



УДК 681.5:004.272+519.6

© 2017 г. Г.Б. Диго,

Н.Б. Диго

(Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток)

## ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Анализируется возможность использования идей эволюционного моделирования в задачах прогнозирования и оптимизации на основе функционально-параметрического подхода. Рассматриваются методы поисковой оптимизации, допускающие распараллеливание вычислений.

**Ключевые слова:** эволюционное моделирование, прогноз технического состояния, системы ответственного назначения, поисковая оптимизация.

DOI: 10.22250/isu.2017.54.81-93

### Введение

Отказы сложных технических систем ответственного назначения, обычно являющихся уникальными, могут стать источниками чрезвычайных ситуаций. Такие отказы обусловлены процессами деградации их свойств, приводящими к выработке ресурса и потере работоспособности [1]. Для предотвращения аварий на системах ответственного назначения необходимо уменьшать возможности отказов и техногенных рисков, используя, в частности, прогноз динамики изменения их технического состояния на основе мониторинга.

Исследование эффективности и надежности сложных технических систем, в том числе систем ответственного назначения, связано с необходимостью учета начальной неопределенности моделей (уравнений) управляемых объектов, отсутствием или недостаточностью информации о возмущающих воздействиях, влиянием внешних факторов на протекающие в них процессы. Независимо от выбранного вида математической модели неопределенность присутствует в описании динамики, целей, ограничений, а поэтому приходится тщательно исследовать все возникающие неопределенности. Управление сложными техническими сис-

темами предполагает наличие сведений о конечной цели управления, начальных условиях функционирования объекта, его внутренней структуре и параметрах внешней среды. При неполной или недостаточной априорной информации для этого приходится привлекать новые подходы, учитывающие вероятностный характер воздействий и параметров. Очевидно, что в таких условиях обеспечение эффективности и надежности технических систем нужно рассматривать как проблему принятия решений в условиях неопределенности, реализующую обеспечение гарантированного результата, в том числе и как установление разумного компромисса между основными категориями, присущими сложным техническим системам ответственного назначения. Для решения этой проблемы могут использоваться методы функционально-параметрического (ФП) подхода теории надежности [2], методы прогнозирования и статистической обработки информации, принципы системного анализа. Эффективные решения могут быть получены с помощью алгоритмических и программных средств многовариантного анализа и оптимизации по стохастическим критериям, среди которых методы поисковой оптимизации, ориентированные на технологию параллельных и распределенных вычислений.

### **Постановка задачи**

Отказы технических систем и устройств связаны с техническим риском, наступление которого является случайным из возможного семейства событий, описывающих рассматриваемую ситуацию, каким-то образом распределенными во времени и сопровождаемыми определенными издержками, также случайными по величине. Технический риск принято понимать [3] как вероятность отказа с последствиями определенного уровня (класса) за определенный период функционирования опасного производственного объекта.

Пусть в качестве рискованного события рассматривается потеря работоспособности (отказ) технического объекта, характеристиками которого являются время безотказной работы или момент отказа (время наступления рискованного события  $T_R$ ). Их вероятностные характеристики определяются методами математической статистики и теории надежности. Классический подход на основе методов анализа статистических данных и аппарата теории случайных функций дает адекватные результаты только при условии, что есть достаточно полный объем априорной исходной информации, полученной на базе представительной выборки. При получении характеристик вероятности безотказной работы уникальных технических систем соответствующие вероятности корректно определить невозможно из-за недостаточности имеющейся статистики. Кроме того, нужно учитывать, что проблема состоит не в накоплении статистики отказов, а в их предотвращении.

В этих условиях перспективным может оказаться ФП-подход теории на-

дежности [4], основанный на следующих принципах:

процесс функционирования системы и ее техническое состояние в любой момент времени определяются конечным набором некоторых переменных – параметров системы;

накопление различных воздействий на систему приводит к изменениям ее параметров и вследствие этого к возможности перехода в иное качественное состояние;

отказы (рисковые события) являются следствием отклонений параметров от их исходных (номинальных, расчетных) значений, а формой проявления отказа является выход параметров за пределы области допустимых значений (области работоспособности).

