

МОДЕЛИ РОБОСИСТЕМ С ДЕГРАДАЦИЕЙ

М. И. Вольников¹, В. В. Смогунов²

¹ Пензенский государственный технологический университет, г. Пенза, Россия

² Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

¹ vmi1972@yandex.ru, ² pnzgu.tpmg@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Постоянные внешние возмущения приводят к деградации гетероструктур, составляющих робосистему. Деградация вносит постоянные изменения в модели робосистем. Рассматривается проблема устранения или уменьшения влияния деградации на параметры робосистемы. Целью работы является получение адекватных математических моделей робосистем с учетом деградации. *Материалы и методы.* Предложены методы восстановления информации для поддержания гомеостаза в системе. Даны оценки влияния основных внешних факторов на возникновение деградации робосистем. Для построения математических моделей робосистем используются методы системного анализа. *Результаты.* Построение моделей робосистем рассматривается на основе связей, отражающих целостность системы. Исходя из наличия и характера воздействий предложены различные по сложности модели робосистем. Представлена оценка возможности использования искусственного интеллекта при управлении робосистемами. *Выводы.* При использовании математических моделей гетероструктур робосистем необходимо учитывать степень деградации информации и самой системы в целом. При этом необходимо учитывать влияние внешних факторов, таких как температура, частота получения информации, вибрационные воздействия и др.

Ключевые слова: гетерогенные структуры, деградация, математические модели, робосистема, системный анализ

Для цитирования: Вольников М. И., Смогунов В. В. Модели робосистем с деградацией // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 1. С. 119–127. doi:10.21685/2227-8486-2021-1-10

MODELS OF ROBOTIC SYSTEMS WITH DEGRADATION

M.I. Volnikov¹, V.V. Smogunov²

¹ Penza State Technological University, Penza, Russia

² Penza State University, Penza, Russia

¹ vmi1972@yandex.ru, ² pnzgu.tpmg@mail.ru

Abstract. *Background.* Constant external disturbances lead to the degradation of the heterostructures that make up the robotic system. Degradation makes permanent changes in the robotic system model. The paper deals with the problem of eliminating or reducing the effect of degradation on the parameters of the robotic system. The aim of the work is to obtain adequate mathematical models of robotic systems taking into account degradation. *Materials and methods.* Methods of information recovery for maintaining homeostasis in the system are proposed. Estimates of the influence of the main external factors on the occurrence of degradation of robotic systems are given. Methods of system analysis are used

© Вольников М. И., Смогунов В. В., 2021. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

to construct mathematical models of robotic systems. *Results*. The construction of models of robotic systems is considered on the basis of links that reflect the integrity of the system. Based on the presence and nature of the impacts, various models of robotic systems are proposed. An assessment of the possibility of using artificial intelligence in controlling robotic systems is presented. *Conclusions*. When using mathematical models of heterogeneous structures of robotic systems, it is necessary to take into account the degree of degradation of information and the system itself as a whole. In this case, it is necessary to take into account the influence of external factors, such as temperature, frequency of obtaining information, vibration effects, etc.

Keywords: heterogeneous structures, degradation, mathematical models, robotic system, system analysis

For citation: Volnikov M.I., Smogunov V.V. Models of robotic systems with degradation. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2021;1:119–127. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-1-10

Введение

Робосистема, как объект управления, постоянно находится под воздействием внешних и внутренних возмущений. Внешние возмущения отражают состояние вокруг робота и характеризуются переменными, описывающими условия вокруг него (температура, давление, изменение траектории движения и т.п.). Внутренние возмущения описываются переменными, характеризующими изменения характеристик или параметров звеньев системы управления роботом.

Внутренние возмущения могут быть как предсказуемыми, которые были заложены изначально при проектировании робосистемы, так и непредсказуемыми. Последние могут возникнуть при выходе из строя части звеньев робосистемы под воздействием внешних факторов, а значит приводить к изменениям в модели, деградации информации и самой системы в целом [1].

