

Резюме

на основните резултати и научните приноси

на доц. д-р инж. Коста Петров Бошнаков за участие в конкурса за заемане на академичната длъжност професор по 5.2. Електротехника, електроника и автоматика (Автоматизация на производството) (ДВ5/17.01.2014) към Химикотехнологичния и металургичен университет, София

I.M(A2).Монография

Математично моделиране и управление на процеси при пречистване на отпадъчни води

(Включва следните 23 публикации в специализирани научни издания равностойни на монографичен труд)

M1.Проблеми на управлението на системите за пречистване на отпадъчни води

В34.Бошнаков,К., Стратегии за управление на системи за пречистване на отпадъчни води, International Conference “Automatics and Informatics’09”, 29.09-4.10.2009, Sofia, Bulgaria, pp.IV-1 - IV-6, ISSN 1313-1850.

Първият приоритет на оперативна програма Околна среда 2007-2013г. е свързан с подобряване и развитие на инфраструктурата за питейни и отпадъчни води. За този период е планирано изграждането и реновирането на 64 пречиствателни станции за пречистване на отпадъчни води (ПЦОВ). От значение за ефективната работа на ПЦОВ са управляващите системи. В статията е разгледана е използваемостта на сензорите в системите за управление, утвърдените математични модели описващи процесите при биологично пречистване Activated Sludge Models (ASMs) и въз основа на добри световни практики са анализирани и представени математическите формулировки на целите на управление и обобщеният критерий за оптималност. Представена е схемата на йерархична система за управление на пречиствателни станции, в която се отчита протичането на процеси с различна скорост. Анализирани са класическите и съвременните системи за управление на ПЦОВ и перспективите за развитие на методите за диагностика и управление, основаващи се на знания.

M2.Математично моделиране, мониторинг и диагностика на процеси при пречистване на битови отпадъчни води

M2.1 Математично моделиране и мониторинг

В78.Георгиев, З., К. Бошнаков, Математично моделиране на процесите при пречистване на отпадъчни води с биологично и химично отстраняване на фосфора, сп. “Автоматика и информатика”, год. XLVI, 5-6, 2012, стр. 154-158, ISSN 0861-7562.

Представена е схемата на инсталация от най-нов тип за вторично пречистване на битови отпадъчни води. Тя се състои от първичен и вторичен утаител и биобасейн включващ анаеробна, анокси и аеробна част, което позволява биологично отстраняване

на органичен въглерод, азот и фосфор и химическо отстраняване на фосфора. Чрез редуциране на настоящата схема могат да бъдат представени основните типове пречиствателни станции за битови отпадъчни води функциониращи в Република България. Разработена е симулационна схема в среда SIMBA6.0/MATLAB на пречиствателна станция за отпадъчни води от вида A^2/O (anaerobic/anoxic/oxic), (анаеробно, анокси и аеробно пречистване) на базата на аналитичен модел ASM2d, който описва процесите за биологично отстраняване на въглерод, азот и фосфор в съвременните пречиствателни станции. Математичният модел описва 21 процеса, променливите на състоянието са 19, кинетичните параметри на модела са 45, а стехиометричните – 9. Кинетичните параметри зависят от температурата на водата. Формулирана е задачата за моделиране на ПСОВ и настройка на математичния модел. Представен е модифициран от авторите алгоритъм за създаване на динамичен математичен модел на биологичното пречистване на отпадъчни води. Значителен проблем при настройката на математичния модел е голямата размерност на вектора на параметрите. Въз основа на данни за конкретна пречиствателна станция е изследвана чувствителността на математичния модел по отношение на неговите параметри. Извършена е настройка на параметрите на модела, по които чувствителността е най-голяма за изследваната пречиствателна станция. Разработена е симулационна схема с помощта на която са изследвани енергийните разходи за конкретната пречиствателна станция за 20 дневен период. Симулационната схема може да се използва за изследване и анализ на очакваните резултати на етап проектиране, за бенчмаркинг на стратегии за управление и за оптимизация на енергийните разходи на конкретна пречиствателна станция.

B48.Fan,L., K.Boshnakov, Neural-Network-Based Water Quality Monitoring for Wastewater Treatment Processes, 2010 Sixth International Conference on Natural Computation (ICNC 2010), 10-12 August 2010, in Yantai, China, pp.1746-1748, ISBN 978-1-4244-5958-2, INSPEC Accession Number: 11554420, DOI: [10.1109/ICNC.2010.5584378](https://doi.org/10.1109/ICNC.2010.5584378)

При управление на пречиствателни станции за отпадъчни води едни от най-проблематичните елементи са сензорите за измерване на концентрациите на компонентите в различни точки по линията на водата и активната утайка. Сензорите, които са достъпни понастоящем за мониторинг и управление на процесите на пречистване на отпадъчни води имат ограничения както по вид, така и по надеждност. Освен това повечето от сензорите са скъпи. Софтуерните сензори са предназначени за оценка на неизмерими променливи на състоянието в съответствие с измерената информация, осигурена от on-line измерванията налични в системата. Целта на настоящата разработка е въз основа на исторически данни, представени в дискретни моменти на времето да се прогнозира стойността на наблюдаваната променлива на следващата стъпка. Разработени и изследвани са софтуерни сензори за химична (COD) и биологична (BOD) потребност от кислород на изход от пречиствателната станция, като в качеството на изчислителен апарат се използват back-propagation невронни мрежи. Разглежданите софтуерни сензори са разработени на базата на трислойни невронни мрежа, състоящи се от входен слой, скрит слой и изходен слой. Скрытият слой съдържа 5 неврона. Входовете на невронната мрежа са следните стойности на входния сигнал: $(r(k))$, $(r(k) - r(k-1))$, $(r(k-1))$, $(r(k-1) - r(k-2))$. Изходът на невронната мрежа предсказва изменението на изходния сигнал $\Delta\hat{f}((k+1)/k)$, а предсказаната стойност на изходния сигнал се изчислява по израза $\hat{f}(k+1) = r(k) + \Delta\hat{f}((k+1)/k)$. За едната невронна мрежа изходният сигнал е COD, а за другата BOD. Проведени са предварителни изследвания с тестова функция с характер

аналогичен на реалното изменение на целевите променливи за избор на обучаващ алгоритъм за невронната мрежа. Като подходящ за целта, оценен на базата на точността на предсказване, е избран алгоритъмът на Левенберг-Маркуард. За изследване на възможностите на разглеждания невронен модел за предсказване са комплектовани дискретни стойности за COD и BOD, като 2/3 от тях са за обучение на невронната мрежа, а 1/3 от данните се използват за тестване. Резултатите показват, че on-line предсказването на COD и BOD, чрез подходящо обучена невронна мрежа е достатъчно точно за адекватни операционни действия.

B50.Бошнаков,К., Fan, L., Мониторинг на процесите при пречистване на отпадъчни води, International Conference Automatics and Informatics'10, Sofia, Bulgaria, 3-7 October 2010, pp.III-455-459,

Разработен е подход за мониторинг на процеси при пречистване на отпадъчни води, като за целта се използва методът на главните компоненти (Principal Component Analysis (PCA). Избрани са два класа променливи „непрекъснато измервани променливи” и „променливи, измервани в дискретни моменти на времето”. За двете групи променливи въз основа на намиране на оптимални управления за различни комбинации от смущаващи въздействия са изведени препоръчителни математични модели в пространството на главните компоненти. Всеки новопостъпил комплект от данни за процеса се анализира за отклонение от съответния препоръчителен модел за поведение, като за целта се използва метода на главните компоненти (PCA) и статистическия анализ по T^2 критерия на Хотелинг и по квадратичната грешка на предсказване (Squared Prediction Error (SPE). При статистически доказано отклонение от „препоръчителния модел на поведение” се извършва експертен анализ, като анализа се подпомага от приноса на отделните променливи към грешката на предсказване.