Использование ФП-подхода подразумевает: оценивание текущего технического состояния системы; прогнозирование изменения технического состояния; определение соответствующих суммарных и единовременных эксплуатационных расходов, связанных с мониторингом состояния, проведением профилактических мероприятий и с ущербом, вызванным наступлением рискового события.

Оценивание и прогнозирование технического состояния в большой степени зависят от возможности мониторинга, в процессе которого значения контролируемых параметров регистрируются через определенные промежутки времени и образуют систему взаимосвязанных временных рядов. Фиксируемые параметры описываются математической моделью, используемой в дальнейшем для прогнозирования значений соответствующих характеристик. Если по предсказанным значениям возможен выход параметров за предельно допустимые значения, то необходимо принимать решение, связанное со снижением нагрузки на систему или ее аварийной остановкой.

В описанных условиях ставится задача анализа проблем, возникающих при использовании ФП-подхода для прогнозирования технического состояния и управления эксплуатацией сложных систем ответственного назначения, и возможности использования идей эволюционного моделирования для их решения.

### **Прогнозирование изменения технического состояния систем ответственного назначения**

При управлении техническими рисками на основе ФП-подхода необходимо [5] уметь оценивать текущее техническое состояние системы и прогнозировать его изменение (предсказывать момент перехода в предельное состояние).

Исходная информация для оценки технического состояния системы – измеренные значения (оценки) ее параметров; контролируемые могут быть как внутренние параметры (параметры элементов системы), так и выходные парамет-

ры (параметры состояния, показатели качества). В обоих случаях в [6] принятие решения осуществляется путем непосредственного сравнения оценок параметров с границами области работоспособности. Степень их удаленности от границ допустимых изменений можно использовать для оценки запаса работоспособности или остаточного ресурса в момент контроля.

Прогнозирование технического состояния системы ответственного назначения позволяет обеспечить надежность ее работы, предсказать работоспособность, определить срок службы, время наступления предельного состояния, сроки проведения технического обслуживания и т.д. Его основу составляют модели и методы, с помощью которых можно наиболее достоверно и точно описать процессы изменения параметров, определяющих техническое состояние системы. Основные трудности связаны с тем, что прогноз приходится осуществлять для каждого объекта индивидуально, при малых объемах исходной информации (по небольшому набору результатов контроля) и в присутствии помех (ошибок контроля), статистические свойства которых достоверно не известны. В этих условиях классические методы математической статистики и теории случайных процессов теряют свои привлекательные свойства, а их использование для прогнозирования приводит к существенным ошибкам и невысокой достоверности прогноза.

Математические модели, позволяющие прогнозировать техническое состояние системы и ее составных частей, классифицируются по ряду признаков, включая цель моделирования (прогнозирование технического состояния и отказов), характер и динамику исследуемых процессов, количество воздействующих факторов и контролируемых параметров, источники информации для получения сведений об изучаемых процессах (результаты лабораторных испытаний, обработка данных в подконтрольных или реальных условиях эксплуатации) [7, 8].

Кроме того, во всех классах математических моделей можно выделить группы, при помощи которых происходит их формирование:

физические (аналитические) модели, полученные на основе изучения физических закономерностей, структура уравнений и параметры которых имеют физическое толкование;

вероятностные модели, построенные на основе статистических наблюдений с применением аппарата теории вероятностей и математической статистики;

формальные (регрессионные, авторегрессионные, скользящего среднего, смешанные и т.д.) модели, полученные на основе анализа зависимости входных и выходных параметров объекта, представленного в виде абстрактного кибернетического «черного ящика», при помощи прикладного статистического анализа.

Методы прогнозирования технического состояния систем можно классифицировать по типу объекта прогнозирования и способу использования исходных данных, по значимости параметров – основных и вспомогательных (связанных с

основными параметрами), по виду прогнозируемых процессов, по подходу к решению задачи прогнозирования и по применяемому математическому аппарату.

Перечисленные выше виды моделей описывают только определенные стороны процесса изменения параметров, характеризующих техническое состояние системы. При этом аналитические модели связывают процесс старения системы и ее элементов с небольшим числом эксплуатационных факторов (два-три), не учитывая случайный характер процесса изменения значений параметров. Вероятностные модели характеризуются сложностью получения статистических данных для учета всего многообразия условий эксплуатации и используются преимущественно для расчета надежности (прогнозирования технического состояния) системы на стадии проектирования и изготовления. На этапе эксплуатации наиболее эффективными являются эмпирические (формальные) модели, описывающие в явном виде зависимость изменения параметров технического состояния от воздействующих факторов окружающей среды, режимов и условий работы.

