

РЕЗЮМЕТА

на основните резултати и научните приноси

на доц. д-р инж. Александра Иванова Грънчарова

за участие в конкурса за заемане на академичната длъжност „доцент” по научната специалност 5.2. Електротехника, електроника и автоматика (Автоматизация на производството), обявен от ХТМУ в ДВ брой 70 от 22.08.2014г.

Монография

B1. А. Грънчарова, “Методи за експлицитно моделно предсказващо управление на линейни системи”, равностойни на монографичен труд публикации.

Включва следните научни трудове, публикувани в специализирани научни издания:

B1.1. А. Grancharova, T. A. Johansen, ”Survey of explicit approaches to constrained optimal control”, In: *Switching and Learning in Feedback Systems*, Eds. R. Murray-Smith and R. Shorten, *Lecture Notes in Computer Science*, vol.3355, ISBN: 978-3-540-24457-8, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, Germany, pp.47-97, 2005 (глава от книга, която има монографичен характер).

Резюме: В Раздел 1 е дадена формулировката на задачата за синтез на оптимално управление. Направен е сравнителен анализ на методите за решаване на тази задача (класическо вариационно смятане, принцип на максимума на Понтрягин, динамично програмиране, нелинейно програмиране). Направен е кратък обзор на числените алгоритми за синтез на оптимално управление (итеративни алгоритми от първи и втори ред, които се основават на условията за оптималност на принципа на Понтрягин, алгоритми за директно търсене на оптималното решение чрез прилагане на методите на нелинейното програмиране). Разгледан е синтезът на оптимално управление на химически реактор.

В Раздел 2 е разгледан синтезът на оптимален регулатор на състоянието за линейни системи, при отсъствие на ограничения. Описан е синтезът на терминално управляващо устройство и на линейно-квадратичен регулатор за линейни непрекъснати системи, и синтезът на линейно-квадратичен регулатор за линейни дискретни системи.

В Раздел 3 е разгледан синтезът на оптимален регулатор на състоянието за линейни дискретни системи, с квадратичен функционал с безкраен хоризонт и при наличие на линейни ограничения наложени на управляващите въздействия и на променливите на състоянието. Дадена е формулировката на задачата и алгоритъмът за намиране на нейното решение в неявен вид. Формулирана е задачата за моделно предсказващо управление, основано на линеен дискретен модел на обекта, линейни ограничения и квадратичен функционал с краен хоризонт на предсказване.

В Раздел 4 е показано как задачата за моделно предсказващо управление може да се сведе до задача на мулти-параметричното квадратично програмиране, при чието решаване оптималният предсказващ регулатор се получава в явен (експлицитен) вид като по части линейна функция на състоянието, дефинирана върху полихедрална структура на пространството на състоянието. Предимството на експлицитния подход е, че всички изчисления свързани със синтеза на предсказващия регулатор се извършват в off-line и по този начин се избягва необходимостта от оптимизация в реално време. Това прави възможно приложението на предсказващото управление при сложни процеси (с голям брой променливи на състоянието и управляващи въздействия) и при процеси с малък интервал на дискретизация. В литературата са известни две групи методи за синтез на експлицитен предсказващ регулатор: точни методи и приблизителни методи. Описани са подробно точните методи за експлицитно решаване на задачата на предсказващото управление. За илюстриране на тези методи е синтезиран експлицитен предсказващ регулатор за интегриращо звено от втори ред. Съществен недостатък на точните методи за експлицитно предсказващо управление е сложността на полихедралната структура на пространството на състоянието. Тя съдържа голям брой сложни по форма области и това води до неефективно търсене в реално време.

За избягване на този недостатък, в Раздел 5 е разработен приблизителен (суб-оптимален) метод за синтез на експлицитен моделно предсказващ регулатор. При него, регулаторът представлява по части линейна функция на състоянието, дефинирана върху ортогонална структура на пространство на състоянието, т.е. структура състояща се от хипер-кубове. Предимството на този вид структура е, че в реално време тя осигурява най-бързия начин за локализиране на областта (в случая хипер-куб), в която се намира текущият вектор на състоянието и прилагане на закона за управление (получен off-line), който е валиден в тази област. Предложеният метод за структуриране на пространството на състоянието се състои в определяне на оптималните решения във всеки един от върховете на даден хипер-куб, които след това се използват при синтеза на суб-оптимален закон за управление валиден за целия хипер-куб. Ако разликата между суб-оптималната и оптималната стойност на критерия за качество на управлението във вътрешността на даден хипер-куб е по-голяма от предварително зададена стойност, този хипер-куб се разделя на по-малки хипер-кубове и споменатата процедура се прилага за всеки един от тях. Това продължава докато не се получи ортогонална структура, при която точността на суб-оптималното решение да е в желаните граници за всеки един от хипер-кубовете. Дадени са условията, които гарантират устойчивостта на системата за управление с експлицитен суб-оптимален моделно предсказващ регулатор. За илюстриране на приблизителния метод е синтезиран експлицитен суб-оптимален предсказващ регулатор за интегриращо звено от втори ред. По-нататък, е разработен приблизителен (суб-оптимален) метод за синтез на експлицитен робастен предсказващ регулатор при наличие на ограничени по амплитуда смущения. Методът е илюстриран за интегриращо звено от втори ред. Разработеният приблизителен подход за експлицитно моделно предсказващо управление е приложен при синтеза на експлицитен суб-оптимален предсказващ регулатор за управление на лабораторен сепаратор за разделяне на газ от течност. Качеството на управление на регулатора е изследвано експериментално.

- B1.2. T. A. Johansen, **A. Grancharova**, "Approximate explicit constrained linear model predictive control via orthogonal search tree", *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol.48, No.5, pp.810-815, 2003.
(Impact factor: **1.896**)

Резюме: В статията е разработен суб-оптимален метод за синтез на експлицитен предсказващ регулатор за линейни дискретни системи, при наличие на ограничения наложен на управляващите въздействия и на променливите на състоянието. Регулаторът представлява по части линейна функция на състоянието, дефинирана върху квадратична ортогонална структура на пространство на състоянието, т.е. структура състояща се от хипер-кубове. Предимството на този вид структура е, че в реално време тя осигурява най-бързия начин за локализиране на областта (в случая хипер-куб), в която се намира текущият вектор на състоянието и прилагане на закона за управление (получен off-line), който е валиден за тази област. Предложеният метод за структуриране на пространството на състоянието се състои в определяне на оптималните решения във всеки един от върховете на даден хипер-куб, които след това се използват при синтеза на суб-оптимален закон за управление, валиден за целия хипер-куб. Ако разликата между суб-оптималната и оптималната стойност на критерия за качество на управлението във вътрешността на даден хипер-куб е по-голяма от предварително зададена стойност, този хипер-куб се разделя на по-малки хипер-кубове и споменатата процедура се прилага за всеки един от тях. Това продължава докато не се получи ортогонална структура, при която точността на суб-оптималното решение да е в желаните граници за всеки един от хипер-кубовете. Описан е алгоритъмът за синтез на суб-оптимален експлицитен предсказващ регулатор, дефиниран върху ортогонална структура на пространство на състоянието. Доказано е, че предложеният алгоритъм приключва за краен брой итерации, при което полученият суб-оптимален експлицитен предсказващ регулатор удовлетворява всички ограничения и грешката от апроксимация е по-малка от предварително зададена стойност. Изведени са условията, които гарантират устойчивостта на системата за управление. Синтезиран е суб-оптимален експлицитен предсказващ регулатор за интегриращо звено от втори ред и са проведени симулационни изследвания на действието на системата за управление.

- B1.3. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, J. Kocijan, "Explicit model predictive control of gas-liquid separation plant via orthogonal search tree partitioning", *Computers and Chemical Engineering*, vol.28, No.12, pp.2481-2491, 2004.
(Impact factor: **1.678**)

Резюме: В статията са синтезирани два експлицитни суб-оптимални моделно предсказващи регулатора за управление на сепаратор за разделяне на газ от течност. Той е част от пилотна инсталация за пречистване на отпадни води. Описан е подробно нелинейният модел на сепаратора. На базата на нелинейния модел е получен линеаризиран модел, който включва 4 променливи на състоянието (отклоненията на налягането и нивото на течността в сепаратора от зададените стойности и интегралните стойности на тези отклонения) и 2 управляващи въздействия (промените в позициите на двата вентила, които променят дебитите на двата изходни потока). Описан е синтезът на двата експлицитни предсказващи регулатора. Първият експлицитен суб-оптимален предсказващ регулатор минимизира разликата между суб-оптималната и оптималната стойност на критерия за качество на

управлението, а вторият - разликата между суб-оптималният и оптималният вектор на управлението в първия такт от хоризонта на предсказване. Дадена е схемата, по която е осъществено експерименталното изследване на действието на двата експлицитни регулатора. Връзката в реално време между експлицитните регулатори, реализирани като блокова схема в *Simulink*, и обекта е осъществена чрез DDE (*Dynatic Data Exchange*) протокол и серийна връзка за комуникация. Дадени са експерименталните резултати, получени при действието на двата експлицитни регулатора. Те показват, че двата регулатора имат сходно действие, което е близко до оптималното.

- B1.4. A. Grancharova, T. A. Johansen, "Explicit approaches to constrained model predictive control: A survey", ***Modeling, Identification & Control***, vol.25, No.3, pp.131-157, 2004.
(Impact factor: **0.080**)

Резюме: В статията е показано как задачата за моделно предсказващо управление на линейни дискретни системи с ограничения може да се сведе до задача на мулти-параметричното квадратично програмиране, при чието решаване оптималният предсказващ регулатор се получава в явен (експлицитен) вид като по части линейна функция на състоянието, дефинирана върху полихедрална структура на пространството на състоянието. В литературата са известни две групи методи за синтез на експлицитен предсказващ регулатор: точни методи и приблизителни методи. Описани са подробно точните методи за експлицитно решаване на задачата на предсказващото управление. За илюстриране на тези методи е синтезиран експлицитен предсказващ регулатор за интегриращо звено от втори ред. Съществен недостатък на точните методи за експлицитно предсказващо управление е сложността на полихедралната структура на пространството на състоянието. За избягване на този недостатък, е разработен приблизителен (суб-оптимален) метод за синтез на експлицитен моделно предсказващ регулатор. При него, регулаторът представлява по части линейна функция на състоянието, дефинирана върху ортогонална структура на пространството на състоянието, т.е. структура състояща се от хипер-кубове. Предимството на този вид структура е, че в реално време тя осигурява най-бързия начин за локализиране на областта (в случая хипер-куб), в която се намира текущият вектор на състоянието и прилагане на закона за управление (получен off-line), който е валиден в тази област. Дадени са условията, които гарантират устойчивостта на системата за управление с експлицитен суб-оптимален моделно предсказващ регулатор. За илюстриране на приблизителния метод е синтезиран експлицитен суб-оптимален предсказващ регулатор за интегриращо звено от втори ред. Разработен е също приблизителен (суб-оптимален) метод за синтез на експлицитен робастен предсказващ регулатор при наличие на ограничени по амплитуда смущения. Методът е илюстриран за интегриращо звено от втори ред.

