

РЕЗЮМЕТА

на основните резултати и научните приноси

на доц. д-р инж. Александра Иванова Грънчарова

за участие в конкурса за заемане на академичната длъжност „професор” по научната специалност 5.2. Електротехника, електроника и автоматика (Автоматизация на производството), обявен от ХТМУ в ДВ брой 66 от 15.08.2017г.

Публикации, равностойни на монографичен труд на тема “Методи за явно моделно предсказващо управление на детерминирани нелинейни динамични системи”

Включва следните научни трудове, публикувани в специализирани научни издания:

- B1. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, chapter “Multi-parametric programming”, In: A. Grancharova and T. A. Johansen, *Explicit Nonlinear Model Predictive Control: Theory and Applications*, **Lecture Notes in Control and Information Sciences**, vol.429, ISBN-Print: 978-3-642-28779-4, ISBN-Ebook: 978-3-642-28780-0, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp.1-37, 2012 (глава от монография).

Резюме: В този труд са разгледани основните методи за решаване на задачи на мулти-параметричното програмиране. В Раздел 1.1 е формулирана задачата за мулти-параметрично нелинейно програмиране (mp-NLP) и са дадени ККТ (Karush-Kuhn-Tucker) условията за оптималност. Накратко са изложени трите основни групи от методи за намиране на локален минимум на задача на нелинейното програмиране за даден вектор от параметри (методи от Нютонов тип, методи с наказателна функция и методи за директно търсене). Изложени са условията за локална регулярност на оптималното решение като функция на параметрите. На тази основа са разработени алгоритми за определяне на явно приблизително решение на задачите на мулти-параметричното нелинейно програмиране. Те са базирани на ортогонално разделяне на пространството на параметрите. Предложени са алгоритми за явно решаване както на изпъкнали, така и на неизпъкнали mp-NLP задачи. Разработени са процедури и евристични правила за ефикасно разделяне на дадена област от пространството на параметрите и за третиране на случаите на неосъществимост. В Раздел 1.2 е формулирана задачата за изпъкнало мулти-параметрично квадратично програмиране (mp-QP) и са разгледани два подхода за определяне на нейното точно явно решение. В Раздел 1.3 са разгледани някои аспекти от изчисляването на по части линейни/нелинейни функции.

- B2. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, chapter “Explicit NMPC via approximate mp-NLP”, In: A. Grancharova and T. A. Johansen, *Explicit Nonlinear Model Predictive Control: Theory and Applications*, **Lecture Notes in Control and Information Sciences**, vol.429, ISBN-Print: 978-3-642-28779-4, ISBN-Ebook: 978-3-642-28780-0, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp.87-110, 2012 (глава от монография).

Резюме: В този труд е предложен метод за синтез на явни моделно предсказващи регулатори за детерминирани нелинейни системи с ограничения чрез прилагане на подходите, разработени в труд B1 за намиране на приблизително решение на задачите на мулти-параметричното нелинейно програмиране. Предимството на явния 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 малък интервал на дискретизация, а простата софтуерна реализация на явния предсказващ регулатор гарантира надеждността на системата за управление. В Раздел 4.2 са формулирани задачите за оптимално регулиране и оптимално следване на задание за нелинейни системи с ограничения. Те са представени като задачи на мулти-параметричното нелинейно програмиране (mp-NLP). В Раздел 4.3 е показано, че ограничаването на грешката от апроксимация на явното приблизително решение на изпъкналата задача за оптимално регулиране на нелинейни системи гарантира асимптотическата устойчивост на затворената система. В Раздел 4.4 е синтезиран явен приблизителен моделно предсказващ регулатор за управление на работата на компресор. В раздел 4.5 е синтезиран явен приблизителен моделно предсказващ регулатор за управление на положението на изпълнителния механизъм на електропневматичен съединител. Действието на явния предсказващ регулатор е сравнено с това на регулатор в режим на хлъзгане и на ПИД регулатор. В Раздел 4.6 е разгледано накратко приложението на подхода за явно приблизително решаване на mp-NLP задачи при определяне на оптималния профил на изплуване на водолази с цел оптимизация на декомпресията.

- B3. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, chapter “Explicit approximate model predictive control of constrained nonlinear systems with quantized input”, In: L. Magni, D. M. Raimondo and F. Allgöwer, editors, *Nonlinear Model Predictive Control: Towards New Challenging Applications*, **Lecture Notes in Control and Information Sciences**, vol.384, ISBN: 978-3-642-01093-4, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, Germany, pp.371-380, 2009 (глава от книга, която има монографичен характер).

Резюме: В този труд е формулирана задачата за моделно предсказващо управление на нелинейни системи с дискретни по стойност управляващи въздействия (въздействия, които могат да приемат краен брой стойности) с цел оптимално следване на сигнала на заданието. Тя е представена като задача на мулти-параметричното нелинейно целочислено програмиране (mp-NIP). Предложен е подход за приблизително решаване на mp-NIP задачи. Идеята на подхода е да се получи по части постоянно приближение на оптималното решение на mp-NIP задачата, дефинирано върху ортогонално разделяне на пространството на параметрите. Разработеният подход е приложен за синтез на явен моделно предсказващ регулатор с дискретно по стойност управляващо въздействие за управление на положението на изпълнителния механизъм на електропневматичен съединител чрез използване на ON/OFF клапани.

- B4. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, chapter “Explicit MPC of constrained nonlinear systems with quantized inputs”, In: A. Grancharova and T. A. Johansen, *Explicit Nonlinear Model Predictive Control: Theory and Applications, Lecture Notes in Control and Information Sciences*, vol.429, ISBN-Print: 978-3-642-28779-4, ISBN-Ebook: 978-3-642-28780-0, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp.111-125, 2012 (глава от монография).

Резюме: В този труд е предложен подход за приблизително решаване на задачи на мулти-параметричното нелинейно целочислено програмиране (mp-NIP). Той е приложен за синтез на явни моделно предсказващи регулатори за нелинейни системи с дискретни по стойност управляващи въздействия. В Раздел 5.2 са формулирани задачите за оптимално регулиране и оптимално следване на задание за нелинейни системи с дискретни по стойност управляващи въздействия. Те са представени като mp-NIP задачи. В Раздел 5.3 е описан разработеният подход за приблизително решаване на mp-NIP задачи. Идеята на подхода е да се получи по части постоянно приближение на оптималното решение на mp-NIP задачата, дефинирано върху ортогонално разделяне на пространството на параметрите. В раздел 5.4 разработеният подход е приложен за синтез на явен моделно предсказващ регулатор с дискретно управляващо въздействие за управление на положението на изпълнителния механизъм на електропневматичен съединител чрез използване на ON/OFF клапани. Неговото действие е сравнено с това на явния предсказващ регулатор, генериращ непрекъснато по стойност управляващо въздействие чрез използване на широчинно-импулсна модулация (описан в труд B2). В Раздел 5.5 подходът за приблизително решаване на mp-NIP задачи е приложен за синтез на явен моделно предсказващ регулатор с дискретно управляващо въздействие за оптимално регулиране на температурата и концентрацията в реактор с идеално смесване.

- B5. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, chapter “Explicit NMPC based on neural network models”, In: A. Grancharova and T. A. Johansen, *Explicit Nonlinear Model Predictive Control: Theory and Applications, Lecture Notes in Control and Information Sciences*, vol.429, ISBN-Print: 978-3-642-28779-4, ISBN-Ebook: 978-3-642-28780-0, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp.187-207, 2012 (глава от монография).

Резюме: В този труд е разработен подход за приблизително решаване на задачи на мулти-параметричното нелинейно програмиране (mp-NLP), свързани с получаването на явно решение на задачи за моделно предсказващо управление на нелинейни детерминирани системи, чиято динамика е описана с невронен регресионен модел. Приблизителното явно решение е дефинирано върху ортогонално разделяне на пространството на регресорите и представлява по части линейна апроксимация на оптималната траектория на управляващото въздействие. Предложена е стратегия за дуално управление с цел елиминиране на статичната грешка на системата за управление при наличие на ограничени смущения и/или неточности в регресионния модел. Предложената стратегия за дуално управление се състои в използването на явен 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 явния предсказващ регулатор и избягване на статичната грешка на регулиране при наличието на смущения или

неточности в модела на системата. Разработеният метод е приложен за синтез на дуален явен предсказващ регулатор за управление на система за поддържане на рН.

- B6. **A. Grancharova**, J. Kocijan, T. A. Johansen, “Explicit output-feedback nonlinear predictive control based on black-box models”, ***Engineering Applications of Artificial Intelligence***, ISSN: 0952-1976, vol.24, No.2, pp.388-397, 2011.
(Impact factor for year 2011: **1.665**)

Резюме: В публикацията е предложен подход за явно решаване на задачата на моделното предсказващо управление на нелинейни системи с ограничения, чиято динамика е описана с модел от вида „черна кутия“. В частност се предполага, че за динамиката на системата е получен невронен регресионен модел и се решава задачата за оптимално регулиране към началото на изхода на системата. Подходът би могъл да се приложи и за друг вид входно-изходен модел, както и при решаване на задачата за оптимално следване на задание. Показано е как първоначалната задача за моделно предсказващо управление може да се представи като задача на мулти-параметричното нелинейно програмиране (mp-NLP). Подробно е изложен подходът и алгоритъмът за явно приблизително решаване на mp-NLP задачата. Явното приблизително решение представлява по части линейна функция, дефинирана върху ортогонално разделяне на пространството на регресорите. Подходът е приложен за синтез на явен предсказващ регулатор за регулиране на рН в система за поддържане на рН.

- B7. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, “Design and comparison of explicit model predictive controllers for an electropneumatic clutch actuator using on/off valves”, ***IEEE/ASME Transactions on Mechatronics***, ISSN: 1083-4435, vol.16, No.4, pp.665-673, 2011.
(Impact factor for year 2011: **2.865**)

Резюме: В публикацията са синтезирани два явни моделно предсказващи регулатора за управление на положението на изпълнителния механизъм на електропневматичен съединител чрез използване на една двойка от ON/OFF клапани. Явните предсказващи регулатори са особено подходящи при изграждането на мехатронни системи, тъй като от една страна обектът за управление има бърза динамика, а от друга - те гарантират неговото оптимално управление при наличие на ограничения. Синтезът на двата регулатора се основава на експериментално валидиран математичен модел на динамиката на изпълнителния механизъм. Единият предсказващ регулатор е с дискретно по стойност управляващо въздействие (двата клапана могат да са отворени или затворени за целия интервал на дискретизация), а другият регулатор генерира непрекъснато по стойност управляващо въздействие чрез използване на широчинно-импулсна модулация (двата клапана могат да са отворени в част от интервала на дискретизация). Подробно са описани два подхода за явно приблизително решаване на задачите на моделното предсказващо управление за нелинейни системи с ограничения – за системи с непрекъснато по стойност и за системи с дискретно по стойност управляващо въздействие. Те са приложени при синтеза на двата явни предсказващи регулатора за разглеждания механизъм. Направено е сравнение на качеството на управление на двата предсказващи регулатора, на регулатор в режим на хлъзгане и на ПИД регулатор чрез провеждането на симулационни изследвания. От получените резултати се вижда, че явният предсказващ регулатор с широчинно-

импулсна модулация има най-добро качество на управление на положението на изпълнителния механизъм.

