБР блока управления датчиками. Приняв допущение о том, что каждая из подсистем состоит из равнонадежных основных и резервных элементов, ВБР датчика подсистемы SS, дрона подсистемы DR и дрона подсистемы DM обозначим через p_S , p_R и p_M соответственно. Аналогично обозначим ВБР подсистем и вариантов построения системы мониторинга (для обозначения ВБР вариантов построения используется большая буква P). Например, P_{SS} — ВБР подсистемы датчиков, а P_{V2} — ВБР второго варианта построения системы мониторинга. Используя разработанные структурные схемы надежности (рис. 1–3) и принятые обозначения, получим формулы расчета ВБР для всех рассмотренных вариантов построения системы мониторинга:

$$P_{V1} = P_{SS} \cdot P_{CS} \cdot [1 - (1 - p_{CD} \cdot p_{DR} \cdot p_{DM})(1 - p_{CW} \cdot p_{WS})] \cdot P_{CC}; \quad (1)$$

$$P_{V2} = P_{SS} \cdot P_{CU} \cdot [1 - (1 - p_{DR} \cdot p_{DM}) \cdot (1 - p_{WS})]^n \cdot P_{CC}; \quad (2)$$

$$P_{V3} = (P_{SS} \cdot P_{CU})^n \cdot \left[1 - \left(1 - \prod_{i=1}^n p_{WS_i} \right) \cdot (1 - (p_{DR} \cdot p_{DM})^m) \right] \cdot P_{CC}; \quad (3)$$

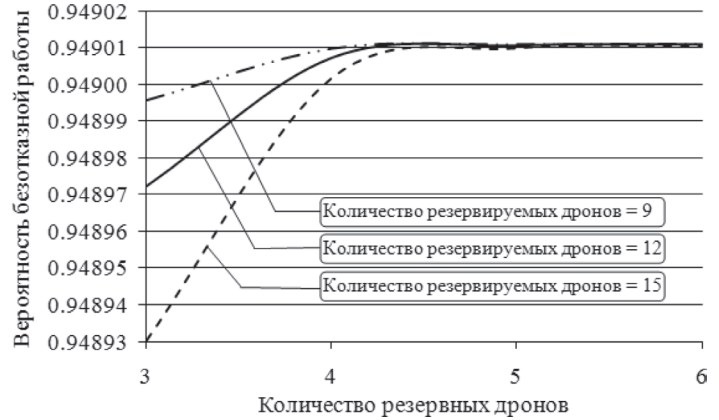


Рис. 4. Зависимость вероятности безотказной работы системы мониторинга, построенной в соответствии с вариантом V1, от количества резервных дронов подсистемы DR для различного количества резервируемых дронов

где p_{CS} — ВБР блока управления датчиками; p_{CD} — ВБР контроллера беспроводного интерфейса системы; p_{CW} — ВБР контроллера проводного интерфейса системы; p_{WS} — ВБР проводной подсистемы; p_{CU} — ВБР блока управления; p_{CC} — ВБР кризисного центра.

Другие параметры, входящие в формулу (3), определяются следующим образом:

$$P_{SS} = \sum_{i=0}^m C_{m+k}^i \cdot (1 - p_S)^i \cdot p_S^{m+k-1};$$

$$P_{DR} = \sum_{j=0}^p C_{p+q}^j \cdot (1 - p_R)^j \cdot p_S^{p+q-1};$$

$$P_{DM} = \sum_{l=0}^h C_{h+g}^l \cdot (1 - p_M)^l \cdot p_S^{h+g-1}.$$

Представленные формулы целесообразно использовать для исследования влияния количества и безотказности дронов, датчиков и блоков на ВБР подсистем и системы мониторинга в целом. Далее результаты исследования могут учитываться при обосновании требований к надежности предлагаемых вариантов построения системы мониторинга.

В частности, с использованием формул (1)–(3) авторами исследовано влияние количества резервных и резервируемых дронов подсистемы передачи данных на базе дронов-ретрансляторов (подсистема DR) на ВБР системы мониторинга, построенной в соответствии с первым из рассмотренных вариантов (V1).