M2.2 Диагностика в пречиствателните станции за отпадъчни води

B49.Бошнаков,К., Диагностика в инсталациите за пречистване на отпадъчни води, Автоматика и информатика, бр. 3, 2010, стр. 35-39, ISSN 0861-7562.

Ранната диагностика на повреди в технологичните съоръжения и отклоненията на процесите от номиналния им режим в системите за пречистване на отпадъчни води е едно от важните условия за своевременна реакция от страна на мениджърския и технологичния персонал с цел отстраняване на възможностите за нарушения на законовите ограничения върху качеството на пречистените води, спирането на онсталацията и възможните аварии. Направен е анализ за приложимостта на различни диагностични методи към инсталациите за пречистване на отпадъчни води. Разгледани са проблемите свързани с мониторинга на най-важните променливи и честотата на използване на сензори за измерването им. Най-популярните методи за диагностика се основават на статистически методи, на базата на математични модели и на интелигентни техники. От статистическите методи с най-голяма приложимост са анализа по метода на главните компоненти и клъстерния анализ. От моделно основаващата се диагностика с най-голямо приложение са методите свързани с генериране на остатъци, наблюдателите и оценката на параметри. От интелигентните техники най-използвани за диагностика са методите основаващи се на знания и невноразмитите модели.

B36.Тодорова,М., К.Бошнаков, Диагностична система за аномални явления при пречистване на отпадъчни води, International Conference “Automatics and Informatics’09”, 29.09-4.10.2009, Sofia, Bulgaria, pp.IV-25 - IV-28, ISSN 1313-1850.

При биологичното пречистване на отпадъчни води в зависимост от операционните условия и състава на входящата вода се развиват полезни за пречистването микроорганизми и микроорганизми, които иницират възникването на аномални явления като набъбнала утайка, плаваща утайка, пяна и други. За своевременно диагностициране на възникналите явления и отстраняването им са необходими диагностични системи, които интегрират в себе си знания и натрупан опит и от своя страна подпомагат инженерния персонал и операторите на пречиствателните станции при разпознаване на възникващата ситуация и вземане на решение за предотвратяването и. Целта на настоящата работа е разработване система за диагностика и оценка на риска за възникване на набъбнала утайка в пречиствателните станции за битови отпадъчни води. За разработване на системата е използван софтуерният инструмент proDEX. Направен е анализ на явлението „набъбнала утайка”, в резултат на който са приети седем входни и три изходни променливи на диагностичната система. И двата вида променливи са логически. Въз основа на събрани знания е съставено диагностично дърво и правилата са имплементирани в цитирания специализиран софтуер. Диагностичната система включва 187 правила. Тествана е с девет варианта с различни стойности на входните променливи. Резултат от работата на диагностичната система е вероятността за набъбване на утайката при конкретните входни условия.

В39.Тодорова,М., К. Бошнаков, Диагностична система за аномалните явления разпенване и плуваща утайка при пречистване на отпадъчни води, Сборник доклади на Международния симпозиум "Управление на топлоенергийни обекти и системи", Паничище, България, 6-7 ноември 2009, стр. 27-31, ISSN 1313-2237.

Биологичното пречистване на битови отпадъчни води се основава на разграждането на замърсителите от микроорганизми, при условия необходими за тяхното съществуване и развитие, като наред с тях в зависимост от състава на входящата вода и операционните условия се развиват и нежелани микроорганизми, които иницират в пречиствателните станции аномални явления. Целта на настоящата работа е създаване на диагностична система за оценката на риска от възникване на аномалните явления разпенване и плуваща утайка. Като софтуерен инструмент е използван proDEX. Последователно са анализирани явленията разпенване и плуваща утайка. На базата на събрани и обобщени знания за двете явления са разработени съответните диагностични дървета. Диагностичната система за разпенване има пет входни логически променливи, четири изходни променливи и 137 правила, а диагностичната система за плуваща утайка съответно има три входни логически променливи, една изходна и 27 правила. Проведени са тествания и на двете диагностични системи, като тестовите на първата са със седем комбинации от стойности на входните променливи, а на втората с 5 комбинации. Приложението на разработените системи в практиката ще доведе до намаляване на броя на ситуациите, при които възникват аномални явления.

М3.Оптимизация на процесите в ПСОВ

В54.Бошнаков,К., Fan,L., З.Георгиев, В.Коцева, Управление на процеса на аериране в биобасейни с минимизиране на енергийните разходи, Сборник доклади на Международния симпозиум "Управление на топлоенергийни обекти и системи", 12-13 ноември 2010, Паничище, стр. 55-60, ISSN 1313-2237

Целта на настоящата работа е намиране на оптимално управление на процеса аериране при биологичното пречистване на отпадъчни води, удовлетворяващо два основни критерия: изпълнение на нормативните изисквания за пречистената вода и минимизиране на разхода на енергия за аериране при различни стойности на

смущенията и проектиране на супервайзорна управляваща система, която да е проста, надеждна и икономически изгодна. Представени са петте използвани стратегии за управление на процеса аериране в биобасейните за пречистване на отпадъчни води. Биобасейнът предмет на изследване в настоящата работа е разделен на десет зони, като първите пет зони са анокси, а останалите са аеробни. За симулационни изследвания е използван моделът ASM1. Зависимостта между разхода на въздух за аериране и коефициента на масопренасяне се описва с нелинейна зависимост, а зависимостта между последния и консумираната енергия също е нелинейна. Анализират се исторически стойности на главните смущаващи въздействия и се класифицират в седем клъстера. За координатите на центровете на клъстерите се решава оптимизационната задача за концентрацията на разтворен кислород в аеробните зони при критерий минимум разход на енергия и неравенствени ограничения върху концентрациите на главните компоненти в пречистената вода. Разработена е система за супервайзорно управление на заданията на регулаторите на разтворен кислород в аеробните зони. Въз основа на решенията на оптимизационната задача е изведена зависимост между приведения към конкретната зона разход на отпадъчни води, който в случая е шедулинг променлива и заданието за концентрацията на разтворен кислород в зоната. За последната аерационна зона е разработена каскадна система за амониев азот, във вътрешния контур на която е включена системата за регулиране на разтворен кислород.

В55.Бошнаков,К., Fan L., З. Георгиев, В. Коцева, Минимизиране на енергийните разходи чрез супервайзорно управление на аерирането в Биобасейни, Автоматика и информатика, бр. 4, 2010, стр.21-25, ISSN 0861-7562

Енергията за аериране на биобасейните при пречистване на битови отпадъчни води е 50-60% от общата енергия изразходвана от пречиствателната станция. Потенциал за оптимизация на разходите има в намирането и поддържането на оптималната концентрация на разтворен кислород в биобасейна. С цел математическо описание на процесите, биобасейнът е разделен на десет зони. Разработен е математичен модел описващ концентрацията на разтворен кислород в биобасейна и е изведена математическа зависимост, позволяваща изчисляването на енергията за аериране по зони. Проведени са двадесет и шест дневни наблюдения върху нормалната експлоатация на пречиствателна станция за над 100000 еквиваленти жители и в статията графично е представена разликата между разхода на подавания въздух за аериране и действително необходимия. Има дни, в които превишаването на подавания въздух надвишава необходимия с 55%, което води до значително завишаване на разходите. Формулирана е оптимизационната задача и е решена за седем центрове на клъстерите с основните смущаващи въздействия. Представени са получените резултати за оптимално разпределение на разхода за аериране в зоните попадащи в аеробната част на биобасейна. Разработена е схема за супервайзорно управление на биобасейна и са приведени алгоритмите за изчисляване на заданията на регулаторите по зони като функция на разхода вода за пречистване.

В82.Бошнаков,К., М.Хаджийски, З.Георгиев, Бенчмаркинг на пречиствателни станции за отпадъчни води, Сборник доклади на Международния симпозиум "Управление на топлоенергийни обекти и системи", Баня, България, 8-9 ноември 2012, стр.13-17, ISSN 1313-2237.