- B8. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, P. Tøndel, "Computational aspects of approximate explicit nonlinear model predictive control", *Proceedings of the International Workshop on Assessment and Future Directions of Nonlinear Model Predictive Control*, Freudenstadt-Lauterbad, Germany, 26-30 August, 2005, pp.85-96.

Резюме: В публикацията е разработен метод за синтез на явен 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 явното 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 явен 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 явен предсказващ регулатор за оптимално управление на компресор.

- B9. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, "Explicit model predictive control of an electropneumatic clutch actuator using on/off valves and pulse-width modulation", *Proceedings of European Control Conference*, Budapest, Hungary, 23-26 August, 2009, pp.4278-4283.

Резюме: В публикацията е разгледан подробно математичният модел на динамиката на положението на изпълнителния механизъм на електропневматичен съединител, при който се използва една двойка от ON/OFF клапани. За оптимално управление на положението на механизма е формулирана задача за моделно предсказващо управление, където целта е по оптимален начин да се следва сигнала на заданието. За определяне на явно приблизително решение на тази задача е приложен подход за приблизително решаване на задачите на мулти-параметричното нелинейно програмиране. Синтезираният явен предсказващият регулатор генерира

непрекъснато по стойност управляващо въздействие чрез използване на широчинно-импулсна модулация (двата клапана могат да са отворени в част от интервала на дискретизация). Той е синтезиран на базата на опростен модел (от 3-ти ред) на динамиката на изпълнителния механизъм. Качеството на управление на предсказващия регулатор е изследвано с помощта на компютърни симулации на базата на пълния модел (от 5-ти ред) на механизма. Получените резултати показват, че явният предсказващ регулатор с широчинно-импулсна модулация има по-добро качество на управление в сравнение с това на предсказващ регулатор, при който управляващото въздействие може да приеме една от три възможни стойности.

B10. **A. Grancharova, J. Kocijan**, “A parallel computing algorithm for design of explicit nonlinear model predictive controllers”, ***Proceedings of the International Conference on Automatics and Informatics***, ISSN: 1313-1850, Sofia, Bulgaria, 3-7 October, 2010, pp.I-233-I-236.

Резюме: В публикацията е разработен паралелен изчислителен алгоритъм, който увеличава значително off-line изчислителната ефективност на методите за явно решаване на задачите на мулти-параметричното нелинейно програмиране. Тези методи се използват при синтеза на явни моделно предсказващи регулатори за нелинейни системи с ограничения. Същността на паралелния алгоритъм се състои в едновременно изчисляване на суб-оптималните закони за управление в няколко ортогонални области от пространството на състоянието. Разработеният паралелен алгоритъм е приложен за синтез на явен предсказващ регулатор за управление на работата на компресор. Изчисленията са проведени на двудрен персонален компютър. Времето за изпълнение на паралелния алгоритъм е сравнено с това, необходимо за изпълнение на непаралелната програмна реализация. От получените резултати се вижда, че използването на паралелен изчислителен алгоритъм води до значително намаляване на времето за синтез на явен предсказващ регулатор.

B11. **A. Grancharova**, “Design of explicit model predictive controllers based on orthogonal partition of the parameter space: Methods and a software tool”, ***Proceedings of the 16-th IFAC Conference on Technology, Culture and International Stability (TECIS 2015)***, Sozopol, Bulgaria, 24-27 September, 2015.

Резюме: В публикацията е направен преглед на методите за синтез на явни моделно предсказващи регулатори за нелинейни дискретни системи, основаващи се на ортогонално структуриране на пространството на параметрите. 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). Дадена е основна информация за разработения софтуерен пакет от програми за синтез на явни моделно предсказващи регулатори, който е

програмна реализация на представените методи. Софтуерът е приложен за синтез на явен предсказващ регулатор за управление на концентрацията и температурата в реактор с идеално смесване.

B12. А. Грънчарова, “Програмен пакет за синтез на явни моделно предсказващи регулатори на базата на ортогонално разделяне на пространството на параметрите”, **Сборник с доклади на 23-ия Международен Симпозиум по Управление на енергийни, индустриални и екологични системи**, ISSN: 1313-2237, Банкя, 14-15 май, 2015, стр.79-82.

Резюме: В публикацията е представена структурата на разработен софтуерен пакет от програми за синтез на явни моделно предсказващи регулатори за системи с ограничения, който се основава на ортогонално разделяне на пространството на параметрите. Той представлява програмна реализация на методите за приблизително решаване на задачите на мулти-параметричното нелинейно програмиране (mp-NLP), описани в труд B1. Софтуерният пакет включва три главни програми: 1) програмата MPC_SET се използва за дефиниране на задачата за моделно предсказващо управление, чието явно приблизително решение се търси, 2) чрез програмата EMPC_DESIGN се определя явно приблизително решение на mp-NLP задачата, произтичаща от задачата за предсказващо управление, 3) с програмата EMPC_SIM може да се симулира и анализира качеството на управление на синтезирания явен предсказващ регулатор. Разработеният софтуер може да се прилага за синтез на явни предсказващи регулатори както за нелинейни, така и за линейни дискретни системи.

Научни приноси в публикациите, равностойни на монографичен труд

1. Създадени са методи за синтез на явни моделно предсказващи регулатори за нелинейни детерминирани системи с ограничения, чиято динамика е описана в пространството на състоянието [B2, B8]. Предимството на явните 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. Това прави възможно приложението на предсказващото управление при сложни процеси с малък интервал на дискретизация. В [B2, B8] е показано как задачата за предсказващо управление на нелинейна дискретна система може да се трансформира в задача на мулти-параметричното нелинейно програмиране (mp-NLP). На тази основа в [B1] са разработени алгоритми за определяне на явно приблизително решение на mp-NLP задачите, което е по части линейна или по части нелинейна функция, дефинирана върху ортогонално разделяне на пространството на параметрите. Предложени са алгоритми за явно решаване както на изпъкнали, така и на неизпъкнали mp-NLP задачи. Разработените методи са приложени за синтез на явен моделно предсказващ регулатор за управление на работата на компресор [B2, B8] и за управление на положението на изпълнителен механизъм на електропневматичен съединител, при който се използва една двойка от ON/OFF клапани [B2, B7, B9].

2. Предложен е метод за синтез на явни моделно предсказващи регулатори за нелинейни детерминирани системи с ограничения, чиято динамика е описана с модел от вида „черна кутия” [B5, B6]. Показано е как задачата за предсказващо управление на базата на невронен регресионен модел на системата може да се трансформира в задача на мулти-параметричното нелинейно програмиране и са разработени алгоритми за определяне на нейното явно приблизително решение. Решението представлява по части линейна функция, дефинирана върху ортогонално разделяне на пространството на регресорите. Разработеният подход е приложен за синтез на явен предсказващ регулатор за регулиране на рН в система за поддържане на рН.
3. Разработен е метод за явно приблизително решаване на задачата на моделното предсказващо управление за нелинейни детерминирани системи с дискретни по стойност управляващи въздействия (въздействия, които могат да приемат краен брой стойности) [B3, B4]. Първоначалната задача е представена като задача на мулти-параметричното нелинейно целочислено програмиране и е предложен подход за нейното приблизително решаване. Явният предсказващ регулатор е по части постоянна функция, дефинирана върху ортогонално разделяне на пространството на параметрите. Разработеният подход е приложен за синтез на явен моделно предсказващ регулатор с дискретно по стойност управляващо въздействие за управление на положението на изпълнителния механизъм на електропневматичен съединител чрез използване на ON/OFF клапани и за оптимално регулиране на температурата и концентрацията в реактор с идеално смесване [B3, B4].
4. Предложен е паралелен изчислителен алгоритъм, който увеличава значително off-line изчислителната ефективност на методите за явно решаване на задачите на мулти-параметричното нелинейно програмиране [B10]. Разработен е софтуерен пакет от програми за синтез на явни моделно предсказващи регулатори за нелинейни системи с ограничения, който се основава на ортогонално разделяне на пространството на параметрите [B11, B12]. Той представлява програмна реализация на методите за приблизително решаване на задачите на мулти-параметричното нелинейно програмиране.

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

- C1. N. Abdulazim, H. Pu, A. Grancharova, J. Zaprianov, H. A. Nour Eldin, chapter “The “l.i.p” gymnastic method with two arm movements for the robot link parameter identification ($D \perp D \parallel D$ robot type, Manutec R2)“, 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.255-261, 1999 (глава от книга, която има монографичен характер).

Резюме: Предложен е нов метод за оценяване на параметрите на работи от вида $D \perp D // D$. Чрез избор на подходящи движения (“гимнастики”), в които участват две от звената на робота 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.

- C2. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, chapter “Explicit stochastic NMPC”, In: A. Grancharova and T. A. Johansen, *Explicit Nonlinear Model Predictive Control: Theory and Applications*, **Lecture Notes in Control and Information Sciences**, vol.429, ISBN-Print: 978-3-642-28779-4, ISBN-Ebook: 978-3-642-28780-0, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp.157-186, 2012 (глава от монография).

Резюме: В този труд са предложени два подхода за синтез на явни предсказващи регулатори за нелинейни дискретни системи при наличие на смущения и/или неопределени параметри с известно разпределение на вероятностите. В Раздел 7.2 е формулирана задачата за моделно предсказващо управление на нелинейни системи, чиито модел в пространството на състоянието има стохастични параметри и е предложен подход за нейното явно приблизително решаване. Подходът се състои в получаването на по части нелинейна апроксимация на оптималната последователност от функции на управление в рамките на хоризонта на предсказване. Той е приложен за синтез на явен стохастичен предсказващ регулатор за примерна динамична система. В Раздел 7.3 е разработен метод за синтез на явен предсказващ регулатор за стохастични системи, чиято динамика се описва със стохастичен нелинеен регресионен модел. Моделът представлява Гаусов процес, с който могат да се предскажат математическите очаквания и дисперсиите на променливите на състоянието в бъдещ момент от време на базата на данни за управляващите въздействия и променливите на състоянието в настоящия и в предходни моменти от време. Идентификацията на Гаусовия модел се състои в оценяване на параметрите на функцията на ковариациите. Формулирана е задачата на стохастичното предсказващо управление, основано на Гаусов модел, където целта е да се следва определено задание. Оптимизацията се извършва по отношение на стойностите на управляващите въздействия в дискретните моменти от хоризонта на предсказване. Показано е как задачата за предсказващо управление на базата на Гаусов модел може да се трансформира в задача на мулти-параметричното нелинейно програмиране и е предложен подход за нейното приблизително решаване. Той е приложен за синтез на явен стохастичен предсказващ регулатор за управление на процеса на горене в парен генератор от типа РК 401.

