

УДК 621.396

Анализ возможностей управления современными киберфизическими системами

Т.В. Аветисян^{1,2}, Е.А. Фирсова², В.С. Стукалова², В.О. Телегина²,
А.П. Преображенский²

¹Колледж Воронежского института высоких технологий, Воронеж, Россия

²Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия

В данной работе рассматриваются некоторые характеристики киберфизических систем. Киберфизические системы имеют модульную структуру и необходимо учитывать неоднородность модулей, что оказывает влияние на характеристики управления. Указаны основные возможности оптимизации таких систем управления. Продемонстрировано, каким образом можно осуществить оценку потерь в киберфизической системе на основе вероятностного подхода.

Ключевые слова: киберфизическая система, управление, риск, вероятность, модуль.

Analysis of the possibilities of managing modern cyber-physical systems

T.V. Avetisyan^{1,2}, E.A. Firsova², V.S. Stukalova², V.O. Telegina²,
A.P. Preobrazhenskiy²

¹College of Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

²Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

This paper examines some characteristics of cyber-physical systems. Cyber-physical systems have a modular structure and it is necessary to take into account the heterogeneity of the modules, which affects the control characteristics. The main possibilities for optimizing such control systems are indicated. It is demonstrated how it is possible to assess losses in a cyber-physical system based on a probabilistic approach.

Keywords: cyber-physical system, control, risk, probability, module.

В настоящее время разработки, которые относятся к киберфизическим системам (КФС), активным способом внедряют в различные сферы жизни и производства [1, 2]. В подобных системах используют сквозные информационно-коммуникационные [1] и информационно-управляющие [2, 3] технологии. Тогда возникают возможности реализовывать в подобных системах процессы активного взаимодействия с различными элементами окружающего физического мира.

Анализ показывает, что при рассмотрении особенностей работы КФС большое внимание должно уделяться улучшению качества их функционирования. Это относится к любому из модулей, который входит в их состав.

Целью данной работы является анализ возможностей управления современными КФС, в том числе с учетом особенностей их внутренней структуры.

Для того, чтобы качество и эффективность КФС были повышены, необходимо опираться на различные теоретические разработки и методы, которые связаны с реализацией идентификации и управления. При этом в особенностях работы КФС учитывается неоднородность составляющих их компонентов, многостадийность реализуемых процессов, сложность различных элементов, многомерность представления

информации, возможность нестационарности в передаваемых сигналах. Алгоритмы обработки информации [4, 5] должны быть удобными с точки зрения реализации на современных компьютерах.

При описании КФС в ряде случаев используемые математические модели должны быть рациональным образом упрощены. Это вытекает из требований к автоматизированным системам управления [6, 7], которые должны иметь как можно более простую структуру. Кроме того, оптимизационные задачи, которые возникают в ходе проектирования КФС, характеризуются все большей вычислительной сложностью.

Используются алгоритмические процедуры, основанные на диалоговом взаимодействии «человек-машина». За счёт таких процедур между компьютером, автоматическими устройствами и лицом, принимающим решение (ЛПР), функции будут распределены оптимальным образом. Также разрабатываются соответствующие методы, дающие возможности для оценок качества, надёжности и эффективности КФС.

ЛПР даёт информацию, которая позволяет в ходе выбора целевой функции уменьшить неопределённость. Тогда в ходе управления КФС для ЛПР должны быть чётким образом описаны задачи [8, 9].

Чтобы в управлении КФС обеспечить рост эффективности, требуется совершенствовать организацию проектирования, техническое оснащение. При этом представляют интерес такие направления, которые перспективны:

1. Использование технического оборудования совместно с исполнительными устройствами, датчиками в ходе их разработок.
2. Реализация оптимального выбора типа компьютеров, различных устройств, которые связаны с обработкой информации, при проектировании КФС.
3. Обеспечение унификации, стандартизации, специализации технического оснащения КФС.
4. Учёты локальных целей в ходе управления КФС за счёт применения системного подхода [10, 11].
5. Обеспечение развития проектируемых информационных систем в системах управления КФС.
6. Реализация вычислительных устройств с высокой надёжностью в системах взаимодействия «человек-машина».
7. Обеспечение взаимодействия между подразделениями в организациях при проектировании и эксплуатации элементов вычислительной техники.
8. Учёт особенностей организационных коллективов при оценке надёжности КФС.

При оценке эффективности управления важно осуществлять анализ причин, связанных с её снижением. Они связаны с надёжностью, организационно-техническими аспектами, алгоритмическими особенностями, информационными характеристиками.