Анализ графиков, представленных на рис. 4, позволяет сделать следующие выводы:

надежность системы мониторинга может быть улучшена за счет увеличения количества резервных дронов подсистемы DR при любом количестве рассмотренных резервируемых дронов;

наибольший прирост значения ВБР системы мониторинга обеспечивается при увеличении количества резервных дронов с трех до четырех;

наиболее надежной из рассмотренных является структура подсистемы DR с шестью резервными и девятью резервируемыми дронами, а наименее надежной — подсистема DR с тремя резервными и пятнадцатью резервируемыми дронами.

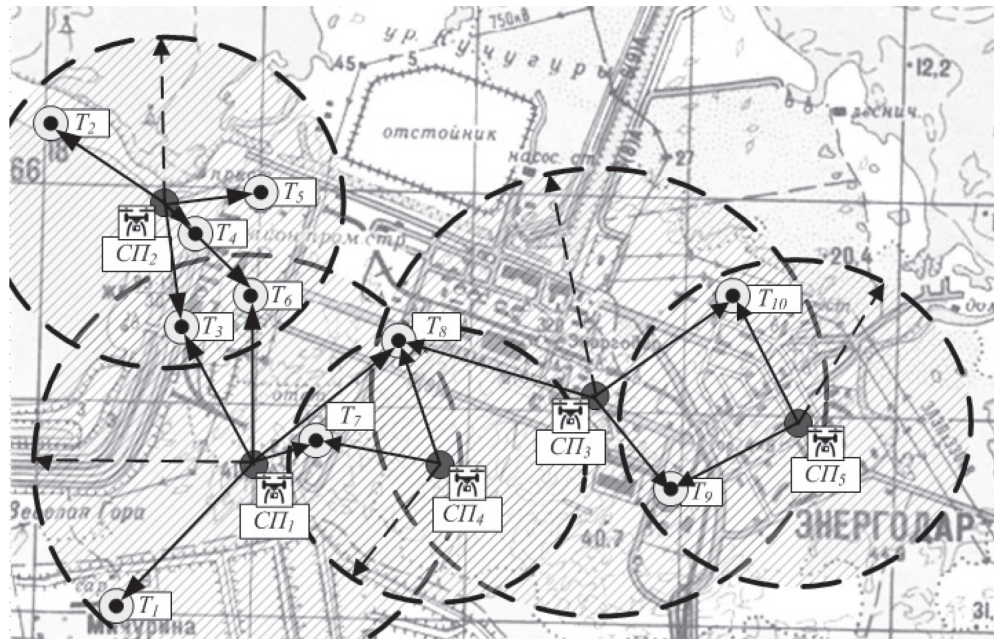


Рис. 5. Посты контроля АСКРО Запорожской АЭС, стартовые позиции флотов дронов и радиусы их действия

Определение оптимального состава флотов дронов для мониторинга АЭС при ограничениях на траектории их полетов. При использовании флотов дронов в ходе послеварийного мониторинга АЭС они вылетают с мест базирования (стартовых позиций) к заданным зонам наблюдения — точкам местности. В качестве данных точек могут выступать:

посты автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) для получения информации по беспроводному каналу в случае отказа проводного канала или для обеспечения диверсности по передаваемым данным;

места сброса дополнительных датчиков для съема необходимой информации о послеварийной радиационной обстановке;

точки зависания над заданными объектами АЭС для определения степени их разрушения с помощью видеокамеры, отслеживания динамики изменения радиационного фона на объектах с помощью дозиметрического оборудования, определения мест нахождения людей в залах с помощью тепловизоров;

места взятия проб грунта для анализа степени его радиоактивного загрязнения.

Однако каждый из флотов может обслуживать только часть таких точек вследствие ограниченности радиусов действия дронов и зон их радиовидимости, а также наличия на траекториях полетов дронов разрушений, нагромождений конструкций вследствие аварии и природных препятствий.

Таким образом, возникает необходимость решения задачи выбора наименьшего из m количества флотов дронов, которые могут обслужить все n зон наблюдения. Данная задача может быть сведена к задаче о минимальном покрытии.

Возможности полетов флотов к n точкам представим матрицей $A = [a_{ij}]_{m \times n}$ с элементами вида $a_{ij} = 1$, если i -й флот может достичь j -й точки мониторинга, $a_{ij} = 0$ — в противном случае.