- C3. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, chapter “Explicit min-max MPC of constrained nonlinear systems with bounded uncertainties”, In: A. Grancharova and T. A. Johansen, *Explicit Nonlinear Model Predictive Control: Theory and Applications*, **Lecture Notes in Control and Information Sciences**, vol.429, ISBN-Print: 978-3-642-28779-4, ISBN-Ebook: 978-3-642-28780-0, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp.127-156, 2012 (глава от монография).

Резюме: В този труд са предложени два подхода за синтез на явни предсказващи регулатори за нелинейни дискретни системи при наличие на ограничени по амплитуда смущения и/или неопределени параметри. В Раздел 6.2 е формулирана задачата за минимаксно моделно предсказващо управление, при което в текущия момент от време се оптимизира последователността от стойности на управляващото въздействие в рамките на хоризонта на предсказване (минимаксно управление в отворен контур). Показано е как тази задача може да се представи като задача на мулти-параметричното нелинейно програмиране. За получаване на нейното приблизително решение вив вида на по части линейна функция, дефинирана върху ортогонално разделяне на пространството на състоянието, се прилагат подходите, описани в труд В1. Синтезиран е минимаксен моделно предсказващ регулатор за реактор с идеално смесване при наличие на неопределеност за коефициента на топлопредаване. В раздел 6.3 е формулирана задачата за минимаксно моделно предсказващо управление, при което в текущия момент от време се оптимизират параметрите на предварително зададени нелинейни функции на управление в дискретните моменти от хоризонта на предсказване (минимаксно управление в затворен контур). Тази задача е представена като задача на мулти-параметричното нелинейно програмиране и е разработен подход и подробен алгоритъм за получаване на нейното приблизително решение вив вида на по части нелинейна функция, дефинирана върху ортогонално разделяне на пространството на състоянието. Изведени са условията, които гарантират робастната устойчивост на системата за управление. Синтезиран е минимаксен моделно предсказващ регулатор за примерна динамична система, върху която въздействия ограничено по амплитуда смущение.

- C4. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, chapter “Semi-explicit distributed NMPC”, In: A. Grancharova and T. A. Johansen, *Explicit Nonlinear Model Predictive Control: Theory and Applications*, **Lecture Notes in Control and Information Sciences**, vol.429, ISBN-Print: 978-3-642-28779-4, ISBN-Ebook: 978-3-642-28780-0, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, pp.209-231, 2012 (глава от монография).

Резюме: В този труд е предложен полу-експлицитен подход за субоптимално разпределено моделно предсказващо управление на взаимосвързани нелинейни системи с линейно свързани динамики и ограничения, наложени на променливите на състоянието и управляващите въздействия. Предполага се, че на системите въздействат ограничени по амплитуда смущения. Прилага се методът на динамичната дуална декомпозиция и първоначалната централизирана задача за предсказващо управление е представена като разпределена квази-нелинейна задача чрез линеаризация на нелинейните динамични модели на системите около тяхното текущо състояние. Подходът включва разпределено решаване на локалните оптимизационни задачи, свързани с отделните системи, както и обмен на информация за състоянието на свързаните системи. В резултат се получава субоптимално решение за управлението на цялата система. Предложен е полу-

експлицитен подход за по-ефективна реализация в реално време на разпределеното предсказващо управление. Подходът е приложен за разпределеното предсказващо управление на примерна динамична система, състояща се от две нелинейни системи.

- C5. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, chapter “Distributed model predictive control of interconnected nonlinear systems by dynamic dual decomposition”, In: *Distributed Model Predictive Control Made Easy*, Eds. J. M. Maestre and R. R. Negenborn, **Series: Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Engineering**, vol.69, ISBN: 978-94-007-7005-8, Springer-Verlag, pp.293-308, 2014 (глава от книга, която има монографичен характер).

Резюме: В този труд е предложен подход за субоптимално разпределено моделно предсказващо управление на взаимосвързани нелинейни системи с нелинейно свързани динамики. Предполага се, че на променливите на състоянието и управляващите въздействия на системите са наложени ограничения, а влиянията на другите системи върху динамиката на дадена система са разделими (т.е. общото влияние може да се представи чрез сумиране на отделните влияния). За представяне на първоначалната централизирана задача за предсказващо управление като разпределена оптимизационна задача е приложен методът на динамичната дуална декомпозиция. Дадена е структурата на разпределения предсказващ регулатор – той се състои от локални предсказващи регулатори, които решават оптимизационните задачи, свързани със съответните системи, и обменят информация за траекториите на състоянието и Лагранжовите множители за свързаните системи. Разработен е подробен алгоритъм за разпределено моделно предсказващо управление на нелинейни взаимосвързани системи. Той е приложен за разпределено управление на примерна система, състояща се от две взаимосвързани нелинейни подсистеми (те си взаимодействат чрез променливите на състоянието).

- C6. J. Kocijan, **A. Grancharova**, chapter “Application of Gaussian processes to the modeling and control in process engineering”, In: V. E. Balas et al. (eds.), *Innovations in Intelligent Machines-5, Studies in Computational Intelligence 561*, Springer-Verlag, pp.155-190, 2014 (глава от книга, която има монографичен характер).

Резюме: В този труд са разгледани методите за моделиране и управление на сложни динамични системи, основани на Гаусови процеси. Много инженерни системи могат да се определят като сложни, тъй като тяхното поведение е нелинейно и включва стохастична неопределеност. Известно е, че един от най-подходящите методи за моделиране на такива системи се основава на приложението на Гаусовите процеси. Моделирането с използване на Гаусови процеси е подход за вероятно 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. Методите, основани на Гаусови процеси, са приложени при моделирането и управлението на лабораторен сепаратор на газ от течност. Регулируеми променливи са налягането и нивото на течността в сепаратора, а управляващи въздействия – степените на отваряне на вентилите за газовия и за течния поток. На базата на експериментални данни са получени и

сравнени Гаусови модели за предсказване на налягането и нивото на течността, в които се използват различни регресори и различни функции на ковариациите. Моделът с най-добра точност на предсказване е използван за синтез на явен стохастичен предсказващ регулатор за оптимално управление на сепаратора.

- C7. **A. Grancharova**, S. Oлару, chapter “Distributed robust model predictive control of interconnected polytopic systems”, In: S. Oлару, **A. Grancharova**, F. Lobo Pereira (Eds.), *Developments in Model-Based Optimization and Control: Distributed Control and Industrial Applications*, **Lecture Notes in Control and Information Sciences**, Vol. 464, Springer-Verlag, pp.73-91, 2015 (глава от книга, която има монографичен характер).

Резюме: В този труд е разработен нов метод за робастно разпределено моделно предсказващо управление на линейни взаимосвързани динамични системи при наличие на политопна неопределеност в техния модел и спазване на наложените на системите ограничения. Робастността е постигната чрез минимизиране на акумулираната стойност на критерия за оптималност по отношение на краен брой от възможни стойности на неопределените параметри и спазване на наложените ограничения за тази съвкупност от възможни стойности. Чрез предложения метод централизираната задача за робастно моделно предсказващо управление се представя като задача на квадратичното програмиране, която след това се решава по разпределен начин чрез прилагане на метода на динамичната дуална декомпозиция и ускорения дуален градиентен метод. Методът е ефективен от изчислителна гледна точка, тъй като при него целта не е да се получи оптималното решение (свързано с големи изчислителни усилия), а да се получи субоптимално решение (свързано със сравнително малки изчислителни усилия), което чрез въведения критерий на спиране на итерациите да гарантира устойчивостта и желаното качество на управление на затворената система. Освен това, предложеният метод не изисква използването на специализиран софтуер за решаване на оптимизационни задачи, поради което той би бил подходящ за изграждането на вградени системи за предсказващо управление. Методът е приложен за разпределено управление на примерна динамична система, състояща се от две взаимосвързани подсистеми с политопна неопределеност. Резултатите показват, че субоптималните траектории, получени чрез предложения метод за разпределено робастно моделно предсказващо управление спазват всички ограничения, наложени на подсистемите и не се различават съществено от оптималните траектории (получени чрез централизирано решаване на оптимизационната задача).

- C8. M. T. Nguyen, C. Stoica Maniu, S. Oлару, **A. Grancharova**, chapter “Formation reconfiguration using model predictive control techniques for multi-agent dynamical systems”, In: S. Oлару, **A. Grancharova**, F. Lobo Pereira (Eds.), *Developments in Model-Based Optimization and Control: Distributed Control and Industrial Applications*, **Lecture Notes in Control and Information Sciences**, Vol. 464, Springer-Verlag, pp.183-205, 2015 (глава от книга, която има монографичен характер).

Резюме: В този труд е разгледана задачата за запазване на формацията от агенти в дадена хомогенна многоагентна система с цел изпълнение на нейната мисия. В реално време агентите биват изведени до предварително дефинираната формация чрез

подходящо разпределение на задачите между тях и използването на механизма на обратната връзка. Предполага се, че всеки агент може да изпраща информация за себе си (например, положение, скорост) до всички други агенти, както и да получава съответната информация от тях. Една от задачите при управлението на дадена формация е тя да следва предварително определена референтна траектория. Това обикновено се постига чрез формулирането на задача за моделно предсказващо управление. Важен аспект при решаването на тази задача е запазването на стабилността на формацията. Предложен е нов метод, основаващ се на теорията на множествата, за откриване и изолиране на неработещите агенти, както и за интегриране на нови или възстановени агенти, при което реконфигурираната многоагентна система да изпълни поставената цел. Методът е подходящ за управлението на формация от автономни транспортни средства. Той е илюстриран за формация от три хомогенни агента.

- C9. M. Hadjiski, **A. Grancharova**, K. Boshnakov, chapter “Intelligent two-level optimization and model predictive control of degrading plants”, In: V. Sgurev, V. Piuri, V. Jotsov (Eds.), *Learning Systems from Theory to Practice, Series on Computational Intelligence*, Springer, Heidelberg, 2018, in press (глава от книга, която има монографичен характер).