Настоящата работа е посветена на изследване на ефективността на пречиствателни станции за отпадъчни води за целите на техния бенчмаркинг. Разгледани са математичният апарат на анализ, чрез обвиване на данни (Data Envelopment Analysis (DEA), CCR математичните модели ориентирани съответно към входовете и изходите,

подходите на суперефективността и обвиващ анализ, основаващ се на резерви. Направен е анализ на оперативните разходи на пречиствателна станция за отпадъчни води проектирана за над 100000 еквивалент жители. Потенциал за намаляване имат разходите за енергия и за химикали. Избрани са индикатори за оценка на ефективността на пречиствателните станции. В качеството на пример е извършен анализ по метода на обвиване на данни на ефективността на десет виртуални пречиствателни станции. Станциите са ранжирани по относителна ефективност. За станциите с по-ниска от максималната ефективност са изчислени препоръчителни стойности на разходите на енергия и химикали, които ако бъдат реализирани съответната станция ще се изравни с тези с най-висока ефективност.

B58.Fan,L., Y.Xie, K. Boshnakov, Pattern recognition based optimization control of SBR wastewater treatment plant , Proc. of the Anniversary Scientific Conference with International Participation “40 Years Department of Industrial Automation”, University of Chemical Technology and Metallurgy-Sofia, Bulgaria, 18.03.2011, pp.41-44, ISBN 978-954-465-043-8.

Изследванията в настоящата статия са насочени към оптималното управление на периодични реактори с последователно действие (Sequencing Batch Reactors (SBR) за пречистване на битови отпадъчни води. За разлика от традиционните пречиствателни станции, които са с непрекъснато действие, при които различните реакции протичат в отделни реакционни съдове, SBRs позволяват процесите да се извършват последователно в един и същ реактор. В реактора последователно протичат анаеробни, аеробни и анокси биологични процеси и утаяване. От значение е определянето на оптимално операционно време за трите фази на биологичните реакции, което ще доведе до намаляване на операционните разходи. Целта на настоящата работа е по косвени показатели – рН на водата и концентрацията на разтворен кислород DO да бъдат определени моментите на превключване между отделните стадии на пречистване. За определяне на моментите на превключване е разработен метод за разпознаване на образи. Използват се особеностите на профилите на рН и на разтворен кислород DO за идентификация на моментите на превключване за всяка фаза. С използване на уейвлети (wavelets) и изводи на базата на размита логика се идентифицират моментите за превключване за всяка фаза. Разработена е система за управление на базата на размита логика за времената на превключване между отделните фази с два входни и една изходна променливи. Входни променливи за системата са производните dpH/dt и dDO/dt , а изходна е времето на превключване между фазите U. Въз основа на анализ на стойностите на входните лингвистични променливи и натрупаният опит по управление на SBR реактори е формирана матрицата с размити правила. Чрез точното управление на превключването между фазите се намаляват енергийните разходи и се увеличава ефективността на пречистване.

М4.Супервайзорно управление на системи за пречистване на отпадъчни води

В38.Бошнаков,К., М.Хаджийски, Супервайзорно управление на системи за пречистване на отпадъчни води, Международен симпозиум „Управление на топлоенергийни обекти и системи”, 6-7.11.2009, Паничище, стр. 15-19, ISSN 1313-2237

Изследванията в настоящата работа са свързани с конкретна пречиствателна станция за отпадъчни води (ПСОВ). Предлага се подход за ситуационно супервайзорно управление, отчитащо основните смущения свързани с входния поток. Прави се класификация на ситуациите, отнасящи се за основните смущения и се решава задачата за оптимизация на супервайзорно ниво в off-line режим за всяка една от избраните

характерни ситуации. Критерият за оптималност е формиран като са отчетени разходите за глоби при нарушаване на нормативните ограничения върху състава на пречистената вода и разходите за електроенергия. При условие, че временният интервал, за който се решава оптимизационната задача се отнася за бъдещето, така формулираната задача за оптимизация може да се отнесе към класа задачи за оптимизация с преместващ се хоризонт. Независими променливи са заданията на контролерите за разход на вътрешния рециркуляционен поток, концентрацията на разтворения кислород и концентрацията на добавян въглерод. За on-line решаване на задачата за ситуационно управление на биологичното пречистване е необходима текуща информация за разхода и състава на отпадъчната вода. Изчислява се Евклидовото разстояние между стойностите на текущите смущения и стойностите на смущенията, за които са изчислени текущите задания към регулаторите. При надвишаване на определена стойност за Евклидовото разстояние по on-line алгоритъма се преизчисляват актуалните задания на регулаторите. При on-line алгоритмите не се използват итерационни процедури, което е предимство. Приложен е пример, който илюстрира разработения алгоритъм за супервайзорно ситуационно управление на конкретна ПСОВ.

В35.Хаджийски,М., К.Бошнаков, Нелинейно моделно предсказващо управление на процесите на пречистване на отпадъчни води с включване на логически правила, International Conference “Automatics and Informatics’09”, 29.09-4.10.2009, Sofia, Bulgaria, pp.IV-7 - IV-10, ISSN 1313-1850.

Предложено е нелинейно моделно предсказващо управление за системи за пречистване на отпадъчни води, което включва специфични знания в предметната област. Представени са най-използваните математични модели за целите на пречистване на отпадъчни води и възможността за използването им при решаване на задачи, свързани с управление на процесите с редуцирани математични модели и основните функции на второ йерархично ниво за управление при пречистване на отпадъчни води и е направен извод, че най-целесъобразно е използването на подходящ вариант на моделно предсказващо управление. Предложено е хибридно моделно предсказващо управление, което има следните по-важни особености: Въз основа на знания се формират локални стратегии за управление, представени чрез правила. Използва се линейно моделно предсказващо управление (МРС), въз основа на мултимоделен подход на базата на редуцирани модели, операционен режим и формулирани стратегии за управление и претеглен блендинг на съответните решения на МРС. Проведени са изследвания за моделно предсказващо управление на концентрацията на субстрата в пречистената вода при управляващо въздействие отношението на разхода на рециклираща утайка към разхода на входен поток при приложени смущения по концентрация на субстрата във входящата отпадъчна вода.

В57.Хаджийски,М., К.Бошнаков, А.Атанасов, Супервайзорно управление на система за пречистване на отпадъчни води с използване на знание по метода на прецедентите, Proc. of the Anniversary Scientific Conference with International Participation “40 Years Department of Industrial Automation”, University of Chemical Technology and Metallurgy-Sofia, Bulgaria, 18.03.2011, pp.27-31, ISBN 978-954-465-043-8.

Ефективният мениджмънт на пречиствателните станции за отпадъчни води изисква наличието на съвременна система за управление. Освен традиционното управление на процесите на пречистване на отпадъчните води, системата трябва да включва средства за диагностика и избягване на аварии, да гарантира и надеждна и евтина експлоатация.

В статията са разгледани особеностите на пречиствателните станции за отпадъчни води като обекти за управление. Показани са трите възможни операционни области: рационална област, дефинирана от ограниченията, допустима област, в която пречиствателната станция все още може да работи, нарушавайки ограниченията и недопустима област, за излизането от която са необходими бързи действия. Разгледан е методът на прецедентите (Case-Based Reasoning (CBR) и са представени статичните и динамични прецеденти, като последните все още се прилагат ограничено, поради голямата размерност на атрибутите на прецедента. За управление на пречиствателни станции за отпадъчни води са разработени структурна схема на система за управление и като част от нея на системата за супервайзорно управление. Супервайзорното управление се основава на изводи на базата на прецеденти (Case-Based Reasoning (CBR), което ще даде възможност на системата за управление възможност за адекватна реакция в сложни аномални ситуации. Основен проблем при представяне на знанията по формата на прецеденти е структурирането им. Приети и публикувани са формите за представяне на статични прецеденти за технологични събития и на повреди и динамични прецеденти за управление. Показани са интерфейсите на супервайзорната система за въвеждане на стойностите на атрибутите на статичните прецеденти и намерените най-близки съседи.