Для выбора минимального количества флотов введем в рассмотрение булевы переменные $x_1, x_2, \dots, x_m, x_i \in \{0; 1\}$, $i = \overline{1, m}$: если $x_i = 1$, то i -й флот участвует в мониторинге, если $x_i = 0$ — не участвует.

Таким образом, условие, что в каждой точке должен появиться как минимум один флот, может быть представлено в виде

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} x_i \geq 1, \quad j = \overline{1, n}. \quad (4)$$

С учетом ограничения (4) общее количество флотов, участвующих в мониторинге при заданном размещении точек, определяется выражением

$$N_D = \sum x_i \rightarrow \min. \quad (5)$$

Формальная постановка решаемой задачи имеет следующий вид: найти значения переменных x_1, x_2, \dots, x_m , обеспечивающих минимум критерия оптимальности (5) при выполнении ограничения (4).

Данная задача является однокритериальной задачей дискретного (булевого) программирования и может быть решена одним из численных методов: методом ветвей и границ, методом Гомори и т. д. Пример решения подобной задачи для БПЛА военного назначения, где в качестве «обслуживаемых» точек рассмотрены цели для нанесения удара, приведен в [9].

Проиллюстрируем применение предложенного подхода для системы мониторинга, построенной в соответствии с вариантом V3. Пусть имеется $n=10$ точек, в роли которых выступают посты АСКРО Запорожской АЭС [10], и $m=5$ «обслуживающих» их флотов дронов (D_1-D_5), расположенных на стартовых позициях $СП_1-СП_5$ соответственно (рис. 5), с радиусами действия $r_i, i=1, \dots, 5$ (показаны на рис. 5 штриховыми линиями со стрелками).

Предполагается, что каждый i -й флот, включающий дрон-наблюдатель и дрон-ретранслятор, осуществляет

полет от стартовой позиции $СП_i$ к j -му посту контроля (T_j) по кратчайшей прямой l_{ij} (показана на рис. 5 сплошными линиями со стрелками), $i=1, \dots, 5$; $j=1, \dots, 10$, с целью приема информации от поста по каналу Wi-Fi дрона-ретранслятора и, в случае необходимости, установления степени его повреждения с помощью бортовой видеокамеры дрона-наблюдателя.

Необходимо определить минимальное количество из пяти флотов для обслуживания всех 10 постов контроля.

Из рис. 5 следует, что матрица A достижимости заданных постов со стартовых позиций будет иметь вид

$$A = \begin{matrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \\ T_7 \\ T_8 \\ T_9 \\ T_{10} \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} СП_1 \\ СП_2 \\ СП_3 \\ СП_4 \\ СП_5 \end{matrix}$$

Ограничения задачи после исключения эквивалентных переменных запишутся следующим образом:

$$x_1 + x_2 \geq 1; x_1 + x_4 \geq 1; x_1 + x_3 + x_4 \geq 1; x_3 + x_5 \geq 1; \\ x_1 \in \{0, 1\}; x_2 \in \{0, 1\}; \dots; x_5 \in \{0, 1\}.$$

Решив данную задачу численными методами, получим следующие результаты: $x_1 = 1$; $x_2 = 1$; $x_3 = 0$; $x_4 = 0$; $x_5 = 1$; $N_D = 3$.

Таким образом, для «обслуживания» всех 10 рассмотренных постов контроля достаточно задействовать три из пяти флотов — D_1 , D_2 , D_5 , расположенных на стартовых позициях $СП_1$, $СП_2$ и $СП_5$ соответственно.

Выводы

На основе общей концепции, изложенной в [5], разработаны варианты структур системы послеаварийного мониторинга АЭС с общими датчиками и общим флотом дронов, с отдельными зонами датчиков и используемыми дронами, а также с отдельными зонами датчиков и общим флотом дронов.

Полученные модели надежности позволили проанализировать зависимости вероятности безотказной работы системы мониторинга с общими датчиками от количества резервных дронов подсистемы передачи данных на базе дронов-ретрансляторов для различного количества резервируемых дронов. Данные модели и результаты их исследований могут использоваться для обоснования параметров флотов дронов.