Оптимизация систем управления КФС влияет на характеристики качества и эффективности.

Достаточно часто с учётом условий неполной априорной информации решается задача, связанная с оптимизацией. То есть существует частная информация по вероятностным характеристикам элементов управления. Если есть неполная априорная информация, помехи, то методы оптимизации развиваются с точки зрения ведения поиска по наилучшим алгоритмам оптимизации. Также при анализе и синтезе алгоритмов используется единый подход. Применяется преимущество использования диалоговых взаимодействий «человек-машина».

В случае проектирования сложных КФС полезным является использование методов имитационного эксперимента.

Методы, связанные с ростом эффективности проектирования КФС, разрабатываются вследствие появления разнообразия систем управления, усложнения их топологии.

Изменение динамических характеристик КФС происходит вследствие влияния различных внешних факторов. Проявление внешних сигналов в виде мультипликативных воздействий внутри систем радиосвязи для самонастраивающихся систем ведёт к тому, что некоторые из элементов КФС выходят из строя, изменяются параметры системы.

В таких случаях необходимо рассматривать поведение КФС с учётом влияния случайных и регулярных воздействий. Отклонение в динамических параметрах КФС связано с изменениями характеристик внешних воздействий.

Модули, входящие в состав КФС, являются неоднородными. Рассмотрим особенности влияния неоднородности модулей КФС на эффективность управления. Во многих случаях используются классические методы для управления КФС.

Стабилизация входящих переменных, когда не учитывается их заметная неоднородность, а также автоматическое регулирование дают возможности для того, чтобы повышать эффективность управления. Существуют ситуации, в которых выбирается наилучший вариант при заданной степени риска. Также можно учитывать траекторию, по которой изменяются выходные переменные без учёта информации в условиях неопределённости от ЛПП.

Вследствие существования неоднородности будут формироваться целевые функции. В ряде случаев задача оптимального выбора рассматривается в виде поиска оптимальных решений на дискретных множествах.

Проблема состоит в том, что, осуществляя анализ КФС с точки зрения категорий разнообразия модулей, имеющих неоднородные характеристики, требуется вести разработку принципов, основанных на идентификации и управлении. Они направлены на то, чтобы повышать эффективность и качество работы КФС.

С точки зрения работы с КФС, имеющими неоднородные характеристики, требуется решать следующие вопросы:

1. Классификация источников и проведение оценок степени неоднородности модулей.
2. Разработка методов идентификации модулей.
3. Разработка методов, позволяющих упрощать математические модули. Это достигается за счёт уменьшения объемов эксперимента, сокращения времени подробного описания однородных компонентов.
4. Использование подходов, базирующихся на многокритериальной оптимизации. Это позволяет дать количественную оценку качественных характеристик.
5. Разработка подходов, позволяющих обеспечивать качество, надёжность и эффективность в КФС с учётом влияния различных субъективных факторов.
6. Разработка процедур, которые обеспечивают оптимальное распределение функций между компьютером и людьми.
7. Разработка эвристических методов, связанных с подготовкой и принятием решений, в случаях трудностей с формализацией.
8. Разработка имитационных схем, в которых формализованные модели объединяются с методом экспертных оценок.
9. Проведение унификации алгоритмического обеспечения для повышения эффективности принятия решений.

Рассмотрим результат влияния учёта неоднородных характеристик КФС на показатели эффективности управления.

Характеристики являются неоднородными вследствие разнообразия в постановке и описании задач оптимального управления. Важно учитывать экономическую оценку применяемых подходов в управлении. Для получения такой оценки можно рассмотреть следующие варианты:

1. Отсутствуют принципы управления объектами с неоднородными характеристиками.
2. Разработаны принципы управления объектами с неоднородными характеристиками.

Первый вариант основывается на предположении, что математическое описание технологического объекта является единым, и для всех условий работы при оптимальном управлении существует единственная постановка задачи. Тогда может быть применена одноразовая идентификация. Для неё окончание процесса сбора информации будет фиксированным, после завершения экспериментов будет построена модель. При этом не учитываются характеристики неоднородности объектов. Такая постановка оптимальной задачи будет оказывать влияние на структуру алгоритма управления.

Параметры и структура в математическом описании оказывают влияние на параметры.