B45.Fan,L, K.Boshnakov, Fuzzy Logic Based Dissolved Oxygen Control for SBR Wastewater Treatment Process, Proceedings of the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation, July 6-9 2010, Jinan, China, pp.4142-4144, ISBN 978-1-4244-6712-9, IEEE Catalog Number: CFP10496-PRT, DOI [10.1109/WCICA.2010.5553972](https://doi.org/10.1109/WCICA.2010.5553972), INSPEC Accession Number: 11512114.

Разработена е система за автоматично регулиране на разтворен кислород в периодичен реактор с последователно действие (Sequential Batch Reactor (SBR) за пречистване на отпадъчни води. При този клас реактори последователно се превключват анаеробен, аеробен и анокси режим, при което се осъществяват биологично отстраняване на органичен въглерод, азот и фосфор. Описан е математичният модел ASM2d, който се използва за симулационни изследвания в настоящата статия. При малка продължителност на фазата аериране, окислението на органичния въглерод, нитрификацията на амониевия азот и абсорбирането на фосфати са непълни, докато прекалено дългият аеробен период резултира в загуба на излишна енергия и в същото време може да възникне набухване на активната утайка. Изброените ефекти правят актуален проблема с регулирането на разтворен кислород в биореактора по време на аеробния режим. Скоростта на аериране по време на аеробния режим може да бъде управлявана чрез коефициента на масопренасяне на кислорода $K_L a$ в зависимост от концентрацията на разтворения кислород (DO). Разработен е размит регулатор за концентрацията на разтворен кислород (DO), входовете на който са грешката на регулиране "e" и нейната производна "de/dt". Изходна променлива за размития контролер е коефициентът на масопренасяне на кислорода $K_L a$. Проведени са симулационни изследвания с разработения контролер и резултатите са сравнени с традиционния режим на аериране, при което се вижда, че скоростта и степента на отстраняване на амониевия азот при размито управление се повишава, докато скоростта на отстраняване на фосфатния фосфор е почти една и съща и за двата метода за управление. И в двата случая се покриват изискванията за качество на пречистената вода. Освен това при размитото управление процесите протичат при по-ниски стойности на $K_L a$ и концентрация на разтворен кислород (DO), което резултира в по-нисък разход на енергия за аериране.

B85.Boshnakov,K., Z.Georgiev, Intelligent System for Control of Biological Wastewater Treatment Based on Benchmarking of Cases, Information, Communication and Control Systems and Technologies, Year I, No 1, 2012, pp.41-46, ISSN 1314-7455.

Целта на настоящата работа е да се повиши ефективността на супервайзорното управление на биологичното пречистване на отпадъчни води, чрез изводи основаващи се на прецеденти (Case-Based Reasoning (CBR)). Представен е класическият R^4 цикъл на CBR. Технологичният стадий на биологично пречистване е представен като обект за управление. Разработена е структура на прецедентите за целите на супервайзорното управление. Във всеки прецедент е включен показател за относителната ефективност, който се изчислява за всеки набор прецеденти на базата на метода за обвиване на данни (Data Envelopment Analysis (DEA)). Разработен е алгоритъм за изводи на базата на бенчмаркинг на прецеденти. Направена е модификация на етапите retrieve, reuse и revise на класическия R^4 цикъл на CBR. Приведен е пример за бенчмаркинг на двадесет прецедента в задачата за супервайзорно управление на биологичното пречистване.

B97.Atanasov,A., K.Boshnakov, Case-Based Reasoning Control of Biological Wastewater Treatment, Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 2014.

В настоящата разработка системата за супервайзорно управление на биологичното пречистване на отпадъчни води се основава на прецеденти (Case-Based Reasoning (CBR)). Всеки прецедент се представя със структурата “проблем-решение-прогноза-ефективност“. В качеството на “решение” се съдържат заданията на регулаторите на първо йерархично ниво, съответстващи на конкретния “проблем”, който се формулира въз основа на текущия състав на водата за пречистване на вход и по хода на пречистване в биореактора. Прогнозират се състава на водата след пречистването и показатели свързани с устойчивата работа на биобасейна. Прецедентът съдържа и информация за средствата необходими за реализиране на конкретното управление. Супервайзорното управление се основава на изпълнението на R^4 цикъла, който се стартира периодично при промяна извън определени граници на стойностите на атрибутите, описващи „проблема“. За формиране на начална база с прецеденти е избран подходът на off-line генерирането им. За исторически възниквали ситуации в продължение на дълъг период от време се решава оптимизационната задача с математичен модел настроен за конкретната инсталация. За реализация на супервайзорното управление първоначално в режим съветник на оператора е използван софтуерният продукт МуCBR. Представени са екрани свързани със създаване на началната база знания, формиране на функцията за близост и теглото на конкретния прецедент. Прецедентите, които са показали висока ефективност след реализирането им се въвеждат в базата знания, която по този начин се обновява непрекъснато.

B63.Бошнаков,К., В.Боишина, М.Хаджийски, Многоагентно отказоустойчиво управление на пречиствателни станции за отпадъчни води, Международна конференция “Автоматика и информатика' 2011”, София, 5-6 Октомври 2011, стр.129-133, ISSN 1313-1850.

Разработена е мултиагентна супервайзорна система за управление на биореактор при пречистване на отпадъчни води. Същността на работата е в комбинацията на оценка на технологичното състояние и безмоделна техническа диагностика и двете базирани на изводи на базата на прецеденти (Case-Based Reasoning (CBR)). Биореакторът е представен като двусвързан обект с предавателни функции от първи ред с чисто закъснение. Схемата за автоматично регулиране на първо йерархично ниво е изградена с два регулатора. Системата за супервайзорно управление включва две главни подсистеми: подсистема за отказоустойчиво управление и подсистема за диагностика и

разпознаване на ситуации. Многоагентната супервайзорна система е реализирана върху две Java платформи - JADE (за агенти) и jCOLIBRI (реализира CBR). Изследванията са свързани с появата на технически неизправности по входа и/или изхода на обекта, а не на технологични аномалии. Агентите за управление разпознават настъпилата ситуация и в зависимост от нивото на управление (опасно, алармиращо или нормално) предприемат адекватни управляващи действия, съответстващи на текущото състояние на биореактора. Приведени са резултати от голям брой симулационни изследвания.

В64.Хаджийски,М., К.Бошнаков, Функционално-обектна архитектура на многоагентна система за супервайзорно управление на пречиствателни станции за отпадъчни води, Международна конференция “Автоматика и информатика’ 2011”, София, 5-6 Октомври 2011, стр.123-128, ISSN 1313-1850

Разработена е нова архитектура за мултиагентна супервайзорна управляваща система за пречиствателна станция за отпадъчни води. Подробно са изложени основните принципи съгласно които е създадена мултиагентната система. Системата е разработена в съответствие с правилата на FIPA и на платформата JADE. В статията е представена структурата на разработената многоагентна система за управление. В нея са включени девет асоциации от агенти и шест индивидуални агенти. Агентите и асоциациите от агенти са обединени в три функционални групи: информационни агенти, процедурни агенти и управляващи агенти. Координацията на циклите на управление и на възможните конфликтни ситуации се извършва от координиращ агент. Предлагащата система за супервайзорно управление покрива нуждите от управление по икономически критерии, мониторинг, прогнозиране и техническо поддържане.

В66.Бошнаков,К., А.Атанасов, М.Николов, Супервайзорно управление на биологично пречистване на отпадъчни води на базата на прецеденти, Сборник на Националната научно-техническа конференция с международно участие “Автоматизация в минната индустрия и металургията”, BULKAMK2011, 6-7 октомври 2011, София, стр. 76-81, ISSN 1314-4537.