Предложены подход и алгоритм определения оптимального состава флотов дронов для мониторинга АЭС при ограничениях на траектории их полетов к заданным точкам. В качестве примера рассмотрены посты контроля

автоматизированной системы контроля радиационной обстановки Запорожской АЭС.

Дальнейшие исследования, по мнению авторов, должны быть направлены на совершенствование системы мониторинга АЭС за счет включения в систему:

группы дронов, обеспечивающих передачу данных с помощью двунаправленной, высокоскоростной беспроводной коммуникационной технологии Li-Fi, использующей как канал связи видимый свет в открытом пространстве без волновода;

контура Интернета вещей, обеспечивающего передачу информации от проводных и беспроводных датчиков в облачное хранилище, к которому смогут обращаться для анализа информации представители группы внешних экспертов, работающие в интересах кризисного центра АЭС.

Включение дополнительных датчиков и коммуникаций потребует разработки новых моделей надежности, а использование подсистемы Интернета вещей вызывает необходимость уточнения алгоритмов принятия решений в кризисном центре.

Список использованной литературы

1. Бабак В. П., Канченко В. А., Ключников А. А., Краснов В. А., Чепур Н. Л. Беспилотные авиационные комплексы как средство радиационного мониторинга АЭС и окружающей среды. *Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля*. 2012. Вип. 19. С. 60—69.
2. Babak, S. (2014). "Radiation Monitoring of Environment Using Unmanned Aerial Complex", *The Advanced Science Journal*, issue 12, pp. 41—44.
3. Бабак С. В. Мониторинг окружающей среды АЭС с использованием систем видеонаблюдения и измерения мощности экспозиционной дозы на базе беспилотного авиационного комплекса. *Системи обробки інформації*. 2015. Вип. 7 (132). С. 190—194.
4. Канченко В. Я., Карнаушенко Р. В., Ключников О. О., Мариношенко О. П., Чепур М. Л. Безпілотні літальні апарати радіаційної розвідки і сільськогосподарського призначення: Монографія. Чорнобиль: Ін-т проблем безпеки АЕС, 2015. 180 с.
5. Саченко А. А., Кочан В. В., Харченко В. С., Ястребенецкий М. А., Фесенко Г. В., Яновский М. Э. Система послеаварийного мониторинга АЭС с использованием беспилотных летательных аппаратов: концепция, принципы построения. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2017. № 1 (73). С. 24—29.
6. Саченко А. О., Кочан В. В., Харченко В. С., Яцків В. В., Чернишов М. А., Биковий П. Є., Рошчупкін О. Ю., Коваль В. С. Концепція побудови мобільних систем пост-аварійного моніторингу АЕС з використанням флоту квадрокоптерів. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2016. № 5 (79). С. 207—214.
7. Sachenko, A., Kochan, V., Kharchenko, V., Roth, H., Yatskiv, V., Chernyshov, M., Bykovyy, P., Roshchupkin, O., Koval, V., Fesenko, H. (2016), "Mobile Post-Emergency Monitoring System for Nuclear Power Plants", *ICT in Education, Research and Industrial Applications: Integration, Harmonization and Knowledge Transfer, Proceedings of the 12th International Conference, ICTERI 2016*, June 21—24, 2016, Kyiv, Ukraine, pp. 384—398.
8. Hiromoto, R. E., Sachenko, A., Kochan, V., Koval, V., Turchenko, V., Roshchupkin, O., Yatskiv, O., Kovalok, K. (2014), "Mobile Ad Hoc Wireless Network for Pre- and Post-Emergency Situations in Nuclear Power Plant", *The 2nd IEEE International Symposium on Wireless Systems within the Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems*, Offenburg, Germany, pp. 92—96.
9. Моисеев В. С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов: Монография. Казань: Ред.-изд. центр «Школа», 2015. 444 с.
10. Вестрон. АСКРО ЗАЭС. Техническое задание. ТЗ — ВН. 702.410.34. Харьков, 2011. 124 с.