- B1.5. T. A. Johansen, A. Grancharova, "Approximate explicit model predictive control implemented via orthogonal search tree partitioning", ***Proceedings of 15-th IFAC World Congress***, Barcelona, Spain, 21-26 July, 2002, session Predictive Control (T-We-M17).

Резюме: В статията е разработен суб-оптимален метод за синтез на експлицитен предсказващ регулатор за линейни дискретни системи с ограничения. Регулаторът представлява по части линейна функция на състоянието, дефинирана върху квадратична ортогонална структура на пространството на състоянието, т.е. структура състояща се от хипер-кубове. Предложеният метод за структуриране на пространството на състоянието се състои в определяне на оптималните решения във всеки един от върховете на даден хипер-куб, които след това се използват при синтеза на суб-оптимален закон за управление, валиден за целия хипер-куб. Ако разликата между суб-оптималната и оптималната стойност на критерия за качество на управлението във вътрешността на даден хипер-куб е по-голяма от предварително зададена стойност, този хипер-куб се разделя на по-малки хипер-кубове и споменатата процедура се прилага за всеки един от тях. Това продължава докато не се получи ортогонална структура, при която точността на суб-оптималното решение да е в желаните граници за всеки един от хипер-кубовете. Описан е алгоритъмът за синтез на експлицитен суб-оптимален предсказващ регулатор, дефиниран върху ортогонална структура на пространството на състоянието. Синтезиран е експлицитен суб-оптимален предсказващ регулатор за интегриращо звено от втори ред и са проведени симулационни изследвания на действието на системата за управление.

- B1.6. A. Grancharova, T. A. Johansen, "Approximate explicit model predictive control incorporating heuristics", *Proceedings of IEEE International Symposium on Computer Aided Control System Design*, Glasgow, Scotland, U.K., 18-20 September, 2002, pp.92-97.

Резюме: В статията е разработен нов суб-оптимален метод за синтез на експлицитен предсказващ регулатор за линейни дискретни системи с ограничения. Регулаторът е дефиниран върху k - d ортогонална структура на пространството на състоянието, т.е. структура състояща се от хипер-правоъгълници. Едно от предимствата на k - d ортогоналната структура е, че тя изисква само едно скалярно сравнение на всяко ниво и по такъв начин осигурява по-ефективно търсене в реално време в сравнение с квадратичната структура, при която са необходими n на брой сравнения (n е броят на променливите на състоянието). Друго предимство на k - d ортогоналната структура е, че тя позволява прилагането на евристични правила при разделянето на даден хипер-правоъгълник. Това води до съществено намаляване на броя хипер-правоъгълници в ортогоналната структура на пространство на състоянието и ускорява търсенето в реално време. Описан е алгоритъмът за синтез на експлицитен суб-оптимален предсказващ регулатор, дефиниран върху k - d ортогонална структура на пространството на състоянието. Минимизира се разликата между суб-оптималния и оптималния вектор на управлението в първия такт от хоризонта на предсказване. Предложено е също евристично правило за разделяне на даден хипер-правоъгълник, когато не е достигната желаната точност на решението. Според това правило, хипер-правоъгълника се разделя само по тази променлива на състоянието, за която промяната в грешката от апроксимация е най-голяма. Синтезиран е суб-оптимален експлицитен предсказващ регулатор за интегриращо звено от втори ред с и без прилагане на евристичното правило. Показано е, че използването на k - d ортогонална структура и прилагането на евристика води до съществено намаляване на сложността на експлицитния

регулатор. Проведени са симулационни изследвания на действието на системата за управление.

- B1.7. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, J. Kocijan, "Explicit model predictive control of gas-liquid separation plant", *Proceedings of European Control Conference*, Cambridge, U.K., 1-4 September, 2003, session MPC Applications.

Резюме: Синтезиран и експериментално изследван е експлицитен суб-оптимален моделно предсказващ регулатор за управление на сепаратор за разделяне на газ от течност, който е част от пилотна инсталация за пречистване на отпадни води. Регулаторът представлява по части линейна функция на състоянието, дефинирана върху ортогонална структура на пространството на състоянието, т.е. структура състояща се от хипер-правоъгълници. Предимството на този вид структура е, че в реално време тя осигурява най-бързия начин за локализиране на областта, в която се намира текущият вектор на състоянието. На базата на нелинейния модел на сепаратора е получен линеаризиран модел, който включва 4 променливи на състоянието и 2 управляващи въздействия. Получените експериментални резултати показват, че действието на експлицитния суб-оптимален предсказващ регулатор е близко до оптималното.

- B1.8. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, "Design of robust explicit model predictive controller using orthogonal search tree partitioning", *Proceedings of European Control Conference*, Cambridge, U.K., 1-4 September, 2003, session Robust MPC.

Резюме: Формулирана е задачата на предсказващото управление, основано на линеен модел на процеса, линейни ограничения и квадратичен функционал, при наличие на ограничени по амплитуда смущения. Целта е да се синтезира експлицитен предсказващ регулатор, който да минимизира номиналната стойност на критерия за качество на управлението и да е робастен като удовлетворява всички ограничения наложени на системата за всички възможни смущения в дефинираните граници. Предложен е метод за синтез на робастен експлицитен предсказващ регулатор, при който се предполага, че са известни единствено границите, в които варират смущенията. Изведени са условията, които гарантират робастността на предсказващия регулатор. Показано е как първоначалната задача за мулти-параметрична оптимизация при неопределеност може да се сведе до еквивалентна задача без неопределеност. Описан е алгоритъмът за синтез на робастен експлицитен предсказващ регулатор, който се основава на k - d ортогонална структура на пространство на състоянието, т.е. структура състояща се от хипер-правоъгълници. Синтезиран е робастен експлицитен предикторен регулатор за интегриращо звено от втори ред, при наличие на ограничени по амплитуда смущения. Проведени са симулационни изследвания на действието на робастния експлицитен регулатор и е показано, че той удовлетворява ограниченията наложени на системата. За сравнение е дадено действието на експлицитен регулатор, синтезиран без да се отчита наличието на смущения. Вижда се, че този регулатор нарушава ограничението, наложено на една от променливите на състоянието.

- B1.9. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, "Reduced dimension approach to approximate explicit model predictive control", *Proceedings of IFAC Conference on Control System Design*, Bratislava, 7-10 September, 2003, Invited Session G – Advances in Model Predictive Control.

Резюме: Характерно за експлицитните предсказващи регулатори е това, че броят на полихедралните или ортогоналните области в пространство на състоянието се увеличава значително с увеличаване на размерността на това пространство и броя на ограниченията, наложени на системата за управление. Това поставя проблема за редуциране на размерността на експлицитния регулатор. В статията е разработен метод за синтез на експлицитен суб-оптимален предсказващ регулатор, дефиниран върху k - d ортогонална структура на редуцираното пространство на състоянието, включващо само част от променливите на състоянието. Всяка ортогонална област от редуцираното пространство се характеризира със съвкупност от линейни закони за управление. Описан е начинът, по който тези закони могат да бъдат определени, така че да удовлетворяват всички ограничения наложени на системата. Различните закони за управление са резултат от наличието на променливи на състоянието, които не са включени в редуцираното пространство. Разработен е off-line алгоритъм за синтез на експлицитен предсказващ регулатор в редуцираното пространство на състоянието. Предложен е on-line алгоритъм за избор в реално време на оптималния закон за управление от съвкупността от закони, асоциирани с дадена област от редуцираното пространство. Разработеният метод е приложен за синтез на експлицитен предсказващ регулатор в редуцираното пространство на състоянието за лабораторен хеликоптер. Проведени са симулационни изследвания на действието на системата за управление, от които се вижда, че са спазени всички ограничения наложени на управляващите въздействия и на променливите на състоянието и суб-оптималността е в приемливи граници.

- B1.10. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, J. Kocijan, D. Vrancic, "Design of reduced dimension explicit model predictive controller for a gas-liquid separation plant", *Proceedings of IEEE Region 8 EUROCON 2003: Computer as a tool*, Ljubljana, Slovenia, 22-24 September, 2003, vol.A, pp.391-395.

Резюме: Методът за синтез на експлицитен суб-оптимален предсказващ регулатор в редуцираното пространство на състоянието е приложен за експлицитно предсказващо управление на лабораторен сепаратор за разделяне на газ от течност. Линеаризираният модел на сепаратора включва 4 променливи на състоянието (отклоненията на налягането и нивото на течността в сепаратора от зададените стойности и интегралните стойности на тези отклонения) и 2 управляващи въздействия (промените в позициите на двата вентила, които променят дебитите на двата изходни потока). На двете управляващи въздействия са наложени ограничения. Експлицитният предсказващ регулатор е синтезиран в редуцираното пространство на състоянието, което включва само 2 от променливите на състоянието (отклоненията на налягането и нивото на течността в сепаратора от зададените стойности). Проведени са симулационни изследвания на действието на системата за управление, от които се вижда, че са спазени всички ограничения и суб-оптималността е в приемливи граници.

- B1.11. **A. Grancharova**, T. A. Johansen and P. Tøndel, “Input-to-state stability of constrained approximate explicit model predictive control with uncertainty”, *Proceedings of the 1-st IFAC Workshop on Nonlinear Model Predictive Control for Fast Systems*, Grenoble, France, 9-11 October, 2006, pp.159-164.

Резюме: Предложен е метод за синтез на робастен експлицитен предсказващ регулатор за системи, описани с линеен дискретен модел с адитивна неопределеност. В случая на нелинейни системи, неопределеността отчита нелинейността в поведението на системата. Регулаторът минимизира номиналната стойност на критерия за качество на управлението и е робастен в смисъл, че удовлетворява всички ограничения наложени на системата за всички възможни неопределености в дефинираните граници. Изведени са условията, които гарантират робастността на предсказващия регулатор и е показано как задачата за предсказващо управление може да се трансформира в задача на мулти-параметричното квадратично програмиране. Описан е алгоритъмът за синтез на робастен предсказващ регулатор, който се основава на k - d ортогонална структура на пространството на състоянието. Изведени са условията, които гарантират устойчивостта на затворената система при наличие на неопределеност.