Резюме: В този труд е предложена структура на интелигентна система за управление и оптимизация на обекти с деградиращо във времето техническо състояние. Тя включва модел на „бързата“ динамика на обекта (описващ преходните процеси) и модел на „бавната“ динамика на обекта (изменение на неговото техническо състояние вследствие на износване), както и използване на метода за изграждане на системи за прилагане на разсъждения, основани на прецеденти. В частност е разгледана задачата за оптимизация на действието на Peirce-Smith конвертор, който е типичен пример за обект с деградиращо във времето техническо състояние. Експлоатационният живот на един конвертор продължава между два и три месеца, като през този период се извършват приблизително 30 серии от 10 плавки (продължителността на една плавка е от 6,5 до 8,5 часа). От гледна точка на техническото поддържане, най-проблемната зона на конверторите е фурменият ред. В тази област зидарията се износва с най-голяма скорост. С цел намаляване на скоростта на износване на фурмите и удължаване на експлоатационния живот на конвертора се прилага практиката на изкуствено запущване на определен брой фурми в рамките на една серия. Описано е как методът за прилагане на разсъждения, основани на прецеденти, може да се приложи за поддържане на техническото състояние на конвертора. Определен е също оптималният във времето профил на броя на запущените фурми на конвертора чрез формулиране и решаване на задача на моделното предсказващо управление (сведена до задача на целочисленото квадратично програмиране).

- C10. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, “Computation, approximation and stability of explicit feedback min-max nonlinear model predictive control”, *Automatica*, vol.45, No.5, pp.1134-1143, 2009.
(Impact factor for year 2009: **2.631**)

Резюме: В статията е разработен метод за синтез на явен 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 мулти-параметричното нелинейно програмиране. Разработен е метод за решаване на тази задача, при който суб-оптималната функция на управление се получава в явен вид като по части нелинейна функция на състоянието, дефинирана върху 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. Изведени са условията, които гарантират робастната устойчивост на системата за управление. Синтезиран е минимаксен моделно предсказващ регулатор за примерна динамична система, върху която въздейства ограничено по амплитуда смущение.

C11. A. Krastev, **A. Grancharova**, B. Rossnev, “Estimation of ozone induced leaves injuries from picture images”, *Proceedings of BAS*, ISSN: 1310-1331, vol.64, No.7, pp.1027-1034, 2011.

(Impact factor for year 2011: **0.210**)

Резюме: Известно е, че тропосферният озон е широко разпространен замърсител на въздуха със силно изразен фитотоксичен ефект върху горскодървесните растения. Научните изследвания за този ефект са насочени към селектиране на устойчиви към озон генотипове, които да се използват в горскостопанската и озеленителната практика. В статията са разработени компютърни програми за цветово класифициране на симптомите и оценка на размера на уврежданията на листата на различни горскодървесни видове, причинени от озон. Програмите са приложени за оценка на чувствителността на дребнолистната липа и обикновения бук към замърсяването на въздуха с озон. За целта са анализирани снимковите изображения на увредените листа. Резултатите показват, че и двата горскодървесни вида имат висока чувствителност към озона.

C12. D. Petelin, **A. Grancharova**, J. Kocijan, “Evolving Gaussian process models for prediction of ozone concentration in the air”, *Simulation Modelling Practice and Theory (Special issue EUROSIM 2010)*, ISSN: 1569-190X, vol.33, pp.68-80, 2013.

(Impact factor for year 2012: **1.159**)

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. Показател за това е по-голямата дисперсия около предсказаното математическо очакване. Гаусовите модели са получени off-line като са използвани данни от автоматичните измервателни станции за часовите измервания на концентрациите на озон, азотен диоксид, серен диоксид, фенол и бензен, както и на метеорологичните параметри в центъра на гр. Бургас. Като алтернатива на използването на off-line модели 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 и метеорологичните параметри. Качеството на предсказване на Гаусовите модели е оценено чрез изчисляване на средноквадратичната грешка на предсказване и на логаритмичната плътност на грешката.

C13. I. Madjarov, J. Kocijan, **A. Grancharova**, B. Shishedjiev, “Towards a service-based framework for environmental data processing”, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, ISSN: 2158-107X, vol.5, No.4, pp.44-51, 2014.

Резюме: Създаването и обмена на научна и екологична информация драстично увеличава количеството на данните, които могат да бъдат обработвани, но също така и възможностите за тяхното тълкуване. Тези данни често са представени по начин, при който почти не могат да се обслужват от традиционните системи за управление на бази от данни, поради тяхната хетерогенност и специфични характеристики. В статията е предложена структура на Workflow научен процес за обработване на голям обем от данни за параметрите на околната среда (например концентрациите на атмосферните замърсители) и за получаването на стохастични модели за предсказване на техните стойности. В структурата се използват семантични езици, модели и методи за достъп, съхраняване и използване на данни за околната среда като се използват преимуществено уеб интерфейси и услуги. В предложения Workflow научен процес се решават следните основни задачи: 1) Управление на данните - то се основава на платформата Cloud-XaaS (Anything-as-a-Service) с акцент върху семантичното структуриране на XML данни с цел тяхната интеграция от хетерогенни източници. 2) Съхранение на данните – използва се многослоен модел с автоматично индексване на данните, като се вземат предвид съществуващите услуги, предоставяни от Cloud-базираните платформи. 3) Разпространение на данните за околната среда – това включва цифрова визуализация на данните от измерванията за околната среда чрез трансформиране на формата на данните за Web-базирани презентации под формата на таблици и/или векторни графики. 4) Моделиране на данните за околната среда – интегриране на модели, основани на Гаусовите процеси (например за предсказване на концентрациите на озон, серен диоксид и азотен диоксид в атмосферата). 5) Описание на мета-данните за околната среда. 6) Интегриране на данните.

C14. **A. Grancharova**, E. I. Grøtli, D. T. Ho, T. A. Johansen, “UAVs trajectory planning by distributed MPC under radio communication path loss constraints”, *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol.79, pp.115-134, DOI 10.1007/s10846-014-0090-1, 2015.

(Impact factor for year 2014: **1.178**)

Резюме: В статията е разработен подход за разпределено моделно предсказващо управление при планиране на траекториите на група от безпилотни хеликоптери (rotary-wing UAVs), чиято цел е да формират комуникационна мрежа със зададени радио-комуникационни възможности за предаване на сигнал от дадена базова станция до множество от цели. В задачата за предсказващо управление по явен начин са включени ограничения, наложени на загубите на радио-комуникационни връзки, изчислени с помощта на софтуерния продукт SPLAT!. Този продукт дава възможност да бъде отчетен както релефът на местността (чрез подходящ модел), така и разположението на антените. За да се намалят изчислителните усилия, свързани с решаването в реално време на оптимизационната задача, височината на терена под всеки от безпилотните хеликоптери и загубите на радио-комуникационни връзки във всеки дискретен момент се апроксимират с линейни функции на пространствените координати. Това води до локални задачи на линейното моделно предсказващо управление за съответните UAVs, които могат да бъдат решени ефективно чрез методите на квадратичното програмиране. Разработен е алгоритъм за автоматично инициализиране и оптимално реконфигуриране на топологията на комуникационната мрежа в случай на повреда на някой от безпилотните хеликоптери или в случай на съществена загуба на комуникация. Предложеният подход за разпределено линейно моделно предсказващо управление и разработеният алгоритъм за автоматично реконфигуриране на мрежата от UAVs са изследвани симулационно чрез разглеждането на два сценария, включващи четири UAVs, една базова станция и две цели.

- C15. M. Stepančič, A. Grancharova, J. Kocijan, “Adaptive MPC based on probabilistic black-box input-output model”, *Proceedings of BAS*, ISSN: 1310-1331, vol.68, No.6, pp.767-774, 2015.
(Impact factor for year 2014: **0.284**)

Резюме: В статията е предложен нов алгоритъм за адаптивно моделно предсказващо управление на устойчиви нелинейни динамични системи. Предполага се, че динамиката на системата е описана с модел, основан на Гаусовите процеси. Моделирането с използване на Гаусови процеси е подход за вероятно непараметрично моделиране от типа „черна кутия“ на нелинейни стохастични системи. Използван е подход за адаптация на Гаусовия модел на базата на текуща информация за променливите на динамичната система. По такъв начин е реализиран самонастройващ се моделно предсказващ регулатор. Предложеният подход за адаптивно предсказващо управление е илюстриран чрез симулационни изследвания на базата на Гаусов регресионен модел на динамиката на биореактор за анаеробно третиране на отпадни води.

- C16. A. Grancharova, S. Olaru, “An approach to distributed min-max model predictive control of linear systems with parametric uncertainty”, *Information Technologies and Control (The Journal of Institute of Information and Communication Technologies of Bulgarian Academy of Sciences)*, ISSN:1312-2622, vol.13, No.1-2, pp.2-9, 2015.

Резюме: В статията са предложени метод и алгоритъм за разпределено минимаксно моделно предсказващо управление на взаимосвързани линейни системи с политопна неопределеност и наложени ограничения на променливите на състоянието и

управляващите въздействия. Оптимизацията се извършва по отношение на параметрите на функциите на управление в рамките на хоризонта на предсказване (минимаксно управление в затворен контур). Първоначалната централизирана задача за минимаксно предсказващо управление е трансформирана в разпределена оптимизационна задача чрез използване на метода на динамичната дуална декомпозиция. Изследвано е действието на разработения метод чрез провеждане на симулационен експеримент за динамична система, състояща се от две линейни взаимосвързани подсистеми с политопна неопределеност. Резултатите показват, че субоптималните траектории, получени чрез предложения метод, спазват всички ограничения, наложени на подсистемите.

C17. N. Abdulazim, H. Pu, H. A. Nour Eldin, **A. Grancharova**, J. Zaprianov, "Planar robot gymnastics for parameter identification", *Preprints of 9-th IFAC Symposium on Information Control in Manufacturing*, Nancy-Metz, France, 24-26 June, 1998, vol.2, pp.363-368.

Резюме: В статията е предложен нов метод за оценяване на параметрите на роботи от вида $R||R$ и $R\perp R$. Чрез избор на подходящи движения ("гимнастики") и групиране на физическите параметри на роботите 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. Чрез прилагането на разработения метод могат да се оценят по-голям брой от физическите параметри на роботите в сравнение с методите, известни в литературата.

C18. **A. Grancharova**, J. Zaprianov, "Decision support system for rating control alternatives", *Proceedings of 16-th IMACS World Congress on Scientific Computation, Applied Mathematics and Simulation*, Lausanne, Switzerland, 21-25 August, 2000.