Деградация информации происходит, с одной стороны, с течением времени вообще, с другой – с увеличением времени работы робосистем. Это связано как с физическим и моральным устареванием элементов системы, приводящим к возникновению микродефектов, так и с наличием внешних воздействий: температуры, вибраций и т.п.

Постановка задачи

Проблема устранения или уменьшения влияния деградации на параметры движения робосистемы является актуальной. В связи с этим для снижения деградации информации в системе необходимо выяснить основные причины, приводящие к ней, а также найти пути для снижения влияния этого негативного явления в системах. Это позволит в дальнейшем корректировать математические модели, повышая тем самым степень адекватности используемых моделей робосистем.

Вопросу моделирования технических систем с деградацией посвящено множество работ [2–5].

Так, модели эволюции систем, рассмотренные в [2], позволяют исследовать динамику и оценить поведение систем с течением времени, а также

прогнозировать это поведение в процессе старения. На основе данной модели можно определить интервалы времени, через которые производятся профилактические работы, направленные на восстановление работоспособности объекта управления. Однако при этом требуется прекращение эксплуатации систем, что не позволительно в экстремальных условиях работы робосистем.

Модель деградации состояния человеко-машинной системы (ЧМС), предложенная в работе [3], построена на основе учета физических законов движения вектора параметров состояния системы и позволяет прогнозировать остаточный ресурс технической составляющей ЧМС. Использование данной модели дает возможность оценить остаточный ресурс робосистем, т.е. ее жизнеспособность.

Рассмотренные модели вполне пригодны для исследования стационарных систем управления, позволяющих проводить плановые остановки в работе на техническое обслуживание. Однако в случае удаленных робосистем, когда профилактические работы возможны только в дистанционном формате или вообще невозможны, требуются адаптивные модели, позволяющие оптимизировать работу робосистем в условиях неполных данных при выходе из строя отдельных элементов [4].

В предлагаемой статье рассматривается один из возможных подходов к решению данной проблемы, который основывается на анализе и учете факторов, влияющих на деградацию робосистем, и применении интеллектуальных информационных технологий.

Материал и методика

Часто работа робосистем сопровождается наличием экстремальных температур, которые приводят к возрастанию температурной погрешности датчиков информации в робосистемах. Для устранения температурной деградации необходимо перевести работу датчиков в ненапряженный тепловой режим, что является эффективным способом снижения температурной погрешности [1].

На деградацию информации, поступающей в систему управления роботом, существенно влияет соотношение частот получения информации ω_u к частоте измеряемого процесса ω_n :

$$k = \frac{\omega_u}{\omega_n}.$$

Необходимо добиться выполнения условия $k > 1$.

Одним из способов восстановления нормальной работы робосистемы в процессе деградации является увеличение скорости обновления информации.

Использование алгоритмов искусственного интеллекта в процессе управления робосистемами позволяет включать восстановительные процессы в системе за счет получения обновленной информации и поддерживать гомеостаз в системе.

Сохранения работоспособности в системе можно достичь за счет использования отрицательных обратных связей (ООС), которые способствуют

устранению отклонения параметров робосистемы от заданных значений и стабилизируют режимы работы всей робосистемы.

Системный подход в сочетании с искусственным интеллектом позволяет прогнозировать состояние робосистемы, вырабатывать оптимальные управляющие воздействия для поддержания ее в рабочем устойчивом положении. Для этого используются накопленная в процессе работы робосистемы искусственным интеллектом информация, которая является опорной для формирования управляющих воздействий на робосистему с целью восстановления ее гомеостаза.

Еще одним фактором, влияющим на деградацию робосистемы, являются вибрационные воздействия. Обычно вибрации имеют широкий спектр частот и, воздействуя на элементы робосистемы, могут приводить к возникновению резонансных явлений, которые в свою очередь нарушают устойчивость как механической, так и электронной, а значит, и информационной составляющих робосистемы.