При этом регрессионные модели позволяют отслеживать зависимость выходного параметра от любого количества входных параметров и всевозможных их сочетаний, но они не учитывают предыдущее состояние наблюдаемого параметра – строятся по единственному временному сечению. Модели авторегрессии – проинтегрированного скользящего среднего – описывают процесс динамически, как развернутый во времени, но совершенно не учитывают входные параметры, а сумму эксплуатационных воздействий рассматривают как «белый шум».

С точки зрения прогнозирования наиболее точными и эффективными являются многофакторные динамические стохастические модели, требующие для своего практического использования применения вычислительных средств. Такие модели учитывают в явном виде весь комплекс внешних и внутренних воздействующих факторов, состояние системы в предшествующие периоды времени, включают не присутствующие явно в наборе входных параметров случайные воздействия. Они наиболее подходят для прогнозирования случайных динамических процессов, к которым относят старение элементов системы в реальных условиях эксплуатации.

Прогнозирование технического состояния системы обеспечивает своевременное реагирование на возможное нарушение протекающего процесса, способствует обеспечению работоспособности и позволяет предотвращать аварийную ситуацию.

При мониторинге значения контролируемых параметров регистрируются через определенные промежутки времени и образуют систему взаимосвязанных временных рядов.

Фиксируемые параметры описываются математической моделью, используемой в дальнейшем для прогнозирования значений соответствующих характе-

ристик. Если по предсказанным значениям возможен выход параметров за предельно допустимые значения, значит, процесс нарушен и необходимо принимать решение, связанное со снижением нагрузки на систему или ее аварийной остановкой.

Поскольку независимо от выбранной математической модели неопределенность присутствует в описании динамики, целей, ограничений, нужно исследовать и преодолевать все возникающие неопределенности.

Дефицит информации о закономерностях параметрических возмущений можно преодолеть, используя метод индивидуального гарантированного прогноза [1], не требующий сведений о вероятностных характеристиках ошибок наблюдений и других помех и определяющий некоторую область, в пределах которой гарантированно будут находиться параметры состояния системы в любой заданный момент времени. Он обладает необходимыми свойствами несмещенности, однозначности и оптимальности, но, как и некоторые другие методы, подразумевает, что известна структура случайного процесса изменения параметров состояния либо что принята гипотеза относительно модели процесса изменения параметра для прогноза. Однако во многих случаях априорной информации недостаточно для принятия той или иной гипотезы о предпочтительной модели, а апостериорных данных (результатов контроля) слишком мало для каких-либо статистических выводов, и тогда можно использовать технологии многовариантного анализа или методы искусственных нейронных сетей.

В [1] достаточно достоверный прогноз предлагается получать с помощью искусственных нейронных сетей, считая их главными достоинствами свойства обучения и обобщения. Обучение приводит к тому, что после многократного обращения сети к обучающим примерам она способна давать правильные ответы на любые входные данные из обучающей выборки. А после тестирования сеть будет обеспечивать достаточно достоверные результаты по любым входным данным, не являющимся данными обучающего множества (свойство обобщения). Этап обучения сети позволяет адаптировать модель к происходящим изменениям, а его основой являются алгоритм обучения и сформированная обучающая выборка. Но очевидно, что качество получаемой модели прогноза зависит от способа формирования обучающей и проверочной выборок.

Распространенным способом выделения обучающей выборки из исходной совокупности данных является формирование случайных выборок [9], хотя ему свойственны такие недостатки как неопределенность ее объема, возможность включения малозначимых и исключения важных величин при малом объеме данных. Другой способ – использование процедур кластер-анализа, обеспечивающих выделение значимо влияющих данных. Но их недостаток состоит в том, что количество кластеров априори неизвестно, поэтому статистические свойства в

сформированной выборке могут не соответствовать исходной, а при выделении большого числа кластеров выборка может стать избыточной.