Научни приноси в монографията

1. Създадени са нови методи за синтез на експлицитни предсказващи регулатори за линейни дискретни системи, при наличие на ограничения наложени на управляващите въздействия и на променливите на състоянието [B1.1, B1.2, B1.4, B1.5, B1.6]. Предимството на тези методи е, че позволяват всички изчисления, свързани със синтеза на предсказващия регулатор да се извършват в off-line, като се избягва необходимостта от оптимизация в реално време. Това прави възможно приложението на предсказващото управление при сложни процеси (с голям брой променливи на състоянието и управляващи въздействия) и при процеси с малък интервал на дискретизация. Експлицитният суб-оптимален предсказващ регулатор е дефиниран върху ортогонална структура на пространството на състоянието, която в реално време осигурява най-бързия начин за локализиране на областта, в която се намира текущият вектор на състоянието. Методът в [B1.2, B1.5] се основава на ортогонална структура, състояща се от хипер-кубове, а методът в [B1.6] – на k - d ортогонална структура, т.е. структура, състояща се от хипер-правоъгълници. Изведени са условията, които гарантират устойчивостта на системата за управление.
2. Предложен е метод [B1.8, B1.11] за синтез на робастен експлицитен предсказващ регулатор за линейни дискретни системи с адитивна неопределеност. Той минимизира номиналната стойност на критерия за качество на управлението и е робастен в смисъл, че удовлетворява всички ограничения наложени на системата за всички възможни неопределености в дефинираните граници. Изведени са условията, които гарантират робастността на предсказващия регулатор и устойчивостта на затворената система при наличие на неопределеност.

3. С цел намаляване на сложността на експлицитното решение, в [B1.9] е разработен метод за синтез на експлицитен суб-оптимален предсказващ регулатор за линейни дискретни системи, дефиниран върху k - d ортогонална структура на редуцираното пространство на състоянието, включващо само част от променливите на състоянието. Методът е приложен за експлицитно предсказващо управление на лабораторен сепаратор за разделяне на газ от течност [B1.10].
4. Разработен е софтуерен пакет от програми в средата на MATLAB за синтез на експлицитни предсказващи регулатори за линейни дискретни системи, дефинирани върху ортогонална структура на пространството на състоянието.
5. Синтезирани и експериментално изследвани са два експлицитни предсказващи регулатора за управление на апарат за разделяне на газ от течност, който е част от пилотна инсталация за пречистване на отпадни води [B1.3, B1.7].

С. Публикации в специализирани научни издания (извън публикациите, посочени в точка В)

- C1. **A. Grancharova**, J. Zaprianov, "Control system synthesis as a multiple criteria decision making problem", In: *Computers and Computational Engineering in Control*, Ed. N. Mastorakis, WSES Press, pp.107-113, 1999.

Резюме: Задачата за синтез на система за автоматично управление (САУ) е формулирана като избор на най-добра алтернатива за структурата на САУ и определяне на оптималните стойности на нейните параметри, така че да се оптимизират множество от критерии за качеството на управление и да се спазят всички ограничения. Разработен е метод и подробен алгоритъм за вземане на решение при синтез на САУ, т.е. за определяне на най-добрата алтернатива за структурата на САУ и съответните оптимални параметри на регулатора. За да се определи най-добрата алтернатива, са въведени три вида размито отношение на предпочитание: отношение на предпочитание спрямо максимизирането на избраните критерии за качество на управлението, отношение на предпочитание спрямо спазването на наложените неравенствени ограничения, и отношение на предпочитание спрямо спазването на наложените равенствени ограничения. Предложени са изразите, с които се определят функциите на принадлежност в тези отношения на предпочитание. Най-добрата алтернатива е тази, която максимизира функцията на принадлежност на размитото множество от недоминатни алтернативи.

- C2. **A. Grancharova**, N. Abdulazim, H. Pu, J. Zaprianov, H. A. Nour Eldin, "Application of the "l.i.p" gymnastic method to parameter identification of planar revolute D||D robot type in the presence of torque measurement noise", In: *Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation – Neural Networks and Advanced Control Strategies (Concurrent Systems Engineering Series)*, Ed. M. Mohammadian, IOS Press, vol.54, pp.262-268, 1999.

Резюме: Известно е, че чрез избор на подходящи движения на роботите от вида $D||D$ и $D\perp D$ и групиране на техните физически параметри в динамични, първоначалният нелинеен по отношение на физическите параметри модел се представя във формата на линеен по отношение на динамичните параметри модел. Това дава възможност да се приложат стандартните методи за параметрична идентификация на линейни системи. Важно предимство на този метод е, че той дава възможност да се оценят по-голям брой от физическите параметри на робота в сравнение с методите, известни в литературата. В публикацията се предлага нов вариант на линейния метод, който дава възможност да се оценят параметрите на роботи от вида $D||D$ при наличие на измервателен шум. Общият брой на възможните движения, наречени „гимнастики“ на робота, са 8. За оценяване на динамичните параметри на робота обаче, са достатъчни само три от тях. Уравненията, описващи динамиката на тези три „гимнастики“ могат да се представят обобщено като линеен по отношение на параметрите модел с много входи и много изходи. Предполага се, че има адитивни Гаусови шумове с нулеви математични очаквания и известни вариации. Оценките на динамичните параметри на робота се получават чрез минимизиране на грешката на предсказване. За тази цел е използван метода за минимизация на Гаус-Нютон. Извършени са симулационни експерименти за две нива на измервателния шум: 5% и 10%. Получените резултати показват, че предложеният метод за оценяване на динамичните параметри на роботи дава оценки с висока точност. Предложен е също метод за оценяване на физическите параметри на звената на робота (масата, положението на центъра на тежестта, инерционния момент) на базата на получените оценки за динамичните параметри.

- C3. **A. Grancharova**, H. J. Nern, H. A. Nour Eldin, T. Suuronen, H. Airaksinen, “Decision strategies for rating objects in knowledge-shared research networks”, In: **Signal Processing, Communications and Computer Science**, Ed. N. Mastorakis, WSES Press, pp.260-265, 2000.

Резюме: В статията са разработени стратегии за вземане на решение при определянето на ранга на обектите в научно-изследователските компютърни мрежи, т.е. при определянето на тяхната степен на полезност за решаването на конкретна научно-изследователска задача. Обектите могат да бъдат различни по вид, като на всеки обект съответства мета-обект, който съдържа мета-информация за обекта. Всеки мета-обект е представен с обектен вектор, който се състои от обща описателна част (реализирана на разширен Dublin Core) и класификационна част. На базата на това представяне са разгледани 3 случая на търсене на подходящи обекти в научно-изследователската мрежа. В случай 1 се осъществява търсене на всички видове обекти (документи, програмен код, изпълним код, фигури и т.н.), които биха били подходящи за решаването на дефинираната от потребителя задача. В този случай се прилагат следните три метода за определяне на степента на полезност на обектите: 1.1). KNIXSOM метод, 1.2). Метод за вземане на решение, основаващ се на теорията на размитите множества, 1.3). Метод за вземане на решение, който е комбинация от методите 1.1) и 1.2). В случай 2 се търсят само документи, при което се прилагат следните методи: 2.1). KNIXSOM методът, 2.2). WEBSOM метод, 2.3). Методът за вземане на решение 1.2), 2.4). Методът за вземане на решение 1.3), 2.5). Метод за вземане на решение, който е комбинация от WEBSOM метода и метода за вземане на решение 1.2). В случай 3 се търсят само обекти, които представляват изпълним код, който би бил подходящ за решаване на формулираната от потребителя

задача. В този случай се прилага друг подход за вземане на решение. В статията е предложен също метод за сравнение на разработените стратегии за вземане на решение.

- C4. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, P. Tøndel, "Computational aspects of approximate explicit nonlinear model predictive control", In: R. Findeisen, F. Allgöwer and L. Biegler, editors, *Assessment and Future Directions of Nonlinear Model Predictive Control, Lecture Notes in Control and Information Sciences*, vol.358, ISBN: 978-3-540-72698-2, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, Germany, pp.181-192, 2007.

Резюме: В публикацията е разработен метод за синтез на експлицитен предсказващ регулатор за нелинейни дискретни системи, описани в пространството на състоянието, при наличие на ограничения наложени на променливите на състоянието и на управляващите въздействия. Оптимизацията се извършва по отношение на последователността от стойности на управляващите въздействия в дискретните моменти от хоризонта на предсказване. Показано е как задачата за предсказващо управление може да се трансформира в задача на мулти-параметричното нелинейно програмиране. Известно е, че в общия случай експлицитното оптимално решение на задачата не може да бъде намерено. В публикацията е разработен метод за приблизително решаване на тази задача, при който суб-оптималното управление се получава в експлицитен вид като по части линейна функция на състоянието, дефинирана върху k - d ортогонална структура на пространството на състоянието, т.е. структура състояща се от хипер-правоъгълници. Разгледан е общият случай, когато оптимизационната задача се характеризира с неизпъкналост. Предложена е процедура за намиране на глобалния оптимум, при която оптималното решение в дадена точка от пространството на състоянието се използва за начално приближение при решаване на оптимизационната задача в съседните точки. Разработена е процедура за синтез на закона за управление (линейна функция на състоянието) в даден хипер-правоъгълник. Предложени са евристични правила за разделяне на даден хипер-правоъгълник в случаите, когато в някои негови точки оптимизационната задача няма решение, т.е. не съществува управление при което да са спазени наложените ограничения. Разработена е процедура за разделяне на даден хипер-правоъгълник в случаите, когато желаната точност на апроксимация (разликата между оптималната и суб-оптималната стойност на критерия за оптималност) не е достигната. Разработеният метод е приложен за синтез на експлицитен предсказващ регулатор за оптимално управление на компресор.

- C5. **A. Grancharova**, S. Stoyanov, "Pontryagin's maximum principle under conditions of uncertainty", *Automatica and Informatics*, (In Bulgarian), No.11/12, pp.2-3, 1991.

Резюме: В публикацията е формулирана задачата за стохастично оптимално управление на даден обект при наличие на параметрична неопределеност в математичния модел на неговата динамика. Предложени са четири подхода за решаване на поставената задача. Подход А се състои в намирането на управление, което за всеки момент от времето максимизира математичното очакване по отношение на неопределените параметри на функцията на Хамилтон. При подход В, оптималното управление при наличие на неопределеност представлява математичното очакване на оптималните по принципа на максимума на Понтрягин

управления, съответстващи на краен брой стойности на неопределените параметри. При подход C, оптималното управление в условията на неопределеност представлява линейна интерполация на управлението, което минимизира математичното очакване на критерия за оптималност и управлението, което минимизира разсъгласуването между математичното очакване на траекторията на състоянието в крайния момент от време и зададеното крайно състояние. Подход D се състои в определяне на оптималното по принципа на Понтрягин управление, което съответства на математичното очакване на неопределените параметри.