Разработен е нов подход за супервайзорно управление на биологично пречистване на битови отпадъчни води. Подходът се основава на комбинация многократно off-line решаване на оптимизационния проблем за да се формира начална база знания за процедурата за извод на базата на прецеденти (Case-Based Reasoning (CBR) за всеки един от формулираните “проблеми” и on-line супервайзорно управление на базата на CBR. Формулирани са атрибутите за представяне на “проблема”, “решението” и “прогнозата”. За оценка на качеството на “решението” е въведен показател на ефективността, който се формира след реализиране на управлението и въз основа на него се взема решение за етапа “retain”, когато се взема решение за разширяване на базата с прецеденти с конкретния прецедент. Компоненти на показателя на ефективността са разходът на енергия за аериране отнесен към разхода на отпадъчна вода за пречистване и експертна оценка за разходите на химикали. За софтуерна реализация на супервайзорната система за управление е използван софтуерния продукт MyCBR, който е plug-in на редактора за онтологии Protégé.

В93.Бошнаков, К., М.Хаджийски, З.Георгиев, Управление на процеса аериране при биологичното пречистване на отпадъчни води по метода на прецедентите,– Част 1, Proc. Of the International Conference Automatics and Informatics’ 2013, October 307, 2013, Sofia, pp.I-91 - I-94 Статията е насочена към създаване на консултационен център за мениджмънт на биологично пречистване на битови отпадъчни води. Във фокуса на работата е управлението на най-важните показатели при биобасейните, а именно концентрацията на разтворения кислород и аерационния

обем при различни състояния на основните смущаващи въздействия. Управлението включва супервайзорно управление на заданието за разтворен кислород и препоръки за изменение на аерационния обем на биореактора. Системата за управление е на базата на знания с използване на метода на прецедентите (Case-Based Reasoning (CBR). Формиран е критерий за оптималност, съответстващ на нормативните изисквания в Република България за качество на пречистената вода, а също така включва консумираната електрическа енергия за аериране и за помпите за вътрешен и външен рецикул. Разработена е симулационна схема на пречиствателна станция за отпадъчни води проектирана за 60000 еквивалентни жители, която е предназначена за генериране на оптимални прецеденти. Представени са 24 часовите изменения на основните смущаващи въздействия, при които се решава оптимизационната задача. „Решението” на прецедентите, съгласно теорията на CBR, включва заданието на системата за разтворен кислород и препоръчителния обем на аерационната част за конкретните условия, формулирани чрез „проблема” .

В94.Бошнаков, К., М.Хаджийски, З.Георгиев, Управление на процеса аериране при биологичното пречистване на отпадъчни води по метода на прецедентите,– Част 2, Proc. Of the International Conference Automatics and Informatics’ 2013, October 307, 2013, Sofia, pp.I-95 - I-98

Във втората част на статията са представени резултатите от предварителните изследвания и генерирането на начална база с оптимални прецеденти. Въз основа на анализ на исторически данни са избрани номинални стойности на главните смущаващи въздействия и е съставен критерия за оптималност. Представени са паричните разходи за консумирана енергия и времето през което са нарушени нормативните ограничения изразено в проценти от цялото изследвано време като функция на концентрацията на разтворения кислород. За генериране на начална база оптимални прецеденти, с цел максимално покриване на изследваната област е избран подходът симулационните експерименти да се проведат точките на несиметричен квази D-оптимален план с четири независими променливи, които са главните смущаващи въздействия. Във всяка точка на плана се решава оптимизационната задача. Независимите променливи формират „проблема”, а решението на оптимизационната задача – концентрацията на разтворен кислород и аерационния обем са „решението” на прецедента. След формиране на началната база оптимални прецеденти се следва класическия R4 цикъл на CBR.

М5. Интегрирано управление на системи за пречистване на отпадъчни води

B46.Fan,L., K.Boshnakov, LV Jianchao, Integrated Control for the Urban Wastewater Treatment System Based on Multivariable Regulator, Proc. of the 29 Chinese Control Conference, July 29-31, 2010, Beijing, pp.4975-4980, ISBN: 978-1-4244-6263-6, IEEE Catalog Number: CFP1040A-PRT, INSPEC Accession Number: 11572498, (In Chinese). Приложен е превод на английски език.

Градските канализационни системи и пречиствателните станции за отпадъчни води оказват влияние върху качеството на речните води, които се използват като водоприемник. Качеството на приемащата река може ефективно да бъде защитено, чрез управление на преливането в канализационната мрежа и управление на пречиствателната станция. За управление на градска канализационна мрежа е разработен многомерен регулатор на преливането и е изследвано приложението му за интегрираното управление на градска система за транспорт и пречистване на отпадъчни води, включваща канализационна мрежа, пречиствателна станция и река в качеството на водоприемник. За симулационни изследвания на интегрираната система

са разработени математични модели на канализационната мрежа, пречиствателната станция и реката, която е водоприемник за преливанията от канализационната мрежа и пречистената вода от пречиствателната станция. Математичният модел на канализационната мрежа е разработен на базата на последователно свързани обеми със съответните входи и изходи, описващи отделните елементи на мрежата. Управляващите въздействия u_i са разходите на отпадъчни води на изход от дъждопреливните шахти. В математичния модел на всяка шахта се отчита разходът на отпадъчна вода вследствие на преливане. Смущаващи въздействия за канализационната мрежа са постъпващите дъждовни води. Променливи на състоянието са обемите на вода в дъждопреливните шахти и в свързващите тръби. Разработеният математичен модел за целите на изследване на интегрираната пречиствателна система е с пет управляващи въздействия, променливи на състоянието и смущаващи въздействия. Синтезиран е многомерен линейно-квадратичен регулатор за управление на канализационната мрежа, като за целта описващият математичен модел е линеаризиран в областта на номиналния режим. Пречиствателната станция е изградена на базата на периодични реактори с последователно действие (SBR). За математическо описание на протичащите в реактора процеси се използва един от математичните модели на активната утайка ASM2d. За математическо описание на протичащите процеси в реката, тя е представена като десет последователно свързани непрекъснато действащи реактори с идеално смесване. Преливащата вода в дъждопреливните шахти постъпва в първия резервоар, а пречистената вода в пречиствателната станция постъпва в четвъртия резервоар. Математичният модел описващ протичащите процеси е RWQM1. На базата на разработения симулационен модел, включващ математичните модели на канализационната мрежа, пречиствателната станция за отпадъчни води и реката са изследвани четири управляващи стратегии. Направените симулационни изследвания показват, че синхронизацията на разработения многомерен регулатор за канализационната система с управлението на пречиствателната станция в съответствие с изискванията за качеството на водата могат да увеличат капацитета на канализационната мрежа, повишат производителността на пречиствателната станция и да подобрят качеството на речните води.

Научни приноси в монографията

Включените в монографията 23 научни труда обхващат цялостния процес на проектиране на системи за управление в ПСОВ на няколко нива. Те включват последователно изучаване на националното законодателство, съществуващите международни практики, приетите критерии, съществуващите и модифицирани модели, задачи свързани със симулацията, със синтез на регулиране на базово и супервайзорно ниво и въпроси на диагностиката. Изследването е цялостно и е направено въз основата както на реални, така и със симулирани данни. Изчисленията са извършени с достъпни софтуерни пакети.

В монографичният труд вниманието е насочено към биологичното пречистване на отпадъчни води, тъй като там са основните трудности, проблеми и очаквани резултати от подобряване на начина на управление. В работи [B78,B48,B50] са разгледани някои от предварителните етапи от обработка на данните. Прилагат се съвременни методи като този на главните компоненти [B50], който позволява представяне на данните чрез линейни преобразования за намаляване на размерността, и дава възможност за разграничаващо отчитане на влиянието на различните компоненти. В [B48] се

разглеждат интелигентни сензори от типа на многослойни невронни мрежи, обучени по back propagation метода, които са предназначени за предсказване на биологични показатели на водата, които не могат да бъдат непрекъснато измервани тъй като в стандартната практика се измерват рядко – един път на денонощие. Това е особено необходимо при непрекъснато регулиране или корекция на усреднените задания на регулаторите от първо ниво в системите с on-line управление.