Резюме: В статията е предложена структура на система за подпомагане на процеса на вземане на решение при избор на най-добра алтернатива на система за автоматично управление (САУ). Тя включва следните модули: 1) Потребителски интерфейс - той позволява на потребителя да дефинира конкретния проблем за синтез на САУ и като резултат от процеса на вземане на решение представя на потребителя най-добрата алтернатива на САУ от множеството възможни алтернативи; 2) Симулационен модел на обекта за управление, дефиниране на критериите за оптималност и на ограниченията; 3) Модул за симулация на действието на САУ и изчисляване на критериите за качество; 4) База знания - съдържа описанието на различни методи и алгоритми за синтез на САУ и техните софтуерни реализации; 5) Модул за вземане на решение - той представлява реализация на даден подход за вземане на решение, чрез който се определя най-добрата алтернатива на САУ от множеството налични алтернативи. Разработена е компютърна програма (ConSysDSS) на система за вземане на решение при синтез на САУ, която е реализирана на Visual C++. Компютърната програма ConSysDSS е приложена за вземане на решение при избор на най-добра алтернатива за управление

на химически реактор за производство на метил-третичен-бутил етер от изо-бутен и метанол.

C19. **A. Grancharova**, "General strategy for decision support in integrated process synthesis, design and control", *Proceedings of 11-th European Symposium on Computer Aided Process Engineering*, Kolding, Denmark, 27-30 May, 2001, pp.1003-1008.

Резюме: В статията е предложена стратегия за вземане на решение при едновременен синтез на технологичен процес и на системата му за автоматично управление. Решава се следният проблем: При зададени характеристики на входящите и изходящите потоци на технологичния процес, да се определи най-добрата комбинация от технологична схема на процеса, параметри на оперативния режим и система за автоматично управление, така че да се оптимизират множество от критерии. Предложената стратегия решава този проблем посредством сравнение между различни алтернативни решения чрез използване на размити отношения на предпочитание. Стратегията включва следните 4 етапа: 1) Определяне на множество от алтернативи за технологична схема на процеса. 2) За всяка алтернатива, получена в етап 1, се определят оптималните параметри на технологичния процес. За тази цел се решава многокритериална оптимизационна задача. В резултат се получава множеството от алтернативни решения за технологична схема на процеса и съответен оптимален оперативен режим. 3) За всяка алтернативно решение, определено в етап 2, се определя множество от възможни алтернативи на система за автоматично управление на процеса. Тези алтернативи включват избор на управляващи въздействия и регулируеми величини и избор на закон за управление. 4) Определяне на най-добрата комбинация от технологична схема на процеса, параметри на оперативния режим и система за автоматично управление.

C20. **A. Grancharova**, J. Kocijan, T. A. Johansen, "Explicit stochastic nonlinear predictive control based on Gaussian process models", *Proceedings of the European Control Conference*, Kos, Greece, 2-5 July, 2007, pp.2340-2347.

Резюме: В статията е разработен метод за синтез на явни предсказващи регулатори за стохастични системи, чиято динамика се описва със стохастичен нелинеен регресионен модел. Моделът представлява Гаусов процес, с който могат да се предскажат математическите очаквания и дисперсиите на променливите на състоянието в бъдещ момент от време на базата на данни за управляващите въздействия и променливите на състоянието в настоящия и в предходни моменти от време. Идентификацията на Гаусовия модел се състои в оценяване на параметрите на функцията на ковариациите. Формулирана е задачата на стохастичното предсказващо управление, основано на Гаусов модел, където целта е да се следва определено задание. Оптимизацията се извършва по отношение на стойностите на управляващите въздействия в дискретните моменти от хоризонта на предсказване. Показано е как задачата за предсказващо управление на базата на Гаусов модел може да се трансформира в задача на мулти-параметричното нелинейно програмиране и е предложен подход за нейното приблизително решаване. Приблизителното решение представлява по части линейна функция, дефинирана върху ортогонално разделяне на пространството на състоянието. Подходът е приложен за синтез на явен

стохастичен предсказващ регулатор за управление на примерна нелинейна стохастична система.

- C21. **A. Grancharova**, J. Kocijan, “Stochastic predictive control of a thermoelectric power plant”, *Proceedings of the International Conference on Automatics and Informatics*, Sofia, Bulgaria, 3-6 October, 2007, vol. II, pp.I-13-I-16.

Резюме: В статията е формулирана задачата за стохастично предсказващо управление на процеса на горене в парен генератор от типа РК 401, където целта е концентрацията на кислород в димните газове да бъде изведена по оптимален начин до новата стойност, съответстваща на промененото натоварване на генератора. За описание на динамиката на генератора е получен стохастичен нелинеен регресионен модел, който представлява Гаусов процес. Оптимизационната задача се състои в минимизирането на функционал, който включва сумарната грешка от следване на заданието и сумарната промяна в стойностите на управляващите въздействия. Оптималните стойности на управляващите въздействия във всеки дискретен момент от време се определят чрез оптимизация в реално време.

- C22. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, “Approaches to explicit nonlinear model predictive control with reduced partition complexity”, *Proceedings of European Control Conference*, Budapest, Hungary, 23-26 August, 2009, pp.2414-2419.

Резюме: Решаването на задачите на мулти-параметричното нелинейно програмиране (mp-NLP) за дадена област от пространството на параметрите е свързано със значителни изчислителни усилия. Тези задачи са свързани със синтеза на явни моделно предсказващи регулатори за нелинейни системи с ограничения. Въпреки, че изчисленията се извършват off-line, редица разработки са насочени към тяхното намаляване. В статията са предложени няколко подхода за редуциране на изчисленията при получаването на приблизително решение на mp-NLP задачи, дефинирано върху ортогонално разделяне на пространството на параметрите, както и за намаляване на сложността на това разделяне. Тези подходи включват въвеждането на минимално допустими размери на правоъгълните области от структурирането на пространството, последваща обработка на разделянето и обединяване на областите, в които изчисленията закони на управление в първия момент от хоризонта на предсказване са еднакви, параметризиране на траекторията на управление в рамките на хоризонта с цел намаляване на променливите за оптимизация, проектиране на грешката от следване на заданието. Подходите са илюстрирани чрез две симулационни задачи.

- C23. **A. Grancharova**, D. Nedialkov, J. Kocijan, H. Hristova, A. Krastev, “Application of Gaussian processes to the prediction of ozone concentration in the air of Bourgas”, *Proceedings of International Conference on Automatics and Informatics*, Sofia, Bulgaria, October, 2009, pp.IV-17-IV-20.

Резюме: В статията са получени шест модела, основани на Гаусовите процеси, за предсказване с един час напред на концентрацията на озон във въздуха в центъра на гр. Бургас. Гаусовите модели са получени off-line като са използвани данни от

автоматичните измервателни станции за часовите измервания на концентрациите на озон, азотен диоксид, серен диоксид, фенол и бензен за 2008 г. Обучаващите данни включват измервания от 9:00h до 16:00h за всеки пети ден от годината (2008). Причината да се използват данните в този интервал е силно изразеният дневен цикъл на изменение на концентрацията на озон. Целта е да се получи достатъчно точно предсказване на концентрацията на озон във въздуха в интервала от 9:00h до 16:00h, когато има риск тя да превиши установените допустими прагове. Валидиращите данни включват измервания от 01:00h до 23:00h за всички дни от годината (2008). Качеството на предсказване на Гаусовите модели е оценено чрез изчисляване на средноквадратичната грешка на предсказване и на логаритмичната плътност на грешката.

C24. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, "A computational approach to explicit feedback stochastic nonlinear model predictive control", *Proceedings of the 49-th IEEE Conference on Decision and Control*, ISSN: 0191-2216, Atlanta, USA, 15-17 December, 2010, pp.6083-6088.

Резюме: В тази статия е предложен подход за синтез на явни предсказващи регулатори за нелинейни дискретни системи, чиито модел в пространството на състоянието има стохастични параметри с известно разпределение на вероятностите. Формулирана е задачата за стохастично моделно предсказващо управление и е предложен подход за нейното явно приблизително решаване. Подходът се състои в получаването на по части нелинейна апроксимация на оптималната последователност от функции на управление в рамките на хоризонта на предсказване. Той е приложен за синтез на явен стохастичен предсказващ регулатор за примерна динамична система.

C25. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, "Distributed quasi-nonlinear model predictive control by dual decomposition", *Proceedings of the 18-th IFAC World Congress*, Milano, Italy, 28 August - 2 September, 2011, pp.1429-1434.

Резюме: В тази статия е разработен подход за субоптимално разпределено моделно предсказващо управление на взаимосвързани нелинейни системи с линейно свързани динамики и ограничения, наложени на променливите на състоянието и управляващите въздействия. Предполага се, че на системите въздействат ограничени по амплитуда смущения. Прилага се методът на динамичната дуална декомпозиция и първоначалната централизирана задача за предсказващо управление е представена като разпределена квази-нелинейна задача чрез линеаризация на нелинейните динамични модели на системите около тяхното текущо състояние. Подходът включва разпределено решаване на локалните оптимизационни задачи, свързани с отделните системи, както и обмен на информация за състоянието на свързаните системи. В резултат се получава субоптимално решение за управлението на цялата система. Разработен е алгоритъм за приложение на подхода в реално време. Методът е приложен за разпределено моделно предсказващо управление на примерна нелинейна система, състоящи се от две нелинейни взаимосвързани подсистеми.

- C26. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, “Suboptimality analysis of distributed quasi-nonlinear model predictive control”, *Proceedings of the 4-th IFAC Conference on Nonlinear Model Predictive Control 2012 (NMPC’12)*, Noordwijkerhout, Netherlands, 23-27 August, 2012, pp.522-528.

Резюме: В този труд е предложен подход за субоптимално разпределено моделно предсказващо управление на взаимосвързани нелинейни системи с нелинейно свързани динамики. Предполага се, че на променливите на състоянието и управляващите въздействия на системите са наложени ограничения, а влиянията на другите системи върху динамиката на дадена система са разделими (т.е. общото влияние може да се представи чрез сумиране на отделните влияния). Представянето на първоначалната централизирана задача за предсказващо управление като разпределена оптимизационна задача се основава на метода на динамичната дуална декомпозиция и линеаризиране на динамиката на нелинейните подсистеми. Изведена е оценка на степенята на субоптималност на разпределеното квази-нелинейно МПУ в затворен контур с управляваната нелинейна система.

- C27. **A. Grancharova**, E. I. Grøtli, T. A. Johansen, “Distributed path planning for a UAV communication chain by dual decomposition”, *Proceedings of the 2-nd IFAC Workshop on Multivehicle Systems*, Espoo, Finland, 3-4 October 2012.