C6. **A. Grancharova, J. Zaprianov**, “An intelligent neural network controller“, **Complex Control Systems**, vol.10, pp.12-19, 1996.

Резюме: В публикацията е предложен интелигентен невронен регулатор с променлива структура. Той се състои от супервайзорна невронна мрежа на горното ниво, която в зависимост от текущото състояние на обекта осъществява превключване между два невронни регулатора, диференциален и недиференциален, разположени на долното ниво. Интелигентността на регулатора се състои в съчетаване на предимствата на диференциалния и недиференциалния регулатори. В началото на преходния процес супервайзорната невронна мрежа предава управлението на диференциалния регулатор, а с доближаване до установеното състояние управлението се поема от недиференциалния регулатор. Използването на диференциалния регулатор гарантира оптималността на преходния процес за произволни начални състояния на обекта, а чрез превключване на управлението към недиференциалния регулатор се избягват осцилациите в променливите на управлението и състоянието. Показано е, че използването на невронен регулатор с променлива структура води до по-добро качество на управлението на САУ.

C7. **A. Grancharova, J. Zaprianov**, “Switching neural controller for robust control of uncertain systems: Application to a chemical reactor“, **Journal on Systems, Analysis, Modelling, Simulation (Special Issue on Analysis and Control of Technological Systems)**, vol.38, pp.383-399, 2000.

Резюме: Предложен е метод за синтез на робастен невронен регулатор за стабилизация на съществено нелинейни технологични обекти при наличие на параметрична неопределеност за тяхната динамика. Робастният регулатор включва номинален невронен регулатор и локален невронен регулатор. Номиналният регулатор действа в широк диапазон на изменение на регулируемите величини и извежда по суб-оптимален начин обекта от дадено начално състояние в област, близка до заданието. Номиналният регулатор е синтезиран при предположението, че стойността на неопределения параметър е равна на неговото математическо очакване. Локалният регулатор на базата на информацията за преходния процес, генерира установената стойност на управляващото въздействие и гарантира точното достигане на заданието. Разработени са два алгоритъма за синтез съответно на номиналния и на локалния невронен регулатор. Методът е приложен за синтез на робастен регулатор за оптимално по бързодействие управление на химически реактор.

- С8. С. Костова, А. Грънчарова, Д. Бояджиев, И. Грънчаров, А. Лекова, "Количествена оценка на въздействието на емисиите от производството на азотни торове върху здравето на хората и околната среда", *Екологично инженерство и опазване на околната среда*, No.1, 2005, pp.10-18.

Резюме: В статията е направен преглед на някои от съществуващите в литературата методи за количествена оценка на вредните въздействия на промишлените емисии върху здравето на населението и околната среда: 1). оценка на жизнения цикъл (Life Cycle Assessment); 2). анализ на пътищата на влияние (Impact Pathway Analysis); 3). многокритериален анализ. На базата на тези методи е разработен интегриран подход за количествена оценка на въздействието на емисиите от производството на азотни торове върху здравето на хората и околната среда. Интегрираният подход е приложен за монетарна оценка на въздействията от производството на азотни торове в България, на базата на данните, касаещи "НЕОХИМ"-Димитровград.

- С9. А. Grancharova, J. Kocijan, T. A. Johansen, "Explicit stochastic predictive control of combustion plants based on Gaussian process models", *Automatica*, vol.44, No.6, pp.1621-1631, 2008.
(Impact factor: **3.178**)

Резюме: В статията са разгледани технико-икономическите и екологичните аспекти на процеса на горене в парен генератор. За да се осигури оптималната работа на парния генератор е необходимо да се разработи алгоритъм за управление, при който т.нар. въздушен коефициент да се установява на новата оптимална стойност, съответстваща на новата стойност на коефициента на натоварване на генератора. Процесът на горене се влияе съществено от някои случайни смущения каквито са промяната в състава на горивото, промяната във влажността на въздуха и др. За да се отчете стохастичния характер на тези смущения, в статията е получен стохастичен модел на процеса на горене в парен генератор от типа РК 401, като са използвани симулационни данни. Моделът представлява Гаусов процес, с който могат да се предскажат математическото очакване и дисперсията на променливата на състоянието в бъдещ момент от време на базата на данни за управляващото въздействие и променливата на състоянието в настоящия и в предходни моменти от време. Променлива на състоянието е концентрацията на кислород в димните газове, а ъгъла на отваряне на демпфера за входящия въздух е управляващо въздействие. Идентификацията на Гаусовия модел се състои в оценяване на параметрите на функцията на ковариациите. Формулирана е задачата за стохастично предсказващо управление на процеса на горене, основано на Гаусов модел, където целта е въздушният коефициент (съответно концентрацията на кислород в димните газове) да се установява на новата оптимална стойност при всяка промяна в коефициента на натоварване на генератора. Синтезиран е експлицитен стохастичен предсказващ регулатор чрез приложение на метода на мулти-параметричното нелинейно програмиране. Законът за управление на регулатора представлява по части линейна функция на разширения вектор на състоянието. Получените симулационни резултати показват, че действието на експлицитния регулатор е много близко до оптималното.

C10. J. Kocijan, A. Grancharova, "Gaussian Process modelling case study with multiple outputs", *Proceedings of BAS*, ISSN: 1310-1331, vol.63, No.4, pp.601-608, 2010.
(Impact factor: **0.219**)

Резюме: В статията е разработен Гаусов модел на лабораторен сепаратор на газ от течност, който е част от пилотна инсталация за пречистване на отпадни води. Ролята на сепаратора е да улови димните газове от предхождащата го горивна камера с помощта на воден поток, да ги охладят и увеличи тяхното налягане и да ги подаде на апарата за неутрализация на отпадните води. Целта на моделирането на динамиката на сепаратора е получаването на модел за целите на управлението или за предсказване на изходните променливи на базата на данни за входните променливи. На базата на експериментални данни са получени Гаусови модели за предсказване на налягането и нивото на течността в сепаратора. Провеждането на изследвания на лабораторния сепаратор е осъществено чрез използване на интерфейс в среда на Matlab/Simulink. За обучение на Гаусовите модели са използвани 727 на брой входно-изходни експериментални данни. Също толкова на брой експериментални данни (но различни от обучаващите) са използвани за валидация на моделите. От резултатите, получени при експерименталното валидиране на Гаусовите модели, се вижда, че те с достатъчна точност описват динамиката на сепаратора.

C11. D. Petelin, J. Kocijan, A. Grancharova, "On-line Gaussian Process model for the prediction of the ozone concentration in the air", *Proceedings of BAS*, ISSN: 1310-1331, vol.64, No.1, pp.117-124, 2011.
(Impact factor: **0.210**)

Резюме: В статията е разработен метод за получаване на адаптивни Гаусови модели за предсказване на концентрацията на озон във въздуха. Те се обучават в реално време на базата на текущи данни от измерванията на атмосферните замърсители. Методът е приложен за получаване на Гаусови модели от първи и трети ред за предсказване с един до четири часа напред на концентрацията на озон във въздуха в гр. Бургас. За получаване на Гаусовите модели са използвани данни за часовите измервания на концентрациите на озон и азотен диоксид в Бургас. Качеството на предсказване на моделите е оценено чрез изчисляване на средноквадратичната грешка на предсказване и на логаритмичната плътност на грешката.

C12. A. Grancharova, L. Kostov, "Model predictive control of a pH maintaining system", *Information Technologies and Control*, ISSN: 1312-2622, 2013, No.1, pp.14-20.

Резюме: В статията е разгледана задачата за оптимално регулиране на рН на базата на аналитичен модел на динамиката на системата за поддържане на рН и използване на подхода за моделно предсказващо управление. Системата включва поток от киселина, буферен поток и поток от основа, които се смесват в резервоар. Предполага се, че дебитите на потока от киселина и буферния поток са постоянни. Регулируеми променливи са рН на изходния поток и нивото в резервоара, а управляващи въздействия са дебитът на потока от основа и дебитът на изходния поток. Разгледани са два случая на моделно предсказващо управление: 1). наличие само на областни ограничения, наложени на управляващите въздействия; 2). наличие както на областни ограничения, така и на ограничения на скоростта на промяна на

управляващите въздействия. Изследвано е качеството на преходните процеси на затворената система. От получените симулационни резултати се вижда, че и двата моделно предсказващи регулатора регулират рН до зададената стойност, като гарантират стриктното спазване на наложените ограничения. Наличието на повече ограничения в задачата за оптимално регулиране води до известно забавяне на преходния процес.

C13. S. Stoyanov, **A. Grancharova**, R. Gani, "Method for optimal control under uncertainty", **Proceedings of 7-th International Symposium on System-Modelling-Control**, Zakopane, Poland, 17-21 May, 1993, vol.2, pp.181-185.

Резюме: В статията е формулирана задачата за стохастично оптимално управление на даден обект при наличие на параметрична неопределеност в математичния модел на неговата динамика. Разработен е изчислителен алгоритъм за синтез на оптимално управление при наличие на неопределеност, който се състои в намирането на управление, което за всеки момент от времето максимизира математичното очакване по отношение на неопределените параметри на функцията на Хамилтон. Алгоритъмът включва решаването на двуточковата гранична задача за Хамилтоновата система от диференциални уравнения. Той може да се използва за решаването както на задачи с фиксиран краен момент, така и на задачи за синтез на оптимално по бързодействие управление. Алгоритъмът е приложен за определянето на оптималното разпределение на дебита на охлаждащия агент по дължината на тръбен химически реактор, при наличие на неопределеност за активизиращата енергия на химичната реакция.

C14. J. Zaprianov, **A. Grancharova**, "Time-optimal control via artificial neural networks", **Proceedings of National Conference on Automatica and Informatics'95**, Sofia, Bulgaria, 7-9 November, 1995, pp.228-231.

Резюме: В общия случай приложението на теорията на оптималното управление за синтез на нелинеен оптимален регулатор е свързано с редица трудности. Апаратът на невронните мрежи се оказва изключително ефективен при синтеза на нелинейни САУ. Това се дължи на способността на невронните мрежи да апроксимират произволни по сложност зависимости. В статията е предложен алгоритъм за синтез на оптимален по бързодействие невронен регулатор чрез прилагане на принципа на максимума на Понтрягин. Разгледано е оптималното по бързодействие управление на линеен обект от втори ред. Чрез прилагане на описания алгоритъм са синтезирани два оптимални по бързодействие невронни регулатора, които имат различна структура (единият регулатор е пропорционален, а другият - пропорционално-диференциален). Невронната мрежа и на двата регулатора е двуслойна с нелинейна (сигмоидна) функция на активация на невроните в скрития слой и линейна – за невроните в изходния слой. Изследвано е действието на двата регулатора. От получените резултати се вижда, че и двата регулатора имат свои предимства и недостатъци. Пропорционално-диференциалният регулатор има добри обобщаващи свойства (добро качество на управлението за начални условия, които не са били използвани при обучаването му), но води до осцилации. Обобщаващите свойства на пропорционалния регулатор не са така добри, но при него няма осцилации на траекториите.