Проблемът с моделирането в монографията е решен с изцяло използване на утвърдени математични модели ASMs (ASM1, ASM2d и ASM3), BSM1 и JASS. Тези модели са резултат на многогодишно сътрудничество между големи международни колективи и разработването на оригинални модели при съвременното състояние на познаване на проблема би било неподходящо. Заслугите в монографията са в правилния подбор на моделите в зависимост от конкретните условия и задачата която се поставя.

В работата са получени научно-приложни резултати по отношение на намаляване на размерността на моделите, което е съществено при практическо решаване на задачата за супервайзорно управление, където калибрирането на модели с твърде голям брой константи би било една нереалистична задача.

Голямата част от изследванията в монографията са посветени на проблемите на оптимизацията и на супервайзорното управление. Оптимизационната задача в резултат на изследванията дава оригинално решение на един важен проблем, а именно проблемът с минимизация на енергийните разходи [B78,B54,B55]. На базата на математични модели е показано, че правилната организация и управление на аерацията може да доведе до икономии на енергия в рамките на 35%.

Развит е подход за оптимизация на базата на схеми с параметрична адаптация (Gain Scheduling), като шедулинг променлива е разходът на подаваната на вход на станцията отпадъчна вода в [B54].

Оценени са възможностите на един метод прилаган и развит в други области на познанието към системите за пречистване на отпадъчни води, а именно Data Envelopment Analysis (DEA). Този анализ е приложен в [B82] и като резултат са намерени подходящите стратегии за управление на биологичното пречистване на отпадъчни води, като са използвани някои елементи на бенчмаркинг.

Най-голям обем от работи са включени в частта супервайзорно управление, което в монографията се разглежда като тясно свързано с нивото на базовото управление. Предложени са няколко оригинални подхода за супервайзорно управление основно на биологичното пречистване. На първо място това е нелинейният вариант на функционалното предсказващо управление [B35], който се основава на мултимоделно представяне на биобасейна при различни условия, синтез на локално линейно функционално предсказващо управление и претеглено формиране на управляващото въздействие при ситуации между два модела в зависимост от разстоянието между съответните най-близки модели.

Оригинална двустъпкова процедура за супервайзорно управление е предложена в [B38]. В процедурата се комбинират off-line и on-line управляващи въздействия. Off-line управляващите въздействия се намират на базата на статична оптимизация по отношение на центровете на клъстери на допустими състояния, а on-line процедурата представлява текуща оптимизация въз основа на непрекъснати измервания пряко или със софтуерни сензори на едно или повече от главните смущаващи въздействия.

Съществен принос и новост в областта представлява приложението на метода на прецедентите Case-Based Reasoning (CBR) в задачите за управление [B85,B97,B66]. В

монографията е изложено конкретното приложение на прецедентите както в ”проблема”, така и в частта ”решение”, начина по който за конкретния случай се формулират атрибутите и интерпретациите. В [B57] се съдържа съществена новост в предвид на предложеното използване на динамични прецеденти DCBR, включвайки епизоди за преминаване от едно в друго състояние. Използването на динамични прецеденти ще позволи статичното придвижване на точката на ситуации в полето на прецедентите (cases) да се замени с движение по траектории на тези епизоди, за което симулационните резултати дават потвърждение.

В работи [B93,B94] е изложен оригинален метод за синтез на оптимално разположени във факторното пространство прецеденти, което позволява процесът на вземане на решение за действие в пречиствателната станция да бъде оптимален.

Новост представлява и предложеното използване на многоагентни системи за супервайзорно управление [B63,B64]. Използването на многоагентни системи е обосновано от големия обем задачи, които трябва да се решат и които трябва да се използват от гравивни елементи имащи възможност да решават задачи, които не са предварително обучени, тъй като често възникват ситуации, които стандартните системи не могат да разрешат.

В монографията са разгледани и методи за локално динамично управление, като например в [B45,B58], в които предмет на разглеждане е използването на размито управление. Размитите регулатори приложени към биобасейна са подходящи поради силно нелинейният характер на обекта. Предложени са матрици от правила, извлечени от експлоатационния опит, които позволяват да се използва размит извод за целите на динамичното управление. В [B58] са използвани интелигентни техники за вземане на решение на базата на разпознаване на образи и wavelets за периодични реактори с последователно действие (SBR). В монографията са разгледани съвременни методи за диагностика на аномалии [B36,B39]. Използвани са дървовидни структури с оригинална структура на диагностичните дървета.

Всички методи, които са разработвани в монографията са реализирани и изследвани на базата на симулации. Използват се утвърдени софтуерни продукти като SIMBA, MyCBR, jColibry, JADE, proDEX, JASS и други. По-голяма част от използвания софтуер е свободен, което дава увереност за по-широко приложение на предлаганите методи в очакваното бързо нарастване на пречиствателните станции у нас.

II. Научни трудове

**издания извън монографията публикувани в
специализирани научни издания**

1. Автоматизация на производството

1.1. Математично моделиране на технологични процеси

а) Статични модели и оптимизация на химични процеси

B19.Petkov,L., T.Todorov, I.Dardanova, K.Boshnakov, Mathematical Modelling of the Process of Electrochemical Production of NaClO from diluted Chloride Solutions, Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, 41, 2, 2006, 133-136, ISBN ISSN 1311-7629.

Изследвана е електрохимична система за производство на натриев хипохлорид. В работата е направено описание на електролизната клетка, в която са проведени изследванията. Независими променливи са концентрацията на натриевия хлорид и силата на тока. Поставени са предварителни експерименти предназначени за изучаване на индивидуалното влияние на независимите променливи върху добива на целевия продукт и консумацията на енергия. За извеждане на математични описания на изследваните зависимости е разработен D-оптимален план с две независими променливи за математичен модел от втори ред. По разработения план са проведени експерименти и са изведени съответните математични модели.

B17.Petkov,L., T.Todorov, I.Dardanova, K.Boshnakov, Mathematical design of the process of NaClO obtaining from diluted chloride solutions, 7th International Scientific Conference – Process Control – 2006 June 13-16 2006, Kouty nad Desnou, Czech Republic, pp. ROO 3b-1 – ROO3b-7, ISBN 80-7149-860-8.

Проведени са изследвания на процеса на електрохимично производство на натриев хипохлорид ($NaClO$), използвайки разредени разтвори. Фактори със значимо влияние върху концентрацията на продукта и консумацията на електрическа енергия са концентрацията на натриевия хлорид ($NaCl$) и силата на електрическия ток. Изведени са статични математически модели за по-горе словесно описаните зависимости. Математичните модели са полиномиални и са от втора степен по отношение на независимите променливи. Изведените математически зависимости са представени в 3D. Максимална производителност по $NaClO$ се постига за максималните стойности на входните променливи в изследвания диапазон, а минимална консумация на електрическа енергия се постига при сила на тока $I = 0.45mA$ и концентрация на натриевия хлорид $C_{NaCl} = 0.25g/l$.