Резюме: В статията е предложен метод за определяне на оптималните траектории на група от безпилотни летателни апарати (UAVs), 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 UAVs са безопасни по отношение на избягване на сблъсък между тях, както и сблъсък със земята, ефективни са от гледна точка на разхода на гориво и удовлетворяват критериите за комуникация (целта е UAVs да формират комуникационна верига със зададен капацитет). Известно е, че отделните безпилотни апарати имат несвързани динамики. Свързаността в задачата за оптимално планиране на техните траектории се проявява в наложените им ограничения за избягване на сблъсък и в ограниченията на загубите на радио комуникация между тях. За разлика от разпределения подход в публикация C14, където се предполага, че в рамките на хоризонта на предсказване UAVs не променят своето положение, тук такова предположение не се прави. Първоначалната централизирана задача за моделно предсказващо управление е формулирана като задача за разпределено управление чрез прилагане на подхода на динамичната дуална декомпозиция. Разработеният подход е илюстриран чрез симулационен сценарий, при който два безпилотни летателни апарата формират комуникационна връзка между базова станция и подвижна цел. Резултатите, получени при разпределеното моделно предсказващо управление са сравнени с тези, съответстващи на централизирания подход.

- C28. А. Кръстев, **А. Грънчарова**, Б. Роснев, К. Велинова, “Оценка на чувствителността на някои широколистни горскодървесни видове към озон”, *Proceedings of the International Conference on Automatics and Informatics*, ISSN: 1313-1869, Sofia, Bulgaria, 3-5 October, 2012, pp.278-281.

Резюме: В статията е изследвана експериментално чувствителността на няколко широколистни горскодървесни видове (дребнолистна липа, обикновен бук и червен дъб) към високи концентрации на озон във въздуха. За тази цел е извършено изкуствено озониране в камера на клони на дървета от съответните видове, растящи в природни условия. С помощта на компютърна програма е анализирано цифровото изображение на листата на озонираните клони и е оценена степеня на тяхното увреждане. Изследвано е също съдържанието на хлорофил и каротеноиди в озонираните листа. На базата на тези изследвания е установено, че дребнолистната липа е много по-чувствителна към високото съдържание на озон във въздуха в сравнение с обикновения бук и червения дъб.

C29. А. Кръстев, А. Грънчарова, Б. Роснев, "Оценка на увреждания причинени от озон по листа на обикновен явор (*Acer pseudoplatanus* L.)", *Proceedings of the International Conference on Automatics and Informatics*, ISSN: 1313-1869, Sofia, Bulgaria, 3-5 October, 2012, pp.282-285.

Резюме: В статията е конструирана мобилна универсална смесителна камера озон-въздух, която може да се използва за изкуствено озониране на фиданки на различни горскодървесни видове с цел изследване на тяхната чувствителност към озон. Тази камера е използвана за озониране на фиданки на обикновен явор. Количествената оценка на уврежданията, причинени от озона, показват, че обикновеният явор има висока чувствителност към този атмосферен замърсител.

C30. А. Grancharova, E. I. Grötli, T. A. Johansen, "Rotary-wing UAVs trajectory planning by distributed linear MPC with reconfigurable communication network topologies", *Proceedings of the 4-th IFAC Workshop on Distributed Estimation and Control in Networked Systems*, ISBN: 978-3-902823-55-7, Rhine-Moselle-Hall, Koblenz, Germany, 25-26 September, 2013, pp. 198-205.

Резюме: В статията е разработен подход за разпределено моделно предсказващо управление при планиране на траекториите на група от безпилотни хеликоптери (rotary-wing UAVs), чиято цел е да формират комуникационна мрежа със зададени радио-комуникационни възможности за предаване на сигнал от дадена базова станция до множество от цели. За да се намалят изчислителните усилия, свързани с решаването в реално време на оптимизационната задача, височината на терена под всеки от безпилотните хеликоптери и загубите на радио-комуникационни връзки във всеки дискретен момент се апроксимират с линейни функции на пространствените координати. Това води до локални задачи на линейното моделно предсказващо управление за съответните UAVs, които могат да бъдат решени ефективно чрез методите на квадратичното програмиране. Предполага се, че безпилотните хеликоптери предават помежду си координатите на своето текущо положение. Предложен е подход за реконфигуриране на топологията на комуникационната мрежа в случай на повреда на някой от безпилотните хеликоптери или в случай на съществена загуба на комуникация. Предложеният подход е изследван симулационно чрез разглеждането на комуникационна мрежа, включваща четири UAVs, една базова станция и две цели.

- C31. **A. Grancharova**, S. Olaru, "An approach to distributed robust model predictive control of discrete-time polytopic systems", *Proceedings of the 19-th IFAC World Congress*, Cape Town, South Africa, 24-29 August, 2014, pp.2576-2581.

Резюме: В тази статия е разработен нов метод за робастно разпределено моделно предсказващо управление на линейни взаимосвързани динамични системи при наличие на политопна неопределеност в техния модел и спазване на наложените на системите ограничения. Робастността е постигната чрез решаване на минимаксна задача, т.е. минимизиране на максималната стойност на критерия за оптималност по отношение на краен брой от възможни стойности на неопределените параметри и спазване на наложените ограничения за тази съвкупност от възможни стойности. Първоначалната централизирана задача за робастно моделно предсказващо управление е представена като разпределена оптимизационна задача чрез прилагане на метода на динамичната дуална декомпозиция и ускорения дуален градиентен метод. Доказано е, че централизираната минимаксна оптимизационна задача и дуалната разпределена оптимизационна задача са еквивалентни. Предложен е алгоритъм за оценка на константата на Липшиц на градиента на дуалната целева функция и алгоритъм за разпределено робастно моделно предсказващо управление. Разработените алгоритми са приложени за разпределено управление на примерна динамична система, състояща се от две взаимосвързани подсистеми с политопна неопределеност. Резултатите показват, че субоптималните траектории, получени чрез предложения метод за разпределено робастно моделно предсказващо управление спазват всички ограничения, наложени на подсистемите и не се различават съществено от траекториите, получени чрез централизирано решаване на оптимизационната задача.

- C32. **A. Grancharova**, S. Olaru, "Explicit interpolation-based nonlinear model predictive control with a convex approximation of the feasible set", *Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Control Applications (CCA), Part of the 2014 IEEE Multi-conference on Systems and Control*, ISBN: 978-1-4799-7408-5, Antibes, France, 8-10 October, 2014, pp.1824-1830.

Резюме: В статията е разработен нов метод за синтез на явни моделно предсказващи регулатори за нелинейни динамични системи, който се основава на подхода за интерполация между оптималното управление във върховете на осъществимата област и локалното стабилизиращо управление в дадена малка област около началото на пространството на състоянието. Тъй като за нелинейните системи точната осъществима област на моделното предсказващо управление не може да се получи, в статията е предложена изчислителна процедура за определяне на приблизителна изпъкнала (полихедрална) осъществима област. Предложен е също алгоритъм за синтез на явен моделно предсказващ регулатор чрез използване на метода на интерполацията. Това е свързано със значително намаляване на обема от off-line изчисления, както и на сложността на явното решение, дефинирано върху симплексно разделяне на приблизителната осъществима област. Разработеният метод е илюстриран чрез синтез на явен моделно предсказващ регулатор за примерна нелинейна динамична система.

- C33. I. Madjarov, **A. Grancharova**, “A concept for service-based workflow for scientific data processing and prediction of environmental parameters”, *Proceedings of the International Conference on Automatics and Informatics*, ISSN: 1313-1869, Sofia, Bulgaria, 1-3 October, 2014, pp.I-145-I-148.

Резюме: Създаването и обмена на научна и екологична информация драстично увеличава количеството на данните, които могат да бъдат обработвани, но също така и възможностите за тяхното тълкуване. Тези данни често са представени по начин, при който почти не могат да се обслужват от традиционните системи за управление на бази от данни, поради тяхната хетерогенност и специфични характеристики. В статията е предложена структура на Workflow научен процес за обработване на голям обем от данни за параметрите на околната среда и за получаването на стохастични модели за предсказване на техните стойности. В структурата се използват семантични езици, модели и методи за достъп, съхраняване и използване на данни за околната среда като се използват преимуществено уеб интерфейси и услуги.

- C34. M. T. Nguyen, C. Stoica Maniu, S. Olaru, **A. Grancharova**, “Fault tolerant predictive control for multi-agent dynamical systems: Formation reconfiguration using set-theoretic approach”, *Proceedings of the International Conference on Control, Decision and Information Technologies 2014 (CoDIT'14)*, Metz, France, 3-5 November, 2014.

Резюме: В статията е разгледан въпросът за разпределение на задачите в една мулти-агентна система, съставена от хомогенни динамични агенти. Позицията, която трябва да има всеки агент в системата е определена предварително чрез зададените разстояния между агентите. За оптималното управление на мулти-агентната система е приложен подходът на моделното предсказващо управление, като са разработени процедури за откриване на неспособността на даден агент да изпълни поставената задача, неговото последващо изолиране от системата и преразпределение на задачите между нормално функциониращите агенти.

- C35. **A. Грънчарова**, “Разпределено минимаксно моделно предсказващо управление на линейни системи с параметрична неопределеност”, *Proceedings of the International Conference on Automatics and Informatics*, ISSN: 1313-1869, Sofia, Bulgaria, 4-7 October, 2015, pp.31-34.

Резюме: В статията е разгледана задачата за гарантиране на робастността на разпределеното моделно предсказващо управление на взаимосвързани линейни системи с политопна неопределеност. Робастността е постигната чрез формулирането на задача за минимаксно предсказващо управление, в която се оптимизира „най-лошата“ по отношение на неопределените параметри стойност на критерия за оптималност. Освен това се изисква ограниченията, наложени на променливите на състоянието да бъдат спазени за различни стойности на неопределените параметри в областите на тяхното вариране. За да се избегне консервативността на минимаксия подход, във всеки дискретен момент от време оптимизацията се извършва по отношение на параметрите на предварително зададени функции на управление в рамките на

хоризонта на предсказване (минимаксно управление в затворен контур). Изследвано е действието на разработения метод чрез провеждане на симулационен експеримент за динамична система, състояща се от две линейни взаимосвързани подсистеми с политопна неопределеност. Резултатите показват, че субоптималните траектории, получени чрез предложения метод, спазват всички ограничения, наложени на подсистемите.

C36. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, V. Petrova, “Distributed nonlinear model predictive control by sequential linearization and accelerated gradient method”, ***Proceedings of the 11-th IFAC Symposium on Dynamics and Control of Process Systems, including Biosystems (DYCOPS-CAB)***, Trondheim, Norway, 6-8 June, 2016, pp.597-602.