- C15. **A. Grancharova**, S. Vassileva, J. Zaprianov, "Dynamic modelling of bioprocesses with artificial neural networks", *Proceedings of International Conference on Computer Science*, Ostrava, Czech Republic, 5-7 September, 1995, pp.402-408.

Резюме: Механизмът на протичане на биотехнологичните процеси е сложен и не е напълно известен, което затруднява тяхното математично моделиране. От друга страна, невронните мрежи имат способността да апроксимират произволни по сложност зависимости между наличните входно-изходни данни. Това прави невронните мрежи особено подходящи за моделиране на динамиката на биотехнологични процеси. Статията разглежда приложението на апарата на невронните мрежи за моделиране на динамиката на процеса на производство на гиберелинова киселина от щама *Fusarium Moniliforme* 3211. На базата на експериментални данни е получен невронен модел на зависимостта, по която се изменят във времето концентрациите на биомаса, субстрат и продукт (гиберелинова киселина). Параметрите на невронния модел (тегловните коефициенти на всеки от невроните) са получени чрез минимизиране на грешката на предсказване на модела. За тази цел е приложен метода *Back-propagation*. Невронната мрежа на модела е двуслойна с нелинейна функция на активация на невроните в скрития слой и линейна – за невроните в изходния слой. Изследвано е влиянието на вида на нелинейната функция на активация и броя на невроните в скрития слой върху точността на модела.

- C16. **A. Grancharova**, J. Zaprianov, "An approach for synthesis of robust neural network controller for multivariable non-linear systems with stochastic parameters", *Proceedings of 8-th IFAC Symposium on Large Scale Systems: Theory and Applications*, Rio Patras, Greece, 15-17 July, 1998, pp.1044-1048.

Резюме: В публикацията е разработен метод за синтез на робастен невронен регулатор за стабилизация на съществено нелинейни технологични обекти при наличие на параметрична неопределеност за тяхната динамика. Решава се задачата за поддържане на регулируемите величини на едни и същи зададени стойности, независимо от промените на неопределените параметри. Робастният регулатор включва в структурата си два невронни регулатора: глобален регулатор и локален регулатор. Глобалният регулатор действа в широк диапазон на изменение на регулируемите величини и извежда по оптимален начин обекта от дадено начално състояние в област, близка до заданието. Локалният регулатор на базата на информацията за преходния процес, генерира установената стойност на управляващото въздействие и гарантира точното достигане на заданието. Следва да се отбележи, че на едни и същи установени стойности на регулируемите величини съответстват различни установени стойности на управляващото въздействие в зависимост от текущите стойности на неопределените параметри. Разработени са два алгоритъма за синтез съответно на глобалния и на локалния невронен регулатор. Синтезът на глобалния невронен регулатор се състои в определяне на оптималното в условията на неопределеност управление на отворената система за различни начални условия и използване на получените оптимални траектории за обучение на невронната мрежа на регулатора. За да се синтезира локалният невронен регулатор, е необходимо да се извърши симулация на действието на вече проектирания глобален регулатор за различни начални условия и различни стойности на неопределените

параметри, след което получените данни за преходния процес и съответната установена стойност на управляващото въздействие да се използват за обучение на невронната мрежа на регулатора. По такъв начин локалният регулатор гарантира точното достигане на заданието, независимо от промените в динамичното поведение на обекта.

- C17. N. Abdulazim, H. Pu, H. A. Nour Eldin, **A. Grancharova**, J. Zaprianov, “The “l.i.p” gymnastic method for link parameter identification for DLD/D robot type (Manutec R2)”, *Proceedings of 32-nd International Conference on Modelling and Simulation of Systems (MOSIS)*, Sv. Hostyn, Czech Republic, 5-7 May, 1998, vol.3, pp.247-254.

Резюме: Предложен е нов метод за оценяване на параметрите на роботи от вида DLD/D. Чрез избор на подходящи движения (“гимнастики”) на роботите и групиране на техните физически параметри в динамични, първоначалният нелинеен по отношение на физическите параметри модел се представя във формата на линеен по отношение на динамичните параметри модел. Това дава възможност да се приложат стандартните методи за параметрична идентификация на линейни системи. Важно предимство на новия метод е, че той дава възможност да се оценят по-голям брой от физическите параметри на робота в сравнение с методите, известни в литературата. Описан е подробно методът за определяне на подходящите “гимнастики” и трансформиране на нелинейния модел на динамиката на робота в линеен. Дадени са зависимостите на динамичните параметри от физическите параметри на отделните звена на робота (масата, положението на центъра на тежестта, инерционния момент). Показано е как някои от физическите параметри на звената на робота могат да бъдат определени на базата на получените оценки за динамичните параметри в линейния модел. Посочено е също, че за да се оценят по-голям брой от физическите параметри е необходимо да се генерират “гимнастики”, в които участват две звена на робота.

- C18. **A. Grancharova**, H. J. Nern, H. A. Nour Eldin, “An intelligent CORBA-based software system for management of distributed computer applications”, *Proceedings of 16-th IMACS World Congress on Scientific Computation, Applied Mathematics and Simulation*, Lausanne, Switzerland, 21-25 August, 2000.

Резюме: Разработена е софтуерна система за управление на разпределени софтуерни обекти, която е базирана на CORBA-подхода (Common Object Request Broker Architecture). За реализирането на системата е използван софтуерния продукт VisiBroker. Обектите в разпределената система могат да бъдат различни по вид, например документни файлове (тип DOC, PDF, PostScript), изпълними файлове (EXE), програмен код (Source-файлове). Структурата на всеки обект включва следните три части: 1). програма, реализирана на VisiBroker за регистриране на обекта в разпределената система, 2). ASCII описателен файл, който съдържа информация за вида, името, големината на обекта, информация за софтуерните средства, с които може да бъде стартиран този обект, ключови думи, описващи съдържанието на обекта, 3). съдържанието на самия обект (документен файл или изпълним файл или програмен код). В разработената разпределена система, клиентската програма по зададени ключови думи локализира всички обекти, активирани в системата, които съдържат в своя описателен файл тези думи, прехвърля тези обекти на компютъра

на клиента и ги стартира (стартира тяхното изпълнение ако са EXE-файлове или ги прочита чрез подходящ програмен продукт ако са документни файлове или програмен код). CORBA-базираната разпределена система може лесно да бъде модифицирана чрез активиране на нови обекти или чрез деактивиране на някои от съществуващите. Интелигентността на системата се състои в използването на механизъм за вземане на решение при определяне на най-добрия обект (най-добрата алтернатива) за решаване на задачата, формулирана от потребителя. Описан е механизмът за избор на най-добра алтернатива, който се основава на теорията на размитите множества. Разпределената софтуерна система е използвана за избор на най-добра алтернатива за управление на химически реактор за производство на метил-третичен-бутил етер от изо-бутен и метанол. При изпълнението на три обекта от системата са получени три алтернативни управления на реактора. Чрез механизма за вземане на решение е определено най-доброто управление.

C19. **A. Grancharova**, H. J. Nern, H. A. Nour Eldin, T. Suuronen, H. Airaksinen, "Decision support unit as part of global knowledge-shared research network", *Proceedings of Euromedia'2000 Conference*, Antwerp, Belgium, 8-10 May, 2000, pp.240-244.

Резюме: Разработени са концепция и алгоритми, основаващи се на CORBA-подхода (Common Object Request Broker Architecture), за реализиране на глобална (международна) научно-изследователска компютърна мрежа за търсене, предаване, преработка и съхранение на знания в средата на Internet-Intranet. Тя се състои от локални (национални) научно-изследователски мрежи, ядрото на всяка от които включва интелигентна система с модул за вземане на решение. Структурата на всяка интелигентна система съдържа следните компоненти: 1). Локален речник; 2). Глобален речник; 3). Модул за вземане на решение; 4). Интелигентен филтър; 5). Модул за създаване на база от мета-данни; 6). Динамична база знания; 7). Администриращ интерфейс. Динамичната база знания включва знания в определена изследователска област. На всеки обект в тази база съответства мета-обект, който съдържа мета-информация за обекта. Всеки мета-обект е представен с обектен вектор. Всички мета-обекти в локалната научно-изследователска мрежа се съхраняват в локалния речник. Информация за знанията в глобалната (международната) научно-изследователска мрежа се съдържа в глобалния речник. Модулът за вземане на решение е част от всяка локална научно-изследователска мрежа. Функциите на този модул са: 1). Първоначално зареждане на всички локални речници; 2). Първоначално зареждане на глобалния речник; 3). Автоматично обновяване на глобалния речник; 4). Търсене и класифициране на обектите от глобалния речник в зависимост от тяхната приложимост за решаване на задачата, формулирана от потребителя; 5). Копиране на глобалния речник (при всяка негова промяна) в локалните научно-изследователски мрежи. Описана е структурата на обектния вектор за представяне на мета-знанията в динамичната база знания. Предложени са правила за обновяване на отделните елементи на обектния вектор. Разработена е базата от правила на модула за вземане на решение за реализиране на описаните по-горе функции. В основата на тези правила стои анализирането и обновяването на информацията, която се съдържа в елементите на обектния вектор за всеки обект.

- C20. **A. Grancharova**, “Two approaches to optimal control of chemical processes in the presence of parameter uncertainty”, *Proceedings of 4-th International Scientific–Technical Conference Process Control 2000*, Kouty nad Desnou, Czech Republic, 11-14 June, 2000.

Резюме: В статията са разработени два подхода (стохастически и минимаксен) за синтез на оптимално динамично управление на химикотехнологични процеси при наличие на параметрична неопределеност в техния модел. Стохастическият подход се основава на условията за оптималност на стохастическия вариант на принципа на Понтрягин и се прилага в случаите, когато е известно разпределението на вероятностите на неопределените параметри. Минимаксният подход се основава на условията за оптималност от теорията на диференциалните игри и се прилага в случаите, когато е известен единствено интервалът на неопределеност на неопределените параметри. Разработени са два алгоритъма, съответно стохастически алгоритъм и минимаксен алгоритъм, за решаване на формулираните задачи за оптимално управление при наличие на неопределеност. Разработен е нов вариант на симулационния пакет DYN-SIM, в който са включени двата алгоритъма (стохастически и минимаксен). По такъв начин, чрез новия вариант на DYN-SIM могат да се решават задачите на оптималното управление на химикотехнологични процеси при наличие на параметрична неопределеност. Стохастическият алгоритъм е приложен за определяне на оптималното по бързодействие управление на реактор за производство на метил-третичен-бутил етер (МТБЕ) от изо-бутен и метанол при стохастическо описание на неопределеността за химичния състав на входния поток. Минимаксният алгоритъм е приложен за определяне на оптималното управление на реактора за производство на МТБЕ при интервално описание на неопределеността за активизиращата енергия на химичната реакция.