Особенно подвергаются деградации гетерогенные структуры робосистем. Это вызвано неоднородностью физических свойств гетероструктур и приводит, например, к разрушению многослойных плат, отслаиванию контактов, нарушению работы резонаторов и т.п.

Вибрационной деградации оказывают «содействие» различия в коэффициентах температурного расширения элементов гетероструктур. Это приводит к возникновению микротрещин, разгерметизации элементов робосистем.

Все перечисленные факторы, влияющие на деградацию робосистемы, в той или иной степени должны учитываться при составлении математических моделей.

Построение моделей робосистем должно рассматриваться на основе связей, которые отражают целостность системы.

1. Информация, получаемая на входе в объект управления, преобразуется в информацию, получаемую на выходе из него.

В настоящее время предпочтительным является преобразование информации в цифровую форму передачи. При этом следует стремиться к увеличению объема передачи данных без возрастания ее скорости. Это достигается путем предварительного воздействия на информацию за счет использования алгоритмов сжатия данных.

2. Целенаправленность в управлении подразумевает наличие у системы управления целевой функции, на достижение оптимума которой оно направлено, например минимизация отклонений при позиционировании.

3. Управленческое воздействие будет эффективным при наличии в системе обратных связей. Данный механизм позволяет корректировать направление и характер управленческого воздействия. В процессе функционирования обратной связи в объекте управления происходит накопление информации, что при использовании определенных алгоритмов с искусственным интеллектом делает процесс управления робосистемами гибким и адаптивным.

4. Необходимое разнообразие проявляется в вариациях структуры связей, поведения робосистемы за счет ее внутреннего развития и изменения внешних воздействий (рис. 1).

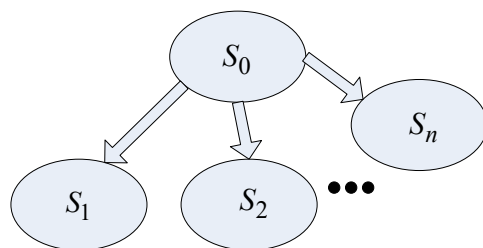


Рис. 1. Внутреннее развитие системы:
 S_0 – начальное состояние системы; $S_1...S_n$ – возможные состояния системы, складывающиеся за счет вариаций структуры со временем

Разнообразие вариантов может дополняться в процессе работы робосистемы в результате накопления информации модулем искусственного интеллекта.

5. Внешнее дополнение появилось с развитием математического моделирования. Несовершенство математических моделей и алгоритмов, по которым работает искусственный интеллект, приводит к наличию сбоев и отказов в системе. Возникающие проблемы устраняются путем внешнего вмешательства, например оператора робосистемы.

На современном этапе развития искусственного интеллекта следует ограничить рамки его действия и решающую роль в принятии решений все же оставить за человеком.

Ввиду повсеместного внедрения искусственного интеллекта в роботизацию летального оружия профессор Л. И. Волчкевич в одном из своих принципов «современности» в области технической политики при роботизации предостерегает от внедрения и тиражирования недостаточно созревших и отработанных технических решений и конструкций. Это может привести к ошибочным действиям со стороны робосистемы и непредсказуемым последствиям.

6. Иерархичность и адаптивность означают, что робосистема должна иметь многоступенчатую структуру управления, которая состоит из нижнего исполнительного уровня, включающего в себя устройства получения информации и органы воздействия, с многократным резервированием. Нижний уровень подчиняется контролю и управлению со стороны тактического уровня, оснащенного программируемыми логическими интегральными схемами (ПЛИС) со встроенной системой искусственного интеллекта, позволяющего робосистеме адаптироваться к изменившимся условиям [6]. ПЛИС в отличие от контроллеров позволяет создавать собственную архитектуру системы, имея возможность изменять конфигурацию, а значит, создавать разнообразие проектов работы робосистемы.