Резюме: В тази статия е предложен нов подход за субоптимално разпределено моделно предсказващо управление на взаимосвързани нелинейни системи с нелинейно свързани динамики и с наложени ограничения на променливите на състоянието и управляващите въздействия. Подходът е по-общ от този в публикация C5, тъй като тук не се поставя изискването влиянията на другите системи върху динамиката на дадена система да са разделими. Разработеният подход е итеративен и включва последователно линеаризиране на динамиката на цялата система, представяне на резултатната задача за линейно моделно предсказващо управление като задача на квадратичното програмиране, на която по разпределен начин се намира субоптимално решение чрез прилагане на метода на динамичната дуална декомпозиция и ускорения дуален градиентен метод. Предложеният метод е ефективен от изчислителна гледна точка, тъй като при него се получава субоптимално решение, свързано със сравнително малки изчислителни усилия. Разработен е подробен алгоритъм за разпределено моделно предсказващо управление на нелинейни взаимосвързани динамични системи. Действието на алгоритъма е изследвано чрез провеждане на симулационен експеримент за нелинейна динамична система, състояща се от четири резервоара. Резултатите показват, че субоптималните траектории, получени чрез предложения метод, спазват ограниченията, наложени на системата и степента им на субоптималност е приемлива.

C37. M. Hadjiski, **A. Grancharova**, V. Petrova, K. Boshnakov, “An intelligent model predictive control-based strategy for plantwide optimization of degrading plants”, ***Proceedings of the 8-th IEEE International Conference on Intelligent Systems***, Sofia, Bulgaria, 4-6 September, 2016, pp.388-393.

Резюме: В тази статия е предложен подход за интелигентно моделно предсказващо управление на обекти с деградиращо във времето техническо състояние. Той включва използването на модел на „бързата“ динамика на обекта (описващ преходните процеси) и модел на „бавната“ динамика (изменение на техническото състояние вследствие на износване). В частност е разгледана задачата за оптимизация на действието на Peirce-Smith конвертор. С цел намаляване на скоростта на износване на фурмите и удължаване на експлоатационния живот на конвертора се прилага практиката на изкуствено запушване на определен брой фурми в рамките на една серия. Определен е оптималният във времето профил на броя на запушените фурми на конвертора чрез формулиране и решаване на задача на моделното предсказващо управление (сведена до задача на целочисленото квадратично програмиране).

- C38. Е. Шалганов, Н. Мандев, В. Петрова, **А. Грънчарова**, „Синтез на явен моделно предсказващ регулатор за поддържане на температурата в резервоар”, *Proceedings of the International Conference on Automatics and Informatics*, Sofia, Bulgaria, 4-5 October, 2016, pp.201-204.

Резюме: В тази статия е синтезиран явен моделно предсказващ регулатор за поддържане на температурата на водата в лабораторен резервоар чрез използване на неговия аналитичен математичен модел. Променливи на състоянието са отклонението на температурата в резервоара от зададената стойност и интегралът на това отклонение. Управляващо въздействие е отклонението на топлинната мощност (генерирана от електрическия нагревател в резервоара) от стойността ѝ в установен режим. Явният моделно предсказващ регулатор е непрекъсната, по части линейна функция на състоянието, дефинирана върху полихедрално разделяне на пространството на състоянието. Той е синтезиран с помощта на тулбокс за решаване на задачи на мулти-параметричното квадратично програмиране. Качеството на управление на синтезирания явен предсказващ регулатор е изследвано с помощта на компютърни симулации.

- C39. **A. Grancharova**, S. Olaru, “Low complexity distributed model predictive control by using contractive sets”, *Proceedings of the 20-th IFAC Worlds Congress*, Toulouse, France, 9-14 July, 2017, pp.13706-13711.

Резюме: В тази статия е разработен нов метод за разпределено моделно предсказващо управление на линейни взаимосвързани динамични системи. Той се основава на прилагане на метода на динамичната дуална декомпозиция и включване на ограничение, представляващо свиващо се множество. Известно е, че за гарантиране на устойчивостта на разпределеното предсказващо управление е необходимо да се използва достатъчно голям хоризонт на предсказване. Идеята на предложения подход е, че ако в задачата за предсказващо управление се включи ограничение по състоянието на системата, представляващо свиващо се множество, това едновременно би гарантирало устойчивостта на затворената система и би намалило значително изчислителната сложност на разпределеното предсказващо управление. По такъв начин би могъл да се използва значително по-малък хоризонтът на предсказване (той би могъл да бъде дори равен на 1). Ефективността на разработения подход за разпределено предсказващо управление е изследвана чрез провеждане на симулационен експеримент за примерна линейна динамична система, състояща се от две подсистеми. Получените резултати показват, че използването на теорията на свиващите се множества води до съществено намаляване на изчислителната сложност в реално време на разпределеното предсказващо управление, както и намаляване на необходимата памет за неговата реализация. Поради това предложеният подход би бил подходящ за изграждането на вградени системи за разпределено предсказващо управление.

- C40. M. Hadjiski, N. Deliiski, **A. Grancharova**, ”Application of neural networks to the optimization of the thermal treatment process of wood materials”, *Материали от 25-тия международен симпозиум “Управление на енергийни, индустриални и екологични системи”*, 11-12 май, гр. Баня, 2017, стр.65-68.

Резюме: В тази статия е разработен метод за определяне на оптималните условия на процеса на термична обработка на дървесни материали, който има минимална изчислителна сложност в реално време. За тази цел е извършена апроксимация на оптималните условия чрез използване на апарата на изкуствените невронни мрежи. Методът е приложен за оптимизация на процеса на нагряване на букови материали.

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

1. Разработени 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 [C4, C5, C7, C14, C16, C25, C26, C27, C30, C31, C35, C36, C39]. Методите в [C7, C14, C16, C27, C30, C31, C35, C39] се отнасят за *линейни* взаимосвързани системи както в отсъствие на неопределеност в техния динамичен модел [C14, C27, C30, C39], така и при наличие на политопна неопределеност [C7, C16, C31, C35]. От своя страна, по-голямата част от тези подходи ([C7, C16, C27, C31, C35, C39]) прилагат метода на динамичната дуална декомпозиция за трансформиране на централизираната задача за *линейно* моделно предсказващо управление в разпределена задача на квадратичното програмиране. При метода, описан в [C39], в задачата за предсказващо управление се включва ограничение по състоянието на системата, представляващо свиващо се множество, което намалява значително изчислителната сложност на разпределеното предсказващо управление и едновременно с това гарантира устойчивостта на затворената система. Методите в [C4, C5, C25, C26, C36] решават задачата за разпределено моделно предсказващо управление на *нелинейни* взаимосвързани системи. Разгледани са различни случаи на свързаност на динамиките на *нелинейните* системи. Тези методи включват последователно линеаризиране на динамиката на цялата система около нейното текущо състояние, представяне на резултантната задача за линейно моделно предсказващо управление като задача на квадратичното програмиране, на която по разпределен начин се намира субоптимално решение чрез прилагане на метода на динамичната дуална декомпозиция и ускорения дуален градиентен метод. Предложените методи за разпределено предсказващо управление са реализирани програмно в симулационната среда MATLAB и са приложени за разпределено управление на група от безпилотни летателни апарати и лабораторна система, състояща се от четири резервоара.
2. Създадени са методи за синтез на явни предсказващи регулатори за *нелинейни* системи с *неопределеност* при наличие на ограничения, наложени на управляващите въздействия и на променливите на състоянието [C2, C3, C10, C20, C22, C24, C32, C38]. В [C3, C10] е разгледан случаят на *полихедрално* описание на неопределеността и е формулирана задачата за минимаксно предсказващо управление. Показано е как тази задача може да се трансформира в задача на мулти-параметричното нелинейно програмиране и е предложен подход за определяне на нейното явно приблизително решение, което да

гарантира устойчивостта на затворената система. В [C2, C24] е предложен подход за синтез на явни стохастични предсказващи регулатори за нелинейни системи със *стохастично* описание на неопределеността (т.е. техният модел в пространството на състоянието има стохастични параметри с известно разпределение на вероятностите). В [C2, C20] е формулирана задачата за предсказващо управление на нелинейни стохастични системи, чиято динамика се описва с помощта на Гаусови процеси. Предложен е метод за намиране на нейното явно субоптимално решение. Методите, разработени в [C2, C3, C10, C20, C24] се основават на ортогонално разделяне на пространството на параметрите. В [C22] са предложени подходи за намаляване на сложността на явните предсказващи регулатори, синтезирани с помощта на методите в [C2, C3, C10, C20, C24]. В [C32] е разработен подход за синтез на явни моделно предсказващи регулатори за нелинейни динамични системи, при който явното приблизително решение на задачата за предсказващо управление е дефинирано върху симплексно разделяне на пространството на параметрите. Разработените в [C2, C3, C10, C20, C22, C24, C32] методи са реализирани като пакет от програми в симулационната среда MATLAB и са приложени за синтез на: явен стохастичен предсказващ регулатор за управление на парен генератор [C2], явен минимаксен предсказващ регулатор за химически реактор с идеално смесване [C3] и явни предсказващи регулатори с намалена сложност за управление на компресор и на изпълнителния механизъм на електропневматичен съединител [C22]. В частния случай, в [C38] е синтезиран явен моделно предсказващ регулатор за поддържане на температурата на водата в лабораторен резервоар на базата на линеен детерминиран модел на неговата динамика.

3. Разработени са методи за управление на технологични обекти чрез моделиране на тяхната динамика с помощта на Гаусови процеси [C6, C15, C21]. В [C6] е описана подробно концепцията за моделиране на динамиката на стохастични системи с използване на Гаусови процеси. Специално внимание е отделено на предложените подходи за стохастично моделно предсказващо управление и за адаптивно управление на базата на Гаусови регресионни модели. Те са приложени за стохастично предсказващо управление на: лабораторен сепаратор за разделяне на газ от течност [C6], парен генератор [C21] и биореактор за анаеробно третиране на отпадни води [C15].
4. В [C18] е предложена структура на система за подпомагане на процеса на вземане на решение при избор на най-добра алтернатива на система за автоматично управление (CAУ). Разработена е компютърна програма на система за вземане на решение при синтез на CAУ, която е реализирана на Visual C++. В [C19] е разработена стратегия за вземане на решение при едновременен синтез на технологичен процес и на системата му за автоматично управление. Предложените в [C18, C19] подходи се основават на сравнение между различни алтернативни решения чрез използване на размити отношения на предпочитание.
5. В [C9, C37] е предложена структура на интелигентна система за управление и оптимизация на обекти с деградиращо във времето техническо състояние. Тя включва използването на модел на „бързата“ динамика на обекта (описващ преходните процеси) и модел на „бавната“ динамика на обекта (изменение на неговото техническо състояние вследствие на износване), от една страна, и

подхода за прилагане на разсъждения, основани на прецеденти, от друга страна. В частност е разгледана задачата за оптимизация на действието на Peirce-Smith конвертор. В [C40] е разработен метод за апроксимация в реално време на оптималните условия на процеса на термична обработка на дървесни материали чрез използване на невронни мрежи.