- C21. **A. Grancharova, S. Vassileva**, “Neural model-based optimization of brewing yeast production process”, *Proceedings of 4-th International Scientific–Technical Conference Process Control 2000*, Kouty nad Desnou, Czech Republic, 11-14 June, 2000.

Резюме: За доброто протичане на процеса на ферментация и получаване на пиво с високо качество е необходимо да се използват пивни дрожди с висока жизнениост. Следователно, от голямо значение е оптимизирането на процеса за получаване на пивни дрожди с цел увеличаване на тяхната ферментационна активност. Факторите, които оказват най-голямо влияние на този процес са температурата и посевната доза. Механизмът на зависимостта на морфологичния състав на микробната популация (представен чрез общия брой клетки, броя на пъпкуващите клетки и броя на мъртвите клетки, определени чрез микроскопско броене) от температурата и посевната доза не е известен. За нейното моделиране е приложен апаратът на невронните мрежи и на базата на експериментални данни е получен невронен модел. На базата на този модел е извършена оптимизация на процеса за получаване на пивни дрожди, при което са определени оптималните условия (оптимална температура и оптимална посевна доза) за неговото протичане. В случая, критерият за оптималност е отношението на броя на мъртвите клетки към общия брой на клетките в микробната популация. Определени са условията, при които това отношение е минимално.

- C22. A. Lekova, D. Boiadjiev, S. Kostova, **A. Grancharova**, "Life cycle assessment of environmental damages caused by nitrate fertilizers production in Bulgaria", *Proceedings of IFAC Workshop on Automatic Systems for Building the Infrastructure in Developing Countries*, Bansko, Bulgaria, 3-5 October, 2004, pp.325-330.

Резюме: В статията е направена оценка на влиянието на производството на азотни торове в България върху околната среда и здравето на хората чрез прилагане на методологията за оценка на жизнения цикъл (Life Cycle Assessment). За тази цел са използвани данни за производството на стабилизирани амониев нитрат в „Агрополихим“ и на амониев нитрат NEOFERT в „Неохим“. Оценката на жизнения цикъл на тези азотни торове е направена чрез използване на софтуера TRACI.

- C23. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, "Explicit min-max model predictive control of constrained nonlinear systems with model uncertainty", *Proceedings of the 16-th IFAC World Congress*, Prague, Czech Republic, 4-8 July, 2005, Session Nonlinear Model Predictive Control (Th-M03-TO).

Резюме: В статията е разработен метод за синтез на експлицитен минимаксен предсказващ регулатор за нелинейни системи при наличие на неопределени параметри в математичния им модел. Задачата, която се решава е да се намери в явен вид управлението, което минимизира максималната стойност по отношение на неопределените параметри на критерия за качество на управлението, като се спазват ограниченията наложени на управляващите въздействия и на променливите на състоянието. Тези ограничения трябва да бъдат спазени за всички възможни стойности на неопределените параметри. Показано е, че задачата за минимаксно предсказващо управление може да се представи като задача на мулти-параметричното нелинейно програмиране. Разработен е метод за решаване на тази задача, при който оптималното управление се получава в експлицитен вид като по части линейна функция на състоянието, дефинирана върху k -д ортогонална структура на пространството на състоянието, т.е. структура състояща се от хипер-правоъгълници. Изведени са условията, които гарантират робастността на експлицитния предсказващ регулатор, т.е. удовлетворяване на ограниченията за всички възможни стойности на неопределените параметри и е описан алгоритъмът за синтез на регулатора. Разработеният метод е приложен за синтез на експлицитен минимаксен предсказващ регулатор за реактор с идеално смесване. Изследването на действието на затворената система показва, че въпреки наличието на неопределеност, експлицитният минимаксен регулатор извежда реактора от даденото начално състояние в желаното крайно състояние при спазване на ограниченията наложени на системата.

- C24. **A. Grancharova**, D. Boiadjiev, A. Lekova and S. Kostova, "Quantitative evaluation of alternatives for municipal solid waste treatment in Bulgaria", *Proceedings of the IFAC Workshop on Energy Saving Control in Plants and Buildings*, Bansko, Bulgaria, 2-5 October, 2006, pp.189-193.

Резюме: Практиката за управление на битовите отпадъци чрез депонирането им в общински сметници поражда съществен екологичен проблем, свързан с отделянето на сметничен газ. Сметничният газ съдържа основно метан и въглероден двуокис, които допринасят за глобалното затопляне. Следователно, съществува необходимост от разработването и оценяването на алтернативни решения за третиране на твърдите битови отпадъци. В статията са разгледани четири алтернативни решения за третиране на твърдите битови отпадъци и е разработен метод за тяхната количествена оценка. Алтернативните решения са: 1) сметнице без оползотворяване на отделяния сметничен газ (съществуваща практика), 2) сметнице, при което сметничният газ се подлага на химическо очистване и се получава синтетичен газ, 3) сметнице, при което сметничният газ се използва за получаване на електрическа енергия, 4) изгаряне на отпадъците в инсинератори и получаване на електрическа енергия. За оценяване на тези алтернативи са въведени четири критерия: 1) печалба за период от 24 години (да се максимизира), 2) емисии на въглероден двуокис (да се минимизират), 3) емисии на серен двуокис (да се минимизират), 4) емисии на азотни окиси (да се минимизират). На базата на данни от различни проучвания са изчислени стойностите на тези критерии за всяка от четирите алтернативи. Разработена е стратегия за избор на най-добрата алтернатива чрез решаването на мултикритериална оптимизационна задача. Чрез прилагане на разработената стратегия, за най-добра е определена алтернатива №3 (сметнице, при което сметничният газ се използва за получаване на електрическа енергия).

C25. A. Grancharova, T. A. Johansen, "Explicit approximate approach to feedback min-max model predictive control of constrained nonlinear systems", *Proceedings of the 45-th IEEE Conference on Decision and Control*, San Diego, USA, 13-15 December, 2006, pp.4848-4853.

Резюме: В статията е разработен метод за синтез на експлицитен минимаксен предсказващ регулатор за нелинейни дискретни системи при наличие на смущения, за които е известен единствено интервалът, в който те варират. Задачата, която се решава е да се намери в явен вид функцията на управление, която минимизира максималната стойност по отношение на смущенията на критерия за качество на управлението, като се спазват ограниченията наложени на управляващите въздействия и на променливите на състоянието. Оптимизацията се извършва по отношение на параметрите на предварително зададени нелинейни функции на управление в дискретните моменти от хоризонта на предсказване. Задачата за минимаксно предсказващо управление е представена като задача на мултипараметричното нелинейно програмиране. Разработен е метод за решаване на тази задача, при който суб-оптималната функция на управление се получава в експлицитен вид като по части нелинейна функция на състоянието, дефинирана върху k - d ортогонална структура на пространството на състоянието. Изведени са условията, които гарантират робастността на експлицитния предсказващ регулатор, т.е. удовлетворяване на ограниченията за всички възможни стойности на смущенията в зададените граници и е описан алгоритъмът за синтез на регулатора.

C26. J. Kocijan, K. Ažman, A. Grancharova, "The concept for Gaussian process model based system identification toolbox", *Proceedings of the International Conference on*

Резюме: В статията е представена концепцията за тулбокс в симулационната среда Matlab за моделиране на динамиката на нелинейни стохастични системи чрез използване на Гаусови процеси. Моделирането с използване на Гаусови процеси е подход за вероятно непараметрично моделиране от типа „черна кутия“. Тези модели позволяват чрез по-голямата дисперсия около предсказаното математическо очакване да се отличат областите от входното пространство, в които качеството на предсказване е лошо поради липса на данни или поради сложните връзки между тях. Тулбоксът включва: функции за обучение на Гаусовия модел, при което има възможност да се използват различни по вид функции на ковариациите; функции за симулация на получения Гаусов модел и изчисляване на неговата грешка на предсказване; функции за нормиране/денормиране на входно-изходните данни и графична визуализация на симулационните резултати. Тулбоксът е приложен за получаване на регресионен модел на базата на Гаусови процеси на примерна нелинейна стохастична система.

C27. **A. Grancharova**, J. Kocijan, T. A. Johansen, “Explicit approximate nonlinear predictive control based on neural network models”, *Proceedings of the International Conference on Automatics and Informatics*, Sofia, Bulgaria, 3-6 October, 2007, vol. II, pp.I-5-I-8.

Резюме: В статията е разработен метод за синтез на експлицитен предсказващ регулатор за системи, чиято динамика се описва с невронен регресионен модел. Моделът представлява двуслойна невронна мрежа със сигмоидна функция на активация на невроните в скрития слой и линейна – на невроните в изходния слой. Идентификацията на модела се състои в оценяване на теглата на невронната мрежа. За тази цел се използва методът за оптимизация на Левенберг-Маркуарт. Формулирана е задачата на предсказващото управление, основано на невронен модел, където целта е да се следва определено задание. Показано е как тази задача може да се трансформира в задача на мулти-параметричното нелинейно програмиране. За получаване на експлицитното суб-оптимално решение на формулираната задача е приложен експлицитният метод, който се основава на ортогонално структуриране на пространството на състоянието. Синтезиран е експлицитен предсказващ регулатор за система, чиято динамика се описва с невронен регресионен модел. Експлицитният предсказващ регулатор представлява по части линейна функция, дефинирана върху ортогонална структура на тримерното пространство на състоянието. Получените симулационни резултати показват, че действието на експлицитния регулатор е много близко до оптималното.

C28. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, “Explicit approximate model predictive control of constrained nonlinear systems with quantized input”, *Proceedings of the International Workshop on Assessment and Future Directions of Nonlinear Model Predictive Control*, Pavia, Italy, 5-9 September, 2008.

Резюме: В статията е формулирана задачата на моделното предсказващо управление на нелинейни системи с дискретни по стойност управляващи въздействия, където

целта е регулируемите величини да следват определено задание. Оптимизационната задача се състои в минимизирането на функционал, който включва сумарната грешка от следване на заданието, при което управляващите въздействия могат да приемат краен брой стойности и трябва да са спазени ограниченията, наложени на регулируемите величини. Оптимизацията се извършва по отношение на стойностите на управляващите въздействия в дискретните моменти от хоризонта на предсказване. Показано е как тази задача може да се трансформира в задача на мулти-параметричното нелинейно целочислено програмиране. В общия случай експлицитното оптимално решение на формулираната задача не може да бъде намерено. В статията е разработен метод за приблизително решаване на тази задача, при който суб-оптималното управление се получава в експлицитен вид като по части постоянна функция на състоянието, дефинирана върху k - d ортогонална структура на пространството на състоянието. Разработени са процедури за синтез на управлението в даден хипер-правоъгълник от пространството на състоянието и за разделяне на даден хипер-правоъгълник в случаите, когато желаната точност на апроксимация не е достигната. Разработеният метод е приложен за синтез на експлицитен предсказващ регулатор за управление на електро-пневматична система на базата на модел в пространството на състоянието.