Наиболее точный метод формирования обучающих выборок – метод полного перебора всех возможных подвыборок из исходной выборки. Но из-за большой трудоемкости он применим только для выборок небольшого объема. Поэтому проблема формирования обучающих выборок по данным, полученным на реальных объектах, обеспечивающих построение качественных моделей прогноза, остается актуальной. Представляется целесообразным использование эволюционного метода формирования выборок, предложенного в работе [9] и являющегося разновидностью случайного поиска.

Пусть состояние технической системы в заданный момент времени  $t$  определяется некоторым, в общем случае векторным параметром  $\mathbf{x}(t) = (x_1(t), \dots, x_m(t))$  и выходом  $y(t)$ . Процесс изменения параметра является неизвестной функцией времени и задан своими значениями, полученными в ходе наблюдения (контроля) при  $t > t_0$ . Требуется оценить значения процесса  $\mathbf{x}(t)$  при  $t > t_0$ . Предположим, что задана исходная выборка, полученная из реальных данных объемом  $N \times (m + 1)$  и включающая значения  $m$  входных параметров и одного выходного. Согласно [9], задача формирования обучающей выборки из исходной выборки может рассматриваться как поиск минимального подмножества  $\langle X, Y \rangle$ , для которого значение заданного функционала качества  $\bar{I}(\langle X, Y \rangle)$  имеет максимальное значение. Результатом этого поиска является замена исходной выборки выборкой меньшего размера, содержащей потенциально наиболее информативные значения.

Алгоритм эволюционного метода формирования обучающих выборок включает следующие шаги.

1. Задание исходной выборки  $\langle X, Y \rangle$  объема  $S$ , максимально допустимый объем  $S\phi$  формируемой обучающей выборки  $\langle x, y \rangle$ , расчет значения критерия качества исходной выборки  $\bar{I}(\langle X, Y \rangle)$ , размера популяции решений  $N$ , максимальное число итераций, вероятность мутации, приемлемое значение критерия качества результата.

2. Псевдокластеризация.

3. Формирование начальной популяции решений.

4. Проверка на окончание поиска.

5. Отбор решений для скрещивания.

6. Скрещивание.

7. Мутация, переход на шаг 4.

Эволюционный метод формирования обучающих выборок совмещает идеи случайного формирования выборки и детерминированного поиска лучших решений. Он начинается с выделения наиболее перспективных для включения в реше-

ния экземпляров, однако сохраняет шансы остальных экземпляров войти в формируемые выборки и в процессе своей работы целенаправленно улучшает рассматриваемые решения. При этом метод гарантирует, что каждая из рассматриваемых выборок будет иметь объем не более  $S\phi$ .

### Поисковая оптимизация и пути ее использования в ФП-подходе

Использование ФП-подхода подразумевает учет возможных отклонений параметров от расчетных значений, предсказание их последствий, разработку комплекса мероприятий, обеспечивающих требуемые характеристики объекта в условиях этих отклонений. В рамках концептуальной модели ФП-подхода прогнозирование технического состояния и управление эксплуатацией сложных систем ответственного назначения – естественное продолжение обычных инженерных расчетов.

В существующих условиях неопределенности для достижения требуемого качества функционирования системы необходимо выбирать и реализовывать стратегию управления ее параметрами, учитывая дефицит информации о случайных закономерностях процессов их изменения, вероятностный характер критерия оптимальности, нелинейность целевой функции и ограничений на нее. Одна из возможных стратегий может быть основана на методах поисковой оптимизации, но среди них не существует универсальных. Для конкретного класса задач приходится выбирать тот или иной метод на основе имеющейся априорной информации или некоторых допущений либо применять сразу несколько. Поэтому на практике эффективен подход, основанный на многометодной технологии.

Пусть рассматривается техническая система, свойства (качество работы) которой зависят от значений параметров ее элементов  $\mathbf{x} = (x^{(1)}, \dots, x^{(n)})$ ,  $\mathbf{x} \in R^n$ . Информация о возможных вариациях значений внутренних параметров задана в виде пределов изменения их возможных значений, т.е.

$$x_{\min}^{(i)} \leq x^i \leq x_{\max}^{(i)}, \quad x^{(i)} \geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

заданы условия работоспособности системы

$$a_j \leq y_j(\mathbf{x}) \leq b_j, \quad j = 1, \dots, m, \quad (2)$$

где  $\mathbf{y} = \{y_j\}_{j=1}^m$ ,  $j = 1, \dots, m$  – вектор выходных параметров;  $a_j, b_j$  – ограничения на его компоненты,

$$y_j = G_j(x^{(1)}, \dots, x^{(n)}), \quad (3)$$

здесь  $G_j(\cdot)$  – известный оператор, зависящий от топологии исследуемого устройства.