Если рассматриваемый технологический объект не будет соответствовать реальным характеристикам, то это может привести к тому, что выпускаемая продукция будет терять в качестве. В таких случаях для системы управления необходимо предусмотреть затраты, связанные с её перестройкой. Можно обеспечить уменьшение экономических потерь, которые обусловлены особенностями алгоритмов в оптимальном управлении, а также ошибками в математическом описании. Это достигается с помощью применения «грубых» моделей, которые в дальнейшем будут уточнены. Помимо этого, вследствие непрерывного пополнения экспериментальных данных, будет наблюдаться рост качества управления. Такой подход полезен в тех случаях, когда у объекта непрерывно меняются параметры.

На рисунке 1 приведена схема основных составляющих, входящих в состав КФС.

Степень деструктивных воздействий на КФС определяется характеристиками однородности модулей, входящих в ее состав. На рисунке 2 продемонстрированы основные деструктивные воздействия на элементы КФС, которые относятся к разным уровням: физическому, сетевому и уровню приложений.



Рисунок 1. Основные составляющие, входящие в состав топологии КФС



Рисунок 2. Основные угрозы, соответствующие разным уровням КФС

Ввиду неоднородности модулей, входящих в КФС, может быть отличие или в дискретных значениях параметров, или в структуре моделей. За счет сбора новых данных, в ходе эксперимента есть возможность перестройки алгоритмов и моделей, на основе которых функционируют модули КФС. Для этого необходим расход некоторых ресурсов, то есть существуют экономические потери первого типа H_1 . При этом можно не получить оптимальное значение параметров в анализируемых моделях.

Если для условий функционирования модулей КФС в оптимальном управлении могут быть разные постановки задач, то при идентификации моделей по всем однородным компонентам будут наблюдаться экономические затраты второго типа H_2 . При этом будет наблюдаться отсутствие потерь первого типа. Это связано с тем, что алгоритмы управления, а также оптимизационная модель будут определены при рассмотрении неоднородных модулей при каждом из наборов условий их функционирования.

Можно сопоставить степени разнообразия характеристик модулей КФС с некоторой шкалой. В ней параметр α имеет минимальное значение $\alpha = 0$, если для задачи управления будет единственная постановка задачи.

Оценки неоднородности в КФС могут быть получены на основе априорной информации. Например, можно провести расчет байесовского критерия среднего риска наличия потерь

$$R = P\left(\frac{H_2}{H_1}\right) \cdot P(H_1) \cdot C_1 + P\left(\frac{H_1}{H_2}\right) \cdot P(H_2) \cdot C_2, \quad (1)$$

где $P\left(\frac{H_2}{H_1}\right)$ соответствует значению условной вероятности рассмотрения неоднородного модуля в КФС как однородного;

$P\left(\frac{H_1}{H_2}\right)$ соответствует условной вероятности рассмотрения однородного модуля в КФС как неоднородного;

$P(H_1)$ соответствует априорной вероятности того, что модули в КФС являются однородными, $P(H_2)$ соответствует априорной вероятности того, что модули в КФС являются неоднородными;

C_1, C_2 являются значениями экономических потерь, которые относятся к первому и второму типу.

Пусть величина α изменяется. Рассмотрим при этом особенности поведения составляющих выражения (1):

1) Условная вероятность $P\left(\frac{H_2}{H_1}\right) = 1$, если $\alpha = 0$, после этого с увеличением α будет ее уменьшение до $P\left(\frac{H_2}{H_1}\right) = 0$;

2) Если $\alpha = 0$, то $P\left(\frac{H_1}{H_2}\right) = 0$, после этого будет ее увеличение до величины $P\left(\frac{H_1}{H_2}\right) = 1$ по мере роста α ;

3) Наблюдается равенство по априорным оценкам $P(H_1) = P(H_2) = 0,5$;

4) Значение потерь первого типа пропорционально значению α :

$$C_1(\alpha) = C_1 \cdot \alpha. \quad (2)$$

5) Расчет потерь второго типа осуществляется на основе выражения:

$$C_2(\alpha) = \begin{cases} 0 & \text{при } \alpha = 0; \\ C_2 & \text{при } \alpha > 0. \end{cases} \quad (3)$$

Обобщая вышеуказанные зависимости, можно получить выражения для зависимости риска от значения априорной информации по α :

$$\left. \begin{aligned} R_1(\alpha) &= P\left(\frac{H_2}{H_1}\right) \cdot P(H_1) \cdot C_1(\alpha) \\ R_2(\alpha) &= P\left(\frac{H_1}{H_2}\right) \cdot P(H_2) \cdot C_2(\alpha) \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Анализ показывает, что значение C_2 постоянно. Поэтому характер поведения $R_2(\alpha)$ будет таким же, как и для $P\left(\frac{H_1}{H_2}\right)$. Особенности изменения R_1 описываются на основе выражения:

$$R_1(\alpha) = e^{-a\alpha} \cdot C_1 \cdot \alpha, \quad (5)$$

экстремум наблюдается если $\alpha = \frac{1}{a}$ (a – некоторый коэффициент, связанный с изменением вероятности $P\left(\frac{H_2}{H_1}\right)$ при изменении α).