6. В [C8, C34] е предложен подход за разпределение на задачите в една мулти-агентна система, съставена от хомогенни динамични агенти. Позицията, която трябва да има всеки агент в системата е определена предварително чрез зададените разстояния между агентите. За оптималното управление на мулти-агентната система е приложен подходът на моделното предсказващо управление, като са разработени процедури за откриване на неспособността на даден агент да изпълни поставената задача, неговото последващо изолиране от системата и преразпределение на задачите между нормално функциониращите агенти.
7. В [C12, C23] 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 и метеорологичните параметри. Разработени са методи за оценка на уврежданията на листата на някои широколистни горскодървесни видове, причинени от озон [C11, C28, C29]. В [C13, C33] е предложена структура на Workflow научен процес за обработване на голям обем от данни за параметрите на околната среда (концентрациите на атмосферните замърсители) и за получаването на стохастични модели за предсказване на техните стойности. В структурата се използват семантични езици, модели и методи за достъп, съхраняване и използване на данни за околната среда като се използват преимуществено уеб интерфейси и услуги.
8. Създаден е линеен метод за параметрична идентификация на работи от вида $D \perp D || D$ [C1] и $D || D$ [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 работи.

D. Монография (включва 7 от главите, посочени в точки В и С (B1, B2, B4, B5, C2, C3, C4), и 2 глави, които не са включени в точки В и С)

- D1. **A. Grancharova**, T. A. Johansen, “Explicit Nonlinear Model Predictive Control: Theory and Applications”, *Lecture Notes in Control and Information Sciences*, vol.429, ISBN-Print: 978-3-642-28779-4, ISBN-Ebook: 978-3-642-28780-0, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 2012, 234 pages (глави 2 и 3 от монографията не са включени в точки В и С на списъка).

Резюме: В монографията са описани методите, разработени от авторите, за явно приблизително решаване на задачите на мулти-параметричното нелинейно програмиране (mp-NLP), свързани със синтеза на явни моделно предсказващи регулатори за различни класове от нелинейни динамични системи с ограничения. Основното предимство на явното предсказващо управление е значителното редуциране на изчислителните усилия в реално време (предварително е получен субоптимален закон за управление, поради което отпада необходимостта от решаване на нелинейна оптимизационна задача в реално време). Това води и до второто съществено предимство на явния подход, а именно неговата проста софтуерна и хардуерна реализация, което го прави особено подходящ за изграждането на вградени системи за управление на системи с ограничения. Разгледано е приложението на разработените методи за решаването на редица практически задачи от различни области, като: автомобилна мехатроника, управление на работата на компресори, управление на химически реактори, управление на система за поддържане на рН, оптимално управление на парен генератор и др.

Монографията е структурирана както следва:

- **Глава 1** – Разработени са подходи и алгоритми за определяне на явно приблизително решение на mp-NLP задачи на базата на ортогонално разделяне на пространството на параметрите. Разгледани са както изпълняли, така и неизпълняли оптимизационни задачи.
- **Глава 2** – Разгледани са основните аспекти при формулирането на задачата за моделно предсказващо управление на нелинейни динамични системи с ограничения, които имат съществено значение за качеството на управление, устойчивостта и робастността на затворената система. Анализирани са също изчислителните усилия при реализирането на моделното предсказващо управление.
- **Глава 3** – Предложен е алгоритъм за синтез на явен моделно предсказващ регулатор за нелинейни системи, при който mp-NLP задачата локално се апроксимира със задача на мулти-параметричното квадратично програмиране (mp-QP).
- **Глава 4** – Предложен е подход за синтез на явни моделно предсказващи регулатори за детерминирани нелинейни системи с ограничения. Показано е как задачите за оптимално регулиране и оптимално следване на задание могат да се представят като mp-NLP задачи, чието приблизително решение може да бъде определено чрез прилагане на алгоритмите, разработени в Глава 1. Синтезирани са явни моделно предсказващи регулатори за управление на работата на компресор и за управление на положението на изпълнителния механизъм на електропневматичен съединител.
- **Глава 5** – Разработен е подход за приблизително решаване на задачи на мулти-параметричното нелинейно целочислено програмиране (mp-NIP), свързани със синтеза на явни предсказващи регулатори за нелинейни динамични системи с дискретни по

стойност управляващи въздействия. Синтезиран е явен моделно предсказващ регулатор с дискретно по стойност управляващо въздействие за управление на положението на изпълнителния механизъм на електропневматичен съединител чрез използване на ON/OFF клапани.

• **Глава 6** – Предложени са два подхода за явно минимаксно моделно предсказващо управление на нелинейни системи при наличие на параметрична неопределеност и/или ограничени по амплитуда смущения. При първия подход се формулира задачата за минимаксно предсказващо управление в отворен контур (оптимизацията се извършва по отношение на стойностите на управляващото въздействие в рамките на хоризонта на предсказване), а при втория - минимаксно предсказващо управление в затворен контур (оптимизацията се извършва по отношение на параметрите на функциите на управление в рамките на хоризонта). Изведени са условията, които гарантират робастната устойчивост на затворената система.

• **Глава 7** – Разработени са два подхода за синтез на явни стохастични моделно предсказващи регулатори за нелинейни динамични системи при наличие на смущения и/или неопределени параметри с известно разпределение на вероятностите. При първия подход се предполага, че динамиката на системата е описана със стохастичен параметричен модел, докато при втория подход – с модел, основан на Гаусовите процеси. Синтезиран е явен стохастичен предсказващ регулатор за управление на парен генератор.

• **Глава 8** – Предложен е подход за явно моделно предсказващо управление на нелинейни системи, чиято динамика се описва с входно-изходни модели (в частност се разглеждат описание с невронни регресионни модели). Формулирана е дуална стратегия за управление с цел елиминиране на статичната грешка на затворената система при наличие на смущения или неточности в математичния модел. Синтезиран е дуален явен предсказващ регулатор за управление на система за поддържане на рН.

• **Глава 9** – Разработен е подход за субоптимално разпределено моделно предсказващо управление на взаимосвързани нелинейни системи с линейно свързани динамики и ограничения, наложени на променливите на състоянието и управляващите въздействия. Първоначалната централизирана задача за предсказващо управление е представена като разпределена квази-нелинейна задача чрез линеаризация на нелинейните динамични модели на системите около тяхното текущо състояние и прилагане на метода на динамичната дуална декомпозиция.

Основният принос за разработването на подходите, описани в Глави 1, 4, 5, 6, 7, 8 и 9 е на първия автор на монографията. Четири от тези глави (Глави 1, 4, 5 и 8) са включени в раздел **В** на списъка от трудове (съответно В1, В2, В4 и В5). Другите три глави (Глави 6, 7 и 9) са включени в раздел **С** на списъка от трудове (съответно С3, С2 и С4). Основният принос за разработването на подходите, описани в Глави 2 и 3 е на втория автор на монографията.

Е. Редактирана научна книга (извън публикациите, посочени в точки В, С и D)

- E1. S. Olaru, A. Grancharova, F. Lobo Pereira (Editors), "Developments in Model-Based Optimization and Control: Distributed Control and Industrial Applications", **Lecture Notes in Control and Information Sciences**, Vol. 464, ISBN-Print: 978-3-319-26685-5, ISBN-Ebook: 978-3-319-26687-9, Springer-Verlag, 2015, 381 pages.

Резюме: Тази редактирана научна книга включва разширени варианти на научните доклади, изнесени на две поредни конференции на тема „Optimisation-based Control and Estimation”, проведени в CentraleSupélec, Париж, Франция през ноември 2013 г. и ноември 2014 г. На конференциите са представени доклади на автори от България, Франция, Италия, Норвегия, Португалия, Румъния, Испания и Словакия, описващи научни разработки, направени в рамките на двустранни научни проекти със CentraleSupélec.

Приносът на редакторите за съставянето на книгата включва преди всичко тематичното структуриране на съдържанието на книгата и организирането на процеса на рецензиране на всички получени статии.

В книгата са включени актуални разработки, прилагащи методите на оптимизацията в следните области: синтез на моделно предсказващи регулатори, определяне на някои свойства на динамичните системи чрез прилагане на теорията на множествата, методи за децентрализирано и кооперативно управление на взаимосвързани системи, методи за анализ на робастността на системите за управление, методи за вземане на решение при управлението на многоагентни системи, приложение на разработените методи при оптимизацията и управлението на биотехнологични процеси, многоагентни системи и импулсивни динамични системи. Главите в книгата са структурирани тематично в следните пет части:

1. Сложност и структурни свойства на линейното моделно предсказващо управление.
2. Разпределено-координирано и многокритериално моделно предсказващо управление.
3. Колаборативно моделно предсказващо управление.
4. Приложения на управлението и идентификацията, основани на оптимизация.
5. Анализ и проектиране на специфични класове от динамични системи, основани на оптимизация.

Брой на научните трудове по видове.

ВИД НА НАУЧНИЯ ТРУД	НА АНГЛИЙСКИ ЕЗИК	НА БЪЛГАРСКИ ЕЗИК	ОБЩО
Глави от книги, издадени в чужбина на чужд език, (по решение на АС на ХТМУ еквивалент на 2 публикации в списания с IF)	14		14
Статии в списания с импакт фактор	7		7 (сумарен импакт фактор: 9,992)
Статии в списания без импакт фактор	2		2
Доклади на международни конференции в чужбина в пълен текст	16		16
Доклади на международни конференции в България в пълен текст	3		3
Доклади на конференции в България с международно участие в пълен текст	4	4	8
Доклади на национални конференции в пълен текст	1	1	2
Монографии	1		1
Редактирани научни книги	1		1
Общо научни трудове в пълен текст	49	5	54
Общо			54

Таблица 1. Брой на цитиранията на научните трудове.

номер на научния труд от списъка	брой цитирания
B6	14
B7	29
B8	9
B9	13
B11	3
C5	3
C6	1
C10	27
C12	21
C14	17
C20	7
C21	1
C22	4
C24	7
C25	5
C31	1
C32	2
D1	66
E1	1
Общо	231