б) Математично моделиране на топлообменни процеси

B20.Deliiski,N., M.Hadjiski, K.Boshnakov, Modeling of the Dynamic Behaviour and Energy Consumption of the Heating Process of Wooden Houses, Preprints of the IFAC Workshop, Energy Saving Control in Plants and Buildings, 3-5 October 2006, Bansko, Bulgaria, pp.57-62. ISBN: 9549641473, 9789549641479, IFAC PapersOnLine DOI 10.3182/20061002-4-BG-4905.00010

Създаден е обобщен математичен модел на нагряване на дървени стени и е верифициран за нелинейна топлопроводност и консумация на енергия в дървени къщи при случайно възникнали начални и гранични условия. Публикацията описва създаването и решаването на математичния модел и проведените симулационни изследвания на влиянието на околната среда, средните стойности на параметри на стаите и началната температура на дървото върху консумацията на енергия, необходима за поддържане на зададени температури в стаите на къщата. При създаването на математичния модел, алгоритмите и софтуера за решаването му е отчетено изискването да позволяват без съществени корекции реализиране и изследване на системи за автоматично регулиране с моделно предсказващо управление (MPC).

B65.Михайлов,Е., К.Бошнаков, В.Петков, Оценка на състоянието на огнеупорната изолация на металургични съоръжения по термографски измервания, Международна конференция “Автоматика и информатика'11”, София, 5-6 Октомври 2011, стр.B335-B338, ISSN 1313-1850.

Целта на настоящата работа е въз основа на термографски анализ на повърхността на металургичното съоръжение да се оценят възникнали дефекти в огнеупорната изолация

и остатъчната дебелина на стената. Възникналите дефекти се представят чрез пресечен конус. За количествена оценка на дефектите са въведени показателите: разстояние между кожуха на кофата и течния метал проникнал в дефекта, диаметра на малката основа на пресечения конус, която е в челото на дефекта, остатъчната дебелина на стената, която е показател за цялостното износване на стената и диаметър на голямата основа на пресечения конус, която е разположена на вътрешната повърхност на изолацията. Изследването е проведено на базата на симулационни изследвания, като за целта е използван три-дименсионен математичен модел на огнеупорната изолация. За 72 различни ситуации, свързани с геометричните размери на дефектите са направени изчисления на температурните полета, възникващи на обвиващата стоманена повърхност на металургичните съоръжения. Анализиран е температурният профил и градиента на температурата в радиално направление на горещото петно. Въз основа на експертни знания и проведен корелационен анализ са избрани показатели на термограмата, характеризиращи влиянието върху нея на геометричните размери на износването. Изведени са седем регресионни математически модела, описващи връзката между избраните показатели на термограмата и показателите, характеризиращи износването. На следващ етап се решава задачата на нелинейното програмиране, при която се търсят стойностите на показателите характеризиращи износването, които минимизират в средноквадратичен смисъл разликите между показателите на термограмата и предсказаните показатели по математичните модели. Изследвана е и възможността за директно извеждане на зависимости на размерите на дефекта като функция на показателите на термограмата. Получените оценки за състоянието на огнеупорната изолация са основа за разработване на предсказващи математични модели на износването и вземане на решение за ремонтни дейности.

В73.Емил Михайлов, В. Петков, К. Бошнаков, Изследване на температурното състояние на изолацията на кофата в процеса на обработване и разливане на стоманата, Научни известия на НТСМ, „Дни на безразрушителния контрол 2012”, Година XX, брой 1(130), Юни 2012, стр.125-128.

Целта на настоящата работа е да бъде направена оценка на температурното поле по напречното сечение на топлинната изолация и топлинните загуби в процеса на експлоатация на стоманоразливните кофи през времето на цялата им кампания, между два основни ремонта на изолацията на металургична кофа. За провеждане на изследването, при отчитане на условията, при които протичат процесите е използван тридименсионен математичен модел на огнеупорната изолация, който е представен в настоящата работа. При математичното моделиране на индивидуален технологичен цикъл на работа на стоманоразливната кофа той е разделен на отделни работни периоди. Изследвани са температурните профили в рамките на избрани участъци на кампанията на кофата при различни дебелини на огнеупорната изолация. Установено е, че в края на кампанията на кофата топлинните загуби се увеличават двойно в сравнение с тези при новоизградена изолация, което изисква по-голям разход на електроенергия на кофъчно пещната инсталация за достигане и поддържане на необходимата температура за разливане. Това налага в процеса на предсказващото поддържане на оборудването, освен за безаварийна работа на кофата да се следи и за увеличаващия се разход на енергия, който е необходим за спазване на температурния режим, наложен от технологичния регламент.

В95.Е.Михайлов, М.Хаджийски, В.Петков, К.Бошнаков, Изследване на възможностите за диагностика на съставни дефекти в стената на стоманоразливна кофа, Международен симпозиум “Управление на енергийни, индустриални и

екологични системи”, 7 – 8 ноември 2013 г., Банкя, стр. 45-50. (Ще бъде отпечатан в списание „Автоматика и информатика” през 2014г.)

Настоящата работа е продължение на изследванията на авторите за оценка на възникнали дефекти в огнеупорната изолация на стоманоразливна кофа и остатъчната дебелина на стената въз основа на термографски анализ на температурното поле на повърхността и. Дефектите подлежащи на диагностициране са съставни, включващи два отделни дефекта с цилиндрична и елипсовидна форма на напречното сечение, които са позиционирани в различни конфигурации един спрямо друг. Въведени са показатели описващи съставния дефект и са изследвани различни комбинации от разположението на дефектите един спрямо друг. Проведени са симулационни изследвания при различни дебелини на общото износване на огнеупорната изолация и различни разстояния между центровете на отделните дефекти. В резултат на решаване на три-дименсионен математичен модел за оценка на температурното поле в огнеупорната изолация са получени повърхностните температурни полета за различните изследвани комбинации от елементите на съставния дефект. Установено е, че за случаите на ясно очертани ядра на горещото петно при разстояние между двата дефекта след анализ биха могли да бъдат използвани апроксимационните зависимости за определяне на дълбочината на всеки от тях, а за случаите на допир и припокриване на дефектите за установяване на точната дебелина в областта на дефекта трябва да бъдат използвани допълнителни процедури за прецизиране на получените резултати.

в) Моделиране на PS конвертор

В71.Бошнаков,К., Т.Гинчев, В.Петков, Е.Михайлов, Стратегия за предсказващо поддържане на Pierce-Smith конвертори, Годишник на Техническият университет-София, ISSN 1311-0829, Том 62, кн.1, 2012, стр.345-354, ISSN 1311-0829.

В настоящата работа е извършен анализ на управлението и техническото състояние на Peirce-Smith конвертори от гледна точка на предсказващото им поддържане. Конверторите се характеризират със силна взаимосвързаност между управлението на процеса и техническото състояние на огнеупорната изолация. Разгледани са технологията и съоръженията за конвертиране на мед, както и диагностиката и проблемите свързани с техническото поддържане на конверторите. Техническото състояние на огнеупорната изолация и процеса на конвертиране са представени като обекти за управление и е разработена блокова схема на двата взаимосвързани обекта. Съставени са математични модели, предназначени за предсказващо поддържане на конверторите, описващи изменението на средната дебелина на стената като функция на управляващи въздействия на процеса. Аналогични математически зависимости са изведени за продължителностите на първия и втория период на конвертиране. Формулирана е задачата за оптимизация за постигане на максимален брой плавки в една кампания на конкретен конвертор, при наложени равенствени ограничения върху производителността на конвертора и дебелината на стената при последната плавка и неравенствени ограничения върху управляващите въздействия. Разработен е и математичен модел за предсказване на състоянието на стената и съответно номерът на последната плавка в кампанията.