C29. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, "Explicit solution of regulation control problems for nonlinear systems with quantized inputs", *Proceedings of the International Conference on Automatics and Informatics*, Sofia, Bulgaria, 1-4 October, 2008, pp. I-15-I-18.

Резюме: Статията разглежда задачата за оптимално регулиране на нелинейни системи с дискретни по стойност управляващи въздействия чрез прилагане на подхода на моделното предсказващо управление. Тя е преобразувана в задача на мулти-параметричното нелинейно целочислено програмиране. За нейното експлицитно решаване е приложен методът, при който суб-оптималното управление се получава в експлицитен вид като по части постоянна функция на състоянието, дефинирана върху k - d ортогонална структура на пространството на състоянието. Синтезиран е експлицитен, дискретен по стойност регулатор за регулиране на концентрацията и температурата в реактор с идеално смесване.

C30. D. Nedialkov, **A. Grancharova**, H. Hristova, A. Krastev, "Linear regression models for prediction of ozone concentration in the air of Bourgas", *Proceedings of International Conference on Automatics and Informatics*, Sofia, Bulgaria, October, 2009, pp. IV-21-IV-24.

Резюме: В статията са получени линейни регресионни модели за предсказване с един час напред на концентрацията на озон във въздуха в гр. Бургас. За тази цел са използвани данни за часовите измервания на концентрациите на атмосферните замърсители и метеорологичните параметри. Най-напред е получен линеен регресионен модел, в който входен параметър е концентрацията на озон в текущия час. След това е изследвано как добавянето на допълнителен входен параметър в регресионния модел би подобрило качеството на предсказване. В качеството на такъв параметър са изследвани последователно слънчевата радиация, температурата на въздуха, относителната влажност на въздуха, скоростта на вятъра, атмосферното налягане, а също така концентрациите на следните замърсители на въздуха: азотен

диоксид, азотен оксид, метанови въглеродороди, неметанови въглеродороди. Информативността на допълнителния параметър е оценена по разликата в стойностите на R^2 при двата модела (с и без допълнителен параметър).

- C31. **A. Grancharova**, J. Kocijan, T. A. Johansen, "Dual-mode explicit output-feedback predictive control based on neural network models", *Proceedings of the 8-th IFAC Symposium on Nonlinear Control Systems (NOLCOS'2010)*, Bologna, Italy, 1-3 September, 2010, pp.545-550.

Резюме: В статията е предложен метод за дуално експлицитно моделно предсказващо управление на базата на модел на обекта от типа „черна кутия“. В частност се предполага, че динамиката на обекта се описва с нелинеен регресионен модел, основаващ се на използването на невронни мрежи. Разработеният метод е приложен и за други видове регресионни модели, например за модели на базата на Гаусови процеси. Предложеният подход за дуално управление се състои в използването на експлицитен предсказващ регулатор при сравнително големи стойности на грешката на регулиране и на линейно-квадратичен регулатор с интегрираща съставка при сравнително малки стойности на грешката. Разработеният подход дава възможност за едновременно намаляване на сложността на експлицитния предсказващ регулатор и избягване на статичната грешка на регулиране при наличието на смущения или неточности в модела на обекта. Разработеният метод е приложен за синтез на дуален експлицитен предсказващ регулатор за управление на система за поддържане на pH.

- C32. **A. Grancharova**, J. Kocijan, A. Krastev, H. Hristova, "High-order Gaussian process models for prediction of ozone concentration in the air", *Proceedings of 7-th EUROSIM 2010 Congress on Modelling and Simulation*, Prague, Czech Republic, 5-9 September, 2010.

Резюме: В статията са получени модели, основани на Гаусовите процеси, за предсказване с един час напред на концентрацията на озон във въздуха в центъра на гр. Бургас. Моделирането с използване на Гаусови процеси е подход за вероятностно непараметрично моделиране от типа „черна кутия“ на нелинейни стохастични системи. С помощта на Гаусовите модели могат да се отличат областите от входното пространство, в които качеството на предсказване е лошо поради липса на данни или поради сложните връзки между тях, чрез по-голямата дисперсия около предсказаното математическо очакване. За получаване на Гаусовите модели са използвани данни за часовите измервания на концентрациите на атмосферните замърсители озон, азотен диоксид, серен диоксид, фенол и бензен в центъра на гр. Бургас. Качеството на предсказване на Гаусовите модели е оценено чрез изчисляване на средноквадратичната грешка на предсказване и на логаритмичната плътност на грешката.

- C33. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, "Explicit nonlinear model predictive control based on orthogonal partition: A review", *Proceedings of the Anniversary Scientific Conference "40 years Department of Industrial Automation"*, University of Chemical Technology and Metallurgy, Sofia, 18 March, 2011, pp.23-26.

Резюме: В статията е направен преглед на методите за синтез на експлицитни моделно предсказващи регулатори за нелинейни дискретни системи, основаващи се на ортогонална структуриране на пространството на параметрите и тяхното приложение за оптимално управление на конкретни обекти. Методите са класифицирани според: 1). вида на задачата за управление (задача за оптимално регулиране или задача за оптимално следване на задание); 2). вида на математичния модел, който описва динамиката на нелинейния обект (аналитичен модел в пространството на състоянието или модел от вида „черна кутия”); 3). вида на описание на неопределеността в модела на обекта (полихедрално описание или стохастично описание); 4). вида на управляващото въздействие (управляващо въздействие, което е непрекъснато по стойност или управляващо въздействие, което може да приема краен брой дискретни стойности); 5). вида на апроксимацията закон за управление (по части линейна, по части нелинейна, или по части постоянна функция на управление).

C34. **A. Grancharova**, J. Kocijan, “Explicit stochastic model predictive control of gas-liquid separator based on Gaussian process model”, *Proceedings of the International Conference on Automatics and Informatics*, ISSN: 1313-1850, Sofia, Bulgaria, 3-7 October, 2011, pp.B-85-B-88.

Резюме: В статията е синтезиран експлицитен стохастичен предсказващ регулатор за управление на лабораторен сепаратор на газ от течност на базата на Гаусов модел на неговата динамика. Апаратът за разделяне на газ от течност е част от пилотна инсталация за пречистване на отпадни води. Ролята на сепаратора е да улови димните газове от предхождащата го горивна камера с помощта на воден поток, да ги охладят и увеличи тяхното налягане и да ги подаде на апарата за неутрализация на отпадните води. Сепараторът представлява обект с две регулируеми величини (налягането на газа и нивото на течността в сепаратора) и две управляващи въздействия (степените на отвореност на вентилите за двата изходни потока). Гаусовият модел на динамиката на сепаратора се състои от две части: 1). Гаусов модел за предсказване на налягането; 2). Гаусов модел за предсказване на нивото на течността. На базата на Гаусовия модел е синтезиран експлицитен суб-оптимален стохастичен предсказващ регулатор за управление на сепаратора, който се основава на ортогонално структуриране на пространството на състоянието. От получените симулационни резултати се вижда, че действието на експлицитния стохастичен предсказващ регулатор е близко до стохастичното оптимално управление.

C35. **A. Grancharova**, E. I. Grötli, T. A. Johansen, “Distributed MPC-based path planning for UAVs under radio communication path loss constraints”, *Proceedings of the 1-st IFAC Conference on Embedded Systems, Computational Intelligence and Telematics in Control (CESCIT 2012)*, Würzburg, Germany, 3-5 April, 2012, pp.254-259.

Резюме: В статията е предложен метод за определяне на оптималните траектории на група от безпилотни самолети, чиято цел е да формират комуникационна връзка между обекти в области без постоянна комуникационна инфраструктура (например области в Арктика). Разработен е метод за разпределено моделно предсказващо

управление, при който получените траектории на самолетите са безопасни по отношение на избягване на сблъсък между самолетите и сблъсък със земята, ефективни от гледна точка на разхода на гориво и удовлетворяващи критериите за комуникация, при което самолетите формират комуникационна верига със зададен капацитет. В задачата за разпределено моделно предсказващо управление по явен начин са включени ограниченията на загубите на радио комуникация, изчислени с помощта на софтуера SPLAT!. Разработеният подход е илюстриран чрез симулационен сценарий, при който два безпилотни самолета формират връзка за комуникация между наземна станция и кораб. Резултатите, получени при разпределеното моделно предсказващо управление са сравнени с тези, съответстващи на централизирания подход.

C36. **A. Grancharova**, “A semi-explicit approach to efficient distributed model predictive control for interconnected systems”, *Proceedings of the International Conference on Automatics and Informatics*, ISSN: 1313-1869, Sofia, Bulgaria, 3-5 October, 2012, pp.62-65.

Резюме: В статията е предложен полу-експлицитен метод за ефективно разпределено моделно предсказващо управление (МПУ) на взимосвързани нелинейни системи. Той представлява комбинация от двете парадигми за МПУ - експлицитно МПУ и МПУ чрез оптимизация в реално време и използва метода за динамична дуална декомпозиция. Показано е, че за системи с не много голяма сложност, този подход води до по-ефективна реализация в реално време на разпределеното МПУ.

C37. **A. Grancharova**, S. Olaru, “Distributed model predictive control of a quadruple-tank system”, *Proceedings of the International Conference on Automatics and Informatics*, ISSN: 1313-1869, Sofia, Bulgaria, 3-7 October, 2013, pp. I-293-I-296.

Резюме: В статията е разработен метод за разпределено моделно предсказващо управление на нелинейни системи, състоящи се от нелинейни взаимосвързани подсистеми, на които са наложени ограничения както на управляващите въздействия, така и на променливите на състоянието. Предполага се, че оптимизационната задача е изпъкнала и е приложен подходът на дуалната декомпозиция. Разработен е алгоритъм за разпределено суб-оптимално моделно предсказващо управление чрез оптимизация в реално време. Алгоритъмът е използван за разпределено предсказващо управление на лабораторна система, състояща се от четири резервоара. Получените симулационни резултати са сравнени с тези, съответстващи на централизирания подход за моделно предсказващо управление.

C38. **А. Грънчарова**, Л. Костов, “Моделно предсказващо управление на система за поддържане на рН”, *Сборник с доклади на 21-вия Международен Симпозиум по Управление на енергийни, индустриални и екологични системи*, ISSN: 1313-2237, Банкя, 7-8 ноември 2013, стр. 23-26.