Тактический уровень непосредственно связан с командным пунктом, представляющим стратегический уровень, позволяющий оператору дистанционно вносить изменения в работу робосистемы. Обобщенная структура системы управления военным роботом представлена на рис. 2.

7. Адаптивность означает, что при изменении или выходе из строя отдельных элементов робосистемы, например по причине деградации, система управления должна продолжать функционировать и выполнять поставленные

цели. Это требует наличия гибкости и адаптивности проектируемой структуры, позволяющих быстро и адекватно реагировать на происходящие изменения, т.е. обладать *гомеостазом*.

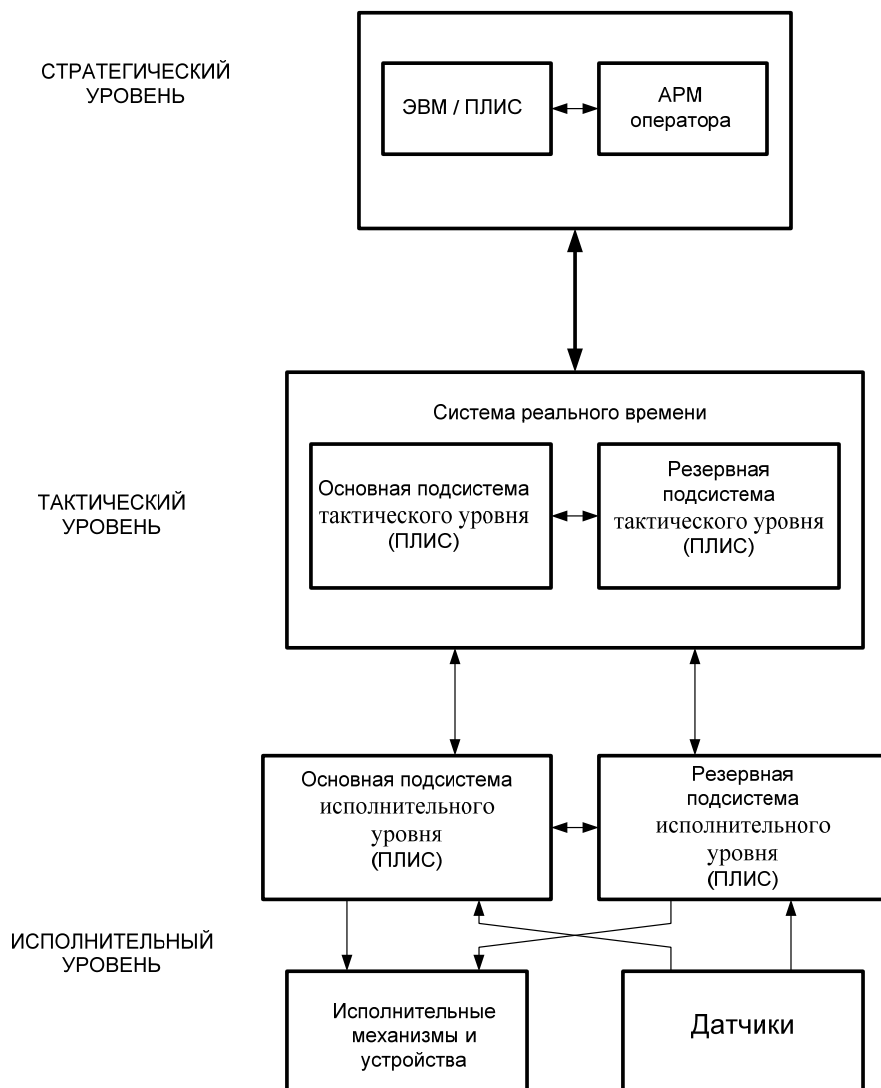


Рис. 2. Иерархическая структура системы управления роботом

Идея адаптивного управления проста. Она заключается в замене неизвестных параметров «идеального» закона управления их оценками, которые должны целенаправленно «настраиваться» в процессе функционирования робота по алгоритмам адаптации [7].