Таким образом, качество функционирования КФС в большой мере определяется протекающими в них процессами. Представлены основные составляющие, входящие в состав топологии КФС. Указаны основные угрозы, которые соответствуют разным уровням КФС. Рассмотрены оценки степени неоднородности модулей, входящих в состав КФС. Показано, каким образом рассчитываются экономические оценки первого и второго типа. Результаты работы могут быть полезны при оценке устойчивости работы КФС.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Унгер А.Ю. Анализ возможностей пассивной радиолокации при работе в диапазоне ультракоротких волн / А.Ю. Унгер // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11. – № 2. – URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1354> (дата обращения: 27.03.2024).

2. Троценко А.С. Высокоуровневая структура модулей для построения специальных систем автоматизированного проектирования / А.С. Троценко, А.А. Успехов, М.И. Чижов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11. – № 3. – URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1430> (дата обращения: 27.03.2024).

3. Яуров С.В. Математическое моделирование сложных технологических систем методом конечных элементов / С.В. Яуров, А.Д. Данилов, К.Ю. Гусев, И.Н. Гусев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11. – № 3. – URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1371> (дата обращения: 27.03.2024).

4. Шукин А.А. Проведение численных экспериментов для оценки характеристик обнаружения на математической модели радиолокационной станции / А.А. Шукин, А.Е. Павлов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2022. – Т. 10. – № 1. – URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=968> (дата обращения: 27.03.2024).

5. Бокова О.И. Формирование требований к защищенной информационно-телекоммуникационной инфраструктуре сети связи специального назначения / О.И. Бокова, С.В. Канавин, Н.С. Хохлов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2022. – Т. 10. – № 1. – URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1157> (дата обращения: 28.03.2024).

6. Преображенский Ю.П. Рассеяние радиоволн на сложных объектах / Ю.П. Преображенский // Современные инновации в науке и технике: сборник научных трудов 8-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Курск, 2018. – С. 191-194.

7. Львович Я.Е. Особенности оптимизации беспроводных систем связи / Я.Е. Львович, Ю.П. Преображенский, Е. Ружицкий // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2022. – Т. 16. – № 1 (40). – С. 68-71.

8. Львович Я.Е. Исследование характеристик защищенности мобильных сенсорных сетей / Я.Е. Львович, И.Я. Львович, А.П. Преображенский, Ю.П. Преображенский, О.Н. Чопоров // Радиолокация, навигация, связь: сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции, посвященной 160-летию со дня рождения А.С. Попова. В 6-ти томах. – Воронеж, 2019. – С. 239-244.

9. Преображенский Ю.П. Анализ некоторых характеристик спутниковых систем связи / Ю.П. Преображенский, Т.В. Аветисян, Е. Ружицкий // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2022. – Т. 16. – № 1 (40). – С. 82-85.

10. Петрович Н.Т. Относительные методы передачи информации / Н.Т. Петрович. – Москва: Книга-М, 2003. – 108 с.

11. Брекоткина Е.С. Информационная поддержка управления уязвимостью сложных распределенных систем на основе обработки пространственной информации / Е.С. Брекоткина, М.Б. Гузаиров, С.В. Павлов, А.С. Павлов, О.И. Христодуло // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – Т. 8. – № 2. – URL: https://moit.vvt.ru/wp-content/uploads/2020/05/BrekotkinaSoavtors_2_20_1.pdf (дата обращения: 28.03.2024).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Аветисян Татьяна Владимировна, преподаватель, специалист проектного отдела, Колледж Воронежского института высоких технологий, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.

e-mail: vtatyana_avetisyan@mail.ru

Фирсова Екатерина Александровна, студент, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.

e-mail: kat_firsss876@yandex.ru

Стукалова Виктория Сергеевна, студент, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.

e-mail: vik_stuk6743@yandex.ru

Телегина Виктория Олеговна, студент, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.

e-mail: vik_telleg13426@yandex.ru

Преображенский Андрей Петрович, доктор технических наук, профессор, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.

e-mail: app@vvt.ru