Резюме: В статията е разгледана задачата за оптимално регулиране на система за поддържане на рН, при която регулируемите променливи са рН и нивото на течността в системата, а управляващите въздействия са дебитите на входния

поток с основа и изходния поток. Задачата за оптимално регулиране е формулирана като задача за нелинейно моделно предсказващо управление при наличие на ограничения. Разгледани са два случая на синтез на моделно предсказващо управление: 1) наличие само на областни ограничения на управляващите въздействия и 2) спазване както на областните ограничения, така и на ограниченията на скоростта на промяна на управляващите въздействия.

C39. M. T. Nguyen, C. Stoica Maniu, S. Olaru, **A. Grancharova**, “About formation reconfiguration for multi-agent dynamical systems”, *Proceedings of the International Conference on Automatics and Informatics*, Sofia, Bulgaria, 1-3 October, 2014.

Резюме: В статията е предложен метод, основаващ се на теорията на множествата, за оптимално планиране на траекториите на агентите в дадена многоагентна система при осъществяването на нейната мисия. Специално внимание е обърнато на откриването и изолирането на неработещите агенти и реконфигуриране на останалите агенти в нова многоагентна формация, която да изпълни поставената цел.

C40. **A. Grancharova**, S. Olaru, G. Sandou, C. Stoica, P. Rodriguez, “Distributed model predictive control of a hydro-power valley by dual decomposition”, *Proceedings of the International Conference on Automatics and Informatics*, Sofia, Bulgaria, 1-3 October, 2014.

Резюме: В статията се разглежда задачата за разпределено моделно предсказващо управление на водноелектрическа долина, която представлява система от три свързани водноелектрически станции (две от тях са разположени по течението на река, а третата е разположена до езеро). От гледна точка на управлението, водноелектрическата долина представлява система, състояща се от три линейни взаимосвързани подсистеми, които въздействат една на друга чрез водните дебити през турбините (управляващи въздействия). Наложени са ограничения както на управляващите въздействия, така и на променливите на състоянието (нивата на водата в резервоарите). Целта на разпределеното моделно предсказващо управление е да се следват оптималните траектории на управляващите въздействия и променливите на състоянието, генерирани предварително от алгоритъм за супервайзорно управление. Предложен е метод за разпределено моделно предсказващо управление на линейни взаимосвързани системи, при които взаимодействията между системите се осъществяват чрез управляващите въздействия. За тази цел е използван подходът на дуалната декомпозиция. Получените симулационни резултати показват, че суб-оптималните траектории, получени чрез прилагане на подхода за разпределено моделно предсказващо управление, следват достатъчно точно референтните оптимални траектории.

Научни приноси в публикациите (извън тези, посочени в точка В)

1. Разработени са надеждни и числено ефективни алгоритми за синтез на оптимално управление на технологични обекти, чиято динамика се описва с нелинейни диференциални и алгебрични уравнения, при наличие на параметрична неопределеност [C20]. Разгледани са случаите на стохастическо [C5, C13, C20] и интервално [C20] описание на неопределеността. Разработен е нов вариант на симулационния пакет DYN-SIM, който дава възможност да се решават задачите на оптималното управление на сложни химикотехнологични процеси [C20]. С помощта на новия вариант на пакета DYN-SIM е определено оптималното управление на реактор за производство на метил-третичен-бутил етер при наличие на параметрична неопределеност, като са разгледани случаите на стохастическо и интервално описание на неопределеността [C20].
2. Предложени са нови методи и алгоритми за синтез на оптимален невронен регулатор за съществено нелинейни обекти, в отсъствие на неопределеност [C6, C14]. Изследвано е влиянието на структурата на невронния регулатор и способа му на обучаване върху действието на системата за автоматично управление [C6, C14]. Разработени са два метода за синтез на робастен невронен регулатор за стабилизация на съществено нелинейни обекти при наличие на параметрична неопределеност за тяхната динамика [C7, C16]. Разработен е пакет от програми, реализирани на FORTAN 77, за синтез на оптимален невронен регулатор за съществено нелинейни обекти. Синтезиран е робастен невронен регулатор за стабилизация на химически реактор с идеално смесване при наличие на параметрична неопределеност в неговия математичен модел [C7].
3. Създадени са методи за синтез на експлицитни предсказващи регулатори за нелинейни системи, при наличие на ограничения на управляващите въздействия и на променливите на състоянието [C4, C9, C23, C25, C27, C28, C29, C31, C33, C34]. Предимството на тези методи е, че позволяват всички изчисления, свързани със синтеза на предсказващия регулатор да се извършат в off-line, като се избягва необходимостта от решаване в реално време на задача на нелинейното програмиране. В [C4] е показано как задачата за предсказващо управление на нелинейна дискретна система може да се трансформира в задача на мулти-параметричното нелинейно програмиране. Разгледан е общият случай, когато оптимизационната задача се характеризира с неизпъкналост и е разработен метод за нейното приблизително решаване. В [C9, C34] е формулирана задачата за стохастично предсказващо управление на нелинейни стохастични системи, чиято динамика се описва с помощта на Гаусови процеси. Предложен е метод за намиране на нейното експлицитно суб-оптимално решение. В [C23, C25] са разработени методи за синтез на експлицитни минимаксни предсказващи регулатори за нелинейни системи с ограничения, при наличие на неопределеност в техния математичен модел (неопределени параметри или ограничени по амплитуда смущения). Изведени са условията, които гарантират робастността на експлицитните регулатори. В [C28, C29] е формулирана задачата на моделното предсказващо управление на нелинейни системи с дискретни по стойност управляващи въздействия (разгледани са случаите на оптимално регулиране и оптимално следване на задание). Показано

е как тази задача може да се трансформира в задача на мулти-параметричното нелинейно целочислено програмиране. Разработен е метод за определяне на нейното експлицитно суб-оптимално решение. В [C27, C31] са разработени методи за синтез на експлицитен предсказващ регулатор за системи, чиято динамика се описва с невронен регресионен модел. Разработените в [C4, C9, C23, C25, C27, C28, C29, C31, C33, C34] са реализирани като пакет от програми в симулационната среда MATLAB и са приложени за синтез на експлицитен предсказващ регулатор за управление на: компресор, парен генератор, химически реактор с идеално смесване, електро-пневматична система, система за поддържане на рН, лабораторен сепаратор за разделяне на газ от течност.

4. Предложени са нови методи за разпределено моделно предсказващо управление на системи, състоящи се от взаимосвързани подсистеми, на които са наложени ограничения както на управляващите въздействия, така и на променливите на състоянието [C35, C36, C37, C40]. Методите в [C36, C37, C40] се основават на подхода на динамичната дуална декомпозиция. Те са реализирани програмно в симулационната среда MATLAB и са приложени за разпределено управление на: група от безпилотни самолети, лабораторна система, състояща се от четири резервоара, водноелектрическа долина.
5. Разработени са методи за моделиране на динамиката на сложни стохастични системи с помощта на Гаусови процеси [C10, C11, C26, C32]. В [C10] на базата на експериментални данни е получен Гаусов модел на динамиката на лабораторен сепаратор на газ от течност, а в [C11, C32] са получени Гаусови модели за предсказване на концентрацията на озон във въздуха като се използват данни за часовите измервания на концентрациите на някои основни атмосферни замърсители.
6. Създаден е линеен метод за параметрична идентификация на роботи от вида $D||D$ и $D\perp D||D$ [C2, C17]. Той позволява чрез избор на подходящи движения на роботите и групиране на техните физически параметри в динамични, първоначалният нелинеен модел да се преобразува в линеен. Това дава възможност да се приложат стандартните методи за параметрична идентификация на линейни системи. Важно предимство на този метод е, че той дава възможност да се оценят по-голям брой от физическите параметри на робота в сравнение с методите, известни в литературата. Разработен е пакет от програми в симулационната среда MATLAB за оценяване на параметрите на роботи.
7. Разработени са концепция и алгоритми (реализирани на VisiBroker C++), основаващи се на CORBA-подхода (Common Object Request Broker Architecture), за реализиране на международна научно-изследователска компютърна мрежа за търсене, предаване, преработка и съхранение на знания в средата на Internet-Intranet [C3, C18, C19]. Международната мрежа се състои от локални (национални) научно-изследователски мрежи, ядрото на всяка от които включва модул за вземане на решение. Разработена е базата от правила на този модул и метод за вземане на решение при класификация на обектите от научно-изследователска компютърна мрежа според тяхната степен на полезност при решаването на задачата, формулирана от потребителя [C3, C18, C19]. В частност

е разработен метод за вземане на решение при синтез на системи за автоматично управление [C1].

8. В [C8, C22] са разработени подходи за количествена оценка на въздействието на емисиите от производството на азотни торове върху здравето на хората и околната среда. Те включват: оценка на жизнения цикъл, анализ на пътищата на влияние, и многокритериален анализ. В [C24] са разгледани четири алтернативни решения за третиране на твърдите битови отпадъци и е разработен метод за тяхната количествена оценка. Разработена е стратегия за избор на най-добрата алтернатива чрез решаването на мултикритериална оптимизационна задача.
9. Апаратът на невронните мрежи е приложен за моделиране на процеса за получаване на гиберелинова киселина от щама *Fusarium Moniliforme* 3211 [C15]. Получен е невронен модел на процеса за производство на пивни дрожди и са определени оптималните условия за неговото провеждане [C21].

Таблица 1. Брой на научните трудове по видове.

ВИД НА НАУЧНИЯ ТРУД	НА АНГЛИЙСКИ ЕЗИК	НА БЪЛГАРСКИ ЕЗИК	ОБЩО
Глави от книги	5		5
Статии в списания с импакт фактор	6		6 (сумарен импакт фактор: 7,261)
Статии в списания без импакт фактор	3	2	5
Доклади на международни конференции в чужбина в пълен текст	21		21
Доклади на международни конференции в България в пълен текст	3		3
Доклади на конференции в България с международно участие в пълен текст	9		9
Доклади на национални конференции в пълен текст	1	1	2
Общо научни трудове в пълен текст	48	3	51
Общо			51

Таблица 2. Брой на цитиранията на научните трудове.

НОМЕР НА НАУЧНИЯ ТРУД ОТ СПИСЪКА	БРОЙ ЦИТИРАНИЯ
Труд В1.1	6
Труд В1.2	102
Труд В1.3	20
Труд В1.4	2
Труд В1.5	13
Труд В1.6	7
Труд В1.7	1
Труд В1.8	1
Труд В1.10	2
Труд С.4	11
Труд С.9	16
Труд С.10	1
Труд С.11	3
Труд С.23	3
Труд С.25	3
Труд С.27	1
Труд С.28	1
Труд С.35	1