Разработка элементов и систем искусственного интеллекта связана с решением ряда специфических интеллектуальных задач, включая автоматическое распознавание и передачу визуальных и звуковых образов, построение программных перемещений среди препятствий, адаптивную стабилизацию программных перемещений и др. Каждая из этих задач требует уникальных идей и подходов для их эффективного решения.

Результаты

Перейдем к рассмотрению моделей робосистем.

Робосистему можно описать различными по сложности моделями, учитывая наличие и характер воздействий [8].

1. Модель без управления. Описывает динамические процессы, не содержащие свободных параметров или функций:

$$\frac{dX_n}{dt} = F(X_n, t, \xi), \quad (1)$$

где ξ – случайный вектор с известным законом распределения; X_n – вектор параметров движения робосистемы.

2. Модель с оптимизацией некоторых действий:

$$\frac{dX_n}{dt} = F(X_n, t, v), \quad (2)$$

где $v(X_n, t)$ – вектор управления, который, например, минимизирует целевую функцию за время T :

$$\int_0^T F(X_n, v, t) dt \rightarrow \min. \quad (3)$$

3. Модель с анализом конфликтных ситуаций:

$$\frac{dX_n}{dt} = F(X_n, t, v_i), i = 1, \dots, n, \quad (4)$$

где v_i – векторы действий n субъектов с управлением, каждый из которых имеет свою целевую функцию.

4. Модель при наличии возмущений и деградаций объекта или информации.

В общем виде такая модель робосистемы имеет вид

$$\frac{d\hat{X}}{dt} = F(\hat{X}, t, \Delta\hat{u}, v, \omega), \quad (5)$$

где $\hat{X}(t) = X_n(t) + \Delta\hat{X}(t)$ – n -мерный вектор случайных параметров движения робосистемы; значок $\hat{}$ означает случайную величину; $X_n(t)$ – нормальное или расчетное значение вектора параметров движения робосистемы; $\Delta\hat{X}(t)$ – вектор случайных отклонений параметров движения робосистемы от номинального движения; t – время движения системы; $\Delta\hat{u}$ – вектор случайных неконтролируемых возмущений, возникающих, например, в результате деградации объекта или информации; v – вектор управляющих воздействий; ω – вектор контролируемых возмущений [9].

Структурная схема робосистемы с учетом обозначений, принятых в (5), приобретет вид, представленный на рис. 3.

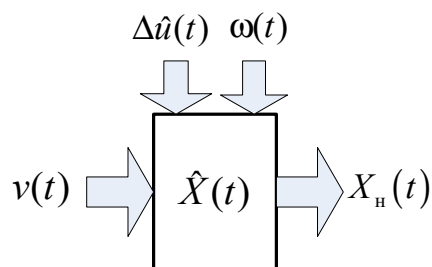


Рис. 3. Структурная схема робосистемы с деградацией

Выводы

Рассмотрены основные факторы, влияющие на работоспособность робосистем: температура, вибрации, пропускная способность канала передачи данных. Предложены варианты повышения жизненного цикла. Предлагается использование системного подхода в сочетании с искусственным интеллектом для поддержания робосистемы в рабочем устойчивом положении. Получены модели робосистем, учитывающие характер воздействий и наличие деградаций.