Область  $D_{\mathbf{x}} = \{\mathbf{x} \in R^n : \mathbf{a} \leq \mathbf{y}(\mathbf{x}) \leq \mathbf{b}\}$  в пространстве параметров исследуе-



мой системы, в каждой точке которой выполняются условия (2), называемая областью работоспособности, имеет произвольную конфигурацию и ориентацию в пространстве параметров. В общем случае она может представлять собой точечное множество, ограниченное сложной поверхностью в многомерном пространстве. Большая размерность области  $D_x$  и априори неизвестная конфигурация ограничивающей ее поверхности создают существенные трудности при ее нахождении и использовании в процессе решения широкого круга прикладных задач.

Процесс выбора векторов  $x$  параметров переменных из области работоспособности  $D_x$ , обеспечивающих экстремальное значение целевой функции  $Q(x)$ , сводится к решению задачи нелинейной оптимизации. В зависимости от поставленной цели это может быть максимум или минимум. Поскольку максимизация  $Q(x)$  сводится к минимизации  $-Q(x)$ , то, не нарушая общности рассмотрения, достаточно решать одну из них.

Пусть для определенности требуется найти

$$\min_{x \in D_x} Q(x). \quad (4)$$

Выражение (4) равнозначно следующей задаче оптимизации. Найти вектор  $x = (x^{(1)}, \dots, x^{(n)})$ , обеспечивающий минимум

$$Q(x) = Q(x^{(1)}, \dots, x^{(n)}), \quad (5)$$

при условиях (1) и

$$g_i(x^{(1)}, \dots, x^{(n)}) \leq 0, i = 1, \dots, m, \quad (6)$$

где  $Q(x)$  и  $g_i(x^{(1)}, \dots, x^{(n)})$  – функции произвольного вида,  $i = 1, \dots, m$ .

Ставится задача исследования эффективности методов поисковой оптимизации (4) в зависимости от имеющейся априорной информации о целевой функции (5) и ограничениях из (6).

Согласно [10], будем говорить, что задача (1), (5), (6) решается методом поисковой оптимизации, если процедура поиска оптимального решения связана с проведением испытаний (итераций, шагов поиска) в точках  $x^r$ ,  $r = 1, \dots, k$ . При этом оптимальное решение  $x^*$  определяется с помощью системы рекуррентных соотношений, которые для заданного начального приближения  $x^0$  в общем виде можно представить следующим выражением:

$$x^r = F_r[x^0, Q(x^0), g(x^0); \dots; x^{r-1}, Q(x^{r-1}), g(x^{r-1})], r = 1, \dots, k. \quad (7)$$

После проведения  $k$  испытаний, связанных с определением из (7) векторов  $x^r$ , приближенное значение  $Q^*$  выбирается из условия

$$Q^* = Q(x^*) = \min_{0 \leq r \leq k} Q(x^r). \quad (8)$$

Таким образом, выражение (8) и начальное приближение  $x^0$  вместе с систе-

мой соотношений (7) являются математической записью метода поисковой оптимизации.

Подобные задачи могут потребовать больших временных затрат. В связи с этим возникает проблема решения поставленной задачи при наименьшем числе испытаний. Для выбора конкретного метода поисковой оптимизации приходится ориентироваться на свойства  $Q(\mathbf{x})$ , характерные для рассматриваемого класса задач. По ним выделяется класс функций  $K_Q$  с одними и теми же свойствами.

Для минимизации  $Q(\mathbf{x}) \in K_Q$  требуется выбрать наилучший в том или ином смысле алгоритм из некоторого множества алгоритмов  $A_F$ . Класс алгоритмов  $A_F$  выбирается в соответствии с классом  $K_Q$  и содержит алгоритмы  $F^i, i = 1, 2, \dots$ . Теоретически наилучший алгоритм из класса  $A_F$  найден только для поиска экстремума одномерных унимодальных функций [1]. В более сложных ситуациях выбор наилучшего алгоритма проводится на основе многовариантного анализа, экспериментальных исследований и тестирования.