References

1. Babak, V.P., Kanchenko, V.A., Kliuchnikov, A.A., Krasnov, V.A., Chepur, N.L. (2012), "Unmanned Aerial Systems as a Means of NPP and Environmental Radiation Monitoring" [Bespilotnyie aviatsionnyie komplekxy kak sredstvo radiatsionnogo monitoringa AES i okruzhaiushchei sredy], Safety Problems of Nuclear Power Plants and Chornobyl, No. 19, pp. 60–69. (Rus)
2. Babak, S. (2014). "Radiation Monitoring of Environment Using Unmanned Aerial Complex", *Advanced Science Journal*, No. 12, pp. 41–44.
3. Babak, S.V. (2015), "NPP Environmental Monitoring Using Systems of Video Surveillance and Exposure Dose Rate Measuring Based on Unmanned Aerial Complex" [Monitoring okruzhaiushchei sredy AES s ispolzovaniem sistem videonabliudeniia i izmereniia moshchnosti ekspozitsionnoi dozy na baze bespilotnogo aviatsionnogo kompleksa], *Information Processing Systems*, No. 7 (132), pp. 190–194. (Rus)
4. Kanchenko, V.Ya., Karnaushenko, R.V., Kliuchnikov, O.O., Marinoshenko, O.P., Chepur, M.L. (2015), "Unmanned Aerial Systems for Radiation Exploration and Agricultural Purposes: Monography" [Bespilotni litalni aparaty radiatsiinoi rozvidky i silskohospodarskoho pryznachennia: Monohrafiia], Chornobyl, Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, 180 p. (Ukr)
5. Sachenko, A.A., Kochan, V.V., Kharchenko, V.S., Yastrebenetsky, M.A., Fesenko, H.V., Yanovskyi, M.E. (2017), "NPP Post-Accident Monitoring Based Unmanned Aircraft Vehicle: Concept, Design Principles" [Sistema posleavariinogo monitoringa AES s ispolzovaniem bespilotnykh letatelnykh apparatov: kontseptsii, printsipy postroeniia], *Nuclear and Radiation Safety Journal*, No. 1(73), pp. 24–29. (Rus)
6. Sachenko, A.O., Kochan, V.V., Kharchenko, V.S., Yatskiv, V.V., Chernyshov, M.A., Bykovyi, P.Ye., Roshchiupkin, O.Yu., Koval, V.S. (2016), "Concept of Building Mobile Systems for NPP Post-Accident Monitoring using Quadcopter Fleet" [Kontseptsiiia pobudovy mobilnykh system post-avariinoho monitorynhu AES z vykorystanniam flotu kvadropteriv], *Radioelectronic and Computer Systems*, No. 5(79), pp. 207–214. (Ukr)
7. Sachenko, A., Kochan, V., Kharchenko, V., Roth, H., Yatskiv, V., Chernyshov, M., Bykovyy, P., Roshchupkin, O., Koval, V., Fesenko, H. (2016), "Mobile Post-Emergency Monitoring System for Nuclear Power Plants", ICT in Education, Research and Industrial Applications, Integration, Harmonization and Knowledge Transfer, Proceedings of the 12th International Conference, ICTERI 2016, Kyiv, Ukraine, pp. 384–398.
8. Hiromoto, R. E., Sachenko, A., Kochan, V., Koval, V., Turchenko, V., Roshchupkin, O., Yatskiv, O., Kovalok, K. (2014), "Mobile Ad Hoc Wireless Network for Pre- and Post-Emergency Situations in Nuclear Power Plant", The 2nd IEEE International Symposium on Wireless Systems within the Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, Offenburg, Germany, pp. 92–96.
9. Moisieiev, V.S. (2015), "Fundamentals of the Theory of Effective Use of Unmanned Aerial Vehicles" [Osnovy teorii effektivnogo primeneniia bespilotnykh letatelnykh apparatov: Mongrafiia], Kazan, Shkola Publishing Centre, 444 p. (Rus)
10. Westron, ZNPP Automated Radiation Situation Monitoring Posts, Technical Decision, VN 702.410.34 [Westron. ASKRO ZAES. Tekhnicheskoe zadaniie.TZ-VN. 702.410.34], Kharkiv, 2011, 124 p. (Rus)

Получено 19.07.2017.