Список литературы

1. Васильев В. А., Волчихина Н. И., Смогунов В. В. Динамика гетерогенных структур. Моделирование гетерогенных структур преобразователей информации ракетно-космических систем : монография : в 12 т. / под ред. В. В. Смогунова. Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. Т. 5. 467 с.
2. Пюкке Г. А. К вопросу о моделях деградации многокомпонентных систем различной физической природы // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2018. № 44. С. 21–29.
3. Никитин А. И. Определение остаточного ресурса человеко-машинной системы // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. Т. 12, № 1-2. С. 467–471.
4. Охтилев М. Ю., Соколов Б. В. Новые информационные технологии мониторинга и управления состояниями сложных технических объектов в реальном масштабе времени // Труды СПИИРАН. 2005. Т. 2, № 2. С. 249–265.
5. Волников И. С. Разработка и исследование неасимптотических моделей надежности сложных технических систем с учетом процессов старения и деградации их элементной базы : дис. ... канд. техн. наук. Обнинск, 2001. 129 с.
6. Романов А. М. Обзор аппаратно-программного обеспечения систем управления роботов различного масштаба и назначения. Часть 3. Экстремальная робототехника // Российский технологический журнал. 2020. № 8 (3). С. 14–32.
7. Тимофеев А. В. Роботы и искусственный интеллект. М. : Наука, 2005. 192 с.
8. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. М. : Наука, 1981. 488 с.
9. Студников П. Е. Моделирование перспективных робототехнических систем // Инновации и инвестиции. 2019. № 4. С. 271–273.

References

1. Vasil'ev V.A., Volchikhina N.I., Smogunov V.V. *Dinamika geterogennykh struktur. Modelirovanie geterogennykh struktur preobrazovateley informatsii raketno-kosmicheskikh sistem: monografiya: v 12 t. = Dynamics of heterogeneous structures. Modeling of heterogeneous structures of information converters of rocket and space*

- systems: monograph: in 12 vols. Penza: Izd-vo Penz. gos. un-ta, 2004;5:467. (In Russ.)
2. Pyukke G.A. On the question of models of degradation of multicomponent systems of different physical nature. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = *Bulletin of the Kamchatka State Technical University*. 2018;44:21–29. (In Russ.)
 3. Nikitin A.I. Determination of the residual resource of the human-machine system. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* = *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2010;12(1-2):467–471. (In Russ.)
 4. Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V. New information technologies for monitoring and managing the state of complex technical objects in real time. *Trudy SPIIRAN* = *Works of SPIIRAN*. 2005;2(2):249–265. (In Russ.)
 5. Volnikov I.S. *Razrabotka i issledovanie neasimptoticheskikh modeley nadezhnosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem s uchetom protsessov stareniya i degradatsii ikh elementnoy bazy: dis. kand. tekhn. nauk* = *Development and research of non-asymptotic models of reliability of complex technical systems taking into account the processes of aging and degradation of their element base: dis. ... candidate of technical sciences*. Obninsk, 2001:129. (In Russ.)
 6. Romanov A.M. Overview of hardware and software for robot control systems of various scales and purposes. Part 3. Extreme Robotics. *Rossiyskiy tekhnologicheskii zhurnal* = *Russian Technological Journal*. 2020;8(3):14–32. (In Russ.)
 7. Timofeev A.V. *Roboty i iskusstvennyy intellekt* = *Robots and artificial intelligence*. Moscow: Nauka, 2005:192. (In Russ.)
 8. Moiseev N.N. *Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza* = *Mathematical problems of system analysis*. Moscow: Nauka, 1981:488. (In Russ.)
 9. Studnikov P.E. Modeling of advanced robotic systems. *Innovatsii i investitsii* = *Innovation and investment*. 2019;4:271–273. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Михаил Иванович Вольников

кандидат технических наук, доцент
кафедры автоматизации и управления,
Пензенский государственный
технологический университет
(Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/
ул. Гагарина, 1а/11)
E-mail: vmi1972@yandex.ru

Mikhail I. Vol'nikov

Candidate of technical sciences,
associate professor of sub-department
of automation and control,
Penza State Technological University
(1a/11 Baydukova lane/Gagarina
street, Penza, Russia)

Владимир Васильевич Смогунов

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры теоретической
и прикладной механики и графики,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: pnzgu.tpmg@mail.ru

Vladimir V. Smogunov

Doctor of technical sciences, professor,
professor of sub-department of theoretical
and applied mechanics and graphics,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)