В зависимости от вида ограничений (6) и свойств  $Q(\mathbf{x})$  из (5) класс  $A_F$  может включать, например, алгоритмы выпуклой, линейной или нелинейной оптимизации. Если целевая функция (5) и ограничения (6) представляются таблично или алгоритмически, задача рассматривается как вариант нелинейной оптимизации.

При отсутствии сведений о свойствах целевой функции и ограничениях основные трудности решения поставленных задач связаны с вероятностным характером критерия оптимальности, дефицитом информации о случайных закономерностях процессов изменения параметров систем, большой размерностью пространства варьируемых параметров [11].

Поиск экстремума целевой функции, заданной таблично, в области работоспособности  $D_x$ , ограниченной нелинейными функциями внутренних параметров, эффективно осуществляется путем распараллеливания таких методов, как случайный поиск или метод сканирования [12 – 14].

### **Возможности применения эволюционного моделирования в поисковой оптимизации**

При использовании ФП-подхода основные трудности возникают из-за дефицита априорной информации о свойствах целевой функции и ограничениях. Может оказаться, что найденные оптимальные значения параметров, при которых достигается максимум вероятности безотказной работы системы за определенный промежуток времени, не приводят к выполнению требуемых ограничений на эту вероятность. Из-за возникающих условий неопределенности не всегда удается

обеспечить заданное качество функционирования системы, что приводит к необходимости выбора и реализации стратегии управления ее параметрами. При этом приходится учитывать наличие не только вероятностного характера критерия оптимальности и дефицита информации о случайных закономерностях процессов изменения параметров проектируемых систем, но и нелинейность целевой функции и ограничений на нее. В таких условиях из-за отсутствия универсальных методов поисковой оптимизации на практике применяется подход, основанный на многометодной технологии. Разработанные на его основе многометодные алгоритмы реализуются в виде параллельных итерационных процессов с выбором лучшего приближения для продолжения оптимизации до достижения требуемой точности [15]. Такой подход учитывает особенности целевой функции на всех этапах поиска и обеспечивает в реальных условиях для каждой конкретной задачи подбор своей последовательности шагов из разных методов, приводящий к наиболее эффективному результату.

Представляется целесообразным в подобных случаях использовать идеи и методы эволюционного моделирования [16], которое, в частности, применяется при автоматизации решения различных оптимизационных задач науки и техники. Его отличительная особенность заключается в том, что одновременно анализируются различные области пространства решений, позволяющие находить новые области с лучшими значениями целевой функции за счет объединения субоптимальных решений из разных их множеств. Кроме того, поиск осуществляется не из единственной точки, а из множества точек, при этом в процессе поиска используется значение целевой функции, а не ее приращение. Специфика работы алгоритма позволяет накапливать и использовать знания об исследованном пространстве поиска (проявлять способность к самообучению), применять к широкому диапазону задач без его модификации.

Как и всякий подход, эволюционное моделирование имеет свои преимущества, среди которых – независимость от вида оптимизируемой функции, включая поддержку неаналитического способа ее задания, независимость от области определения и типов переменных оптимизации. К его достоинствам относятся широкая область применения (особенно для задач, где отсутствуют классические методы решения), эффективное решение комбинаторных и смешанных задач оптимизации без ограничений на математическую модель, доступность алгоритмизации и интеграции с другими технологиями, возможность распараллеливания вычислительного процесса, а также его аппаратной реализации.

К недостаткам эволюционного моделирования относятся: отсутствие гарантии нахождения глобального оптимума с первого запуска алгоритма, необходимость кодирования решений (для генетических алгоритмов) и конструирования fitness-функции, а также вычислительная трудоемкость.

Практический интерес к эволюционному моделированию объясняется тем, что эволюционные вычисления позволяют найти достаточно хорошие решения очень трудных задач поиска за меньшее время, чем при обычно применяемых в этих случаях методов. Одно из ограничений на их применение для получения хорошего результата состоит в необходимости многократного (от сотен до миллионов раз) вычисления целевой функции, но это устранимо путем использования технологии распараллеливания.

### **Заключение**

Проанализированы проблемы, возникающие при прогнозировании технического состояния и управлении эксплуатацией сложных систем ответственного назначения на основе функционально-параметрического подхода. Среди них – дефицит априорной информации о случайных процессах вариации параметров исследуемых систем и высокая вычислительная трудоемкость поиска решения. В существующих условиях неопределенности для достижения требуемого качества функционирования системы необходимо выбирать и реализовывать стратегию управления ее параметрами, учитывая дефицит информации о случайных закономерностях процессов их изменения, вероятностный характер критерия оптимальности и нелинейность целевой функции и ограничений на нее. Одна из таких стратегий – применение методов поисковой оптимизации. Поскольку среди методов поисковой оптимизации нет универсальных, предложено использовать многометодную технологию и алгоритмы, допускающие распараллеливание вычислительных процессов. Такой подход учитывает особенности оптимизируемой функции на всех этапах поиска и обеспечивает в реальных условиях для каждой конкретной задачи подбор своей последовательности шагов из разных методов, приводящий к наиболее эффективному результату.

Анализ возможности использования идей эволюционного моделирования позволяет предполагать, что такой подход применим при различных видах оптимизируемой функции, в том числе представленной не в аналитическом виде. Кроме того, следует отметить, что методы, основанные на идеях эволюционного моделирования, применимы для решения задач при отсутствии классических методов их решения. Однако необходимо учитывать, что выбор алгоритма должен быть индивидуальным для конкретной задачи.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Абрамов О.В.* Мониторинг и прогнозирование технического состояния систем ответственного назначения // Информатика и системы управления. – 2011. – № 2(28). – С. 4-15.
2. *Абрамов О.В.* Возможности и перспективы функционально-параметрического направления теории надежности // Информатика и системы управления. – 2014. – № 4. – С. 64-77.

3. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов.
4. *Абрамов О.В.* Анализ и прогнозирование техногенных рисков // Информатика и системы управления. – 2012. – № 3. – С. 97-105.
5. *Абрамов О.В.* К проблеме предотвращения аварий технических объектов ответственного назначения // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 1. – С. 11-16.
6. *Абрамов О.В.* Алгоритм оценки и прогнозирования остаточного ресурса сложных технических систем // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество-2013» / под ред. Н.К. Юркова. – Пенза: ПГУ, 2013. – Т. 1. – С. 5-6.
7. Теория прогнозирования и принятия решений / С.А. Саркисян, В.И. Каспин, В.А. Лисичкин и др.; под ред. С.А. Саркисяна. – М.: Высш. школа, 1977.
8. *Гаскаров Д.В., Голинкевич Т.А., Мозгалеvский А.В.* Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры / под ред. Т.А. Голинкевича. – М.: Сов. радио, 1974.
9. *Субботин С.А.* Методы формирования выборок для построения диагностических моделей по прецедентам. // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ" . – 2011. – №17. – С.149-156.
10. *Батищев Д.И.* Поискoвые методы оптимального проектирования. – М.: Советское радио, 1975.
11. *Абрамов О.В.* Методы и алгоритмы параметрического синтеза стохастических систем // Проблемы управления – 2006. – № 4. – С. 3-8.
12. *Абрамов О.В., Катyева Я.В.* Использование технологии параллельных вычислений в задачах анализа и оптимизации // Проблемы управления. – 2003. – №4. – С. 11-15.
13. *Абрамов О.В., Дигo Г.Б., Дигo Н.Б., Катyева Я.В.* Параллельные алгоритмы построения области работоспособности // Информатика и системы управления. – 2004. – №2(8). – С. 121-133.
14. *Катyева Я.В.* Параллельные алгоритмы моделей параметрического синтеза для вычислительного комплекса МВС 1000/16 // Математическое моделирование. – 2004. – Т. 16, №6. – С. 18-22.
15. *Дигo Г.Б., Дигo Н.Б.* Применение многометoдных вычислительных схем в оптимальном параметрическом синтезе технических устройств и систем // Проблемы управления – 2011. – № 4. – С. 26-30.
16. *Аверченков В.И.* Эволюционное моделирование и его применение: монография / В.И. Аверченков, П.В. Казаков. – Брянск: БГТУ, 2009.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии О.В. Абрамовым.*

*E-mail:*

*Дигo Галина Борисовна – bernatsky@iacp.dvo.ru;*

*Дигo Наталья Борисовна – digo@iacp.dvo.ru.*