В88.Михайлов,Е., В.Петков, К.Бошнаков, Т.Гинчев, В.Хаджийски, Оценка на състоянието на огнеупорната изолация на конверторни агрегати в цветната металургия, „Дни на безразрушителния контрол 2013”, XXVII Международна конференция „Дефектоскопия’13”, 14-17 юни 2013, Созопол, България, Научни известия на НТЦМ, ISSN 1310-3946, XXI, 2 (139), 2013, стр. 309-313

Предмет на разглеждане е работещ в пирометалургичната индустрия Peirce-Smith конверторен агрегат. Направен е анализ на причините за износване и повреди на огнеупорната зидария и възможностите за мониторинг с помощта на термовизионна камера. За провеждане на изследването на влиянието на условията, при които протичат процесите и дебелината на огнеупорната изолация върху температурното поле на повърхността на стоманената конструкция на конвертора е разработен 3D модел на огнеупорната изолация. Получените резултати в комбинация с такива от термовизионно измерване могат да бъдат използвани за оценка на състоянието на огнеупорната изолация на конвертора. Установени са стойностите за температурите от повърхността при различни степени на износване на огнеупорния слой. На базата на получените резултати е формулиран критерий за провеждане на съответните ремонтни дейности на огнеупорната изолация въз основа на измерените с термовизионна камера стойности за повърхностната температура в областта от стената, намираща се срещу фурмите,. Разработения математичен модел може да бъде адаптиран и прилаган за провеждане на изследвания към други такива агрегати чрез задаване на размерите и топлофизическите характеристики на отделните топлоизолационни слоеве.

B99.Hadjiski,M., K.Boshnakov, Extended Supervisory Control of Peirce-Smith Converter, Proceedings of the Bulgarian Academy of Science, 2014г.

В статията се разглежда проблемът за обединяване на управление на технологичните процеси и на техническото поддържане на Peirce-Smith Converter (PSC), който е основен агрегат в пирометалургията на меден шейн. Реализацията на интегрирани системи от предлагания вид е все още въпрос на преодоляване на редица теоретични и приложни трудности. Предлага се нова система за управление и поддържане на конверторите, която да обедини икономическите и експлоатационните цели. Направен е анализ на голям обем експериментални изследвания, част от които са представени в статията и са направени главните изводи за създаване на системата за управление единият от които е, че подходи основаващи се на данни и на знания са подходящи за създаване на управляваща система. Създаден е математичен модел на деградацията на фурмения ред въз основа на данни в реално време. Създадена е система за подпомагане на вземането на ефективни решения (DSS) по техническото поддържане с отчитане на влиянието му върху хода на технологичния процес. Създадена е хибридна процедура за вземане на решение за подходящи действия по поддръжка на базата на предсказващ модел, система за логичен извод, основана на правила и метода на прецедентите (CBR).

г) Други

B72.Михайлов,Е., В. Петков, К. Бошнаков, И. Дойчев, Изследване на технологичните параметри на процесите на добиване и обработка на стоманата, Научни известия на НТСМ, „Дни на безразрушителния контрол 2012”, Година XX, брой 1(130), Юни 2012, стр.129-132.

В настоящата работа са изследвани технологичните параметри на процесите на добиване на стомана и следващата и обработка в кофъчно пещна инсталация (КПИ), на базата което е направена оценка за работата и възможностите за намаляване на разхода на електроенергия, времето на технологичния процес и температурния режим на метала. Въз основа на събрана от информация за технологичните цикли са построени и анализирани хистограми на емпирично разпределение за енергията за топене, енергията за окисление, общото количество електроенергия консумирана от пещта и относителната електроенергия изразходвана в кофъчно пещната инсталация. Изведени са регресионни зависимости, позволяващи предсказване на температурата след окисление, началната температура на стоманата след КПИ, крайната температура на

метала на КПИ и температурата на разливане е машината за непрекъснато разливане на базата на параметрите на предхождащите ги процеси. Изведените зависимости са предназначени за създаване на система „Съветник на оператора”.

B90.Glavcheva-Laleva,Z., G.Lalev, K.Boshnakov, Investigation the Dimensions of Concrete Crystals by Scanning Electrone Microscopy, Proceedengs 13th International Scientific Conference VSU'2013, 6-7 June, 2013, Sofia, Bulgaria, Vol.III, pp.IV-13-IV-16, ISSN 1314-071X.

В настоящата работа се изследва влиянието на суперпластификатори върху размерите на кристалите на бетона, като измерванията са направени със сканиращ електронен миктоскоп. Опитните образци са приготвени от смеси от български цемент с вода и различни суперпластификатори. По различни начини за анализ на изображенията от сканиращия микроскоп се измерват размерите на ръбовете на кубичните кристали от С₃А и се изчисляват средните стойности за отделните проби. За всяка от пробите се извършват паралелни измервания ръчно и със софтуерните продукти за обработка на изображения ImageJ и Fiji. Изчислява се отношението на размера на кубичните кристали към размера на единичните клетки на цемента. Получените резултата за отделните образци се осредняват. Изводът, който може да бъде направен е, че бетонните образци с по-малък размер на кристалите имат по-голяма якост на натиск.

В30.Бошнаков,К., Вземане на решения за оптимално оперативно управление на системите отопление, вентилация и климатизация на базата на модели, Международна научно-практическа конференция “Интегриране на енергоефективни решения и възобновяеми енергийни източници в нови и реновиращи сгради, 26-27 юни 2008, София, Парк хотел “Москва”, стр.142-151, CD, ISBN 978-954-961-51-6.

Предложена е стратегия за оптимално оперативно управление на системи за отопление, вентилация и климатизация. Стратегията се основава на математични модели описващи функционирането на техническото оборудване, топлинното състояние и динамиката на въздуха в помещенията, показателите за топлинен комфорт и динамиката на основните канали за регулиране. При настъпване на изменения в състоянието на околната среда и натоварване на помещенията се стартира оптимизационна процедура с цел изчисляване на нови задания за локалните системи за управление на първо йерархично ниво. Представени са математични модели и алгоритми за изчисляване на термичния комфорт чрез PMV (Predicted Mean Vote), зонални модели на помещение и изследвания на локалните системи за автоматично регулиране на първо йерархично ниво.

1.2.Теоретични проблеми на автоматичното регулиране на производствени процеси и обекти

B5.Hadjiski M, K. Boshnakov, V. Asenov, Predictive Functional Control of a TITO Systems, Third Triennial Conference on Applied Automatic Systems, AAS'03, Ohrid, Macedonia, 2003, pp.267-272, ISBN 9989-2175-1-3

Предмет на настоящата работа е проектирането на функционално предсказващи контролери (Predictive Functional Controllers (PFC) за многомерен обект с два входа и два изхода (TITO) с чисто времезакъснение. Изведени са математическите изрази за управляващите въздействия за всяка стъпка на управление за TITO обекта, който по всеки канал се описва с обект от първи ред с времезакъснение, а контролерите са PFC. За да се избегнат големи по амплитуда управляващи въздействия, върху управляващите въздействия са наложени ограничения по амплитуда (min/max) и по скорост. Ограниченията върху управляващите въздействия са отчетени при изчисляване на

стойностите на управляващите въздействия така, че да се спазят определени критерии за поведение на системата за управление. Този управляващ алгоритъм комбинира преимуществата на предсказващите алгоритми (добро поведение на системата за управление и успешно управление на системи с чисто закъснение) както и предимствата при използване на традиционната управляваща техника като надеждност и приложимост. Разработеният управляващ алгоритъм е изследван за топлинен обект 2x2 и изводите от проведените изследвания са, че разработеният подход е ефективен за мултимоделно TITO управление с фиксирани локални модели.

B26.Hadjiski, M., K. Boshnakov, V. Asenov, Stability of TITO Predictive Functional Control Systems, Proc. of the International Conference Automatics and Informatics'07, 3-6 October 2007, Sofia, Bulgaria, Vol. II, I-1-I-4, ISSN 1313-1850

Предмет на настоящата работа е изследване на система за автоматично регулиране на двусвързан обект (TITO), динамичните характеристики на който математически са представени с четири предавателни функции - апериодични звена с чисто времезакъснение. В статията е представен алгоритъмът на функционално предсказващо управление (PFC) без ограничения. Изведени са условията за устойчивост и са анализирани свойствата на областта на устойчивост на системата в зависимост от настроените параметри на управляващия алгоритъм. Областта на устойчивост се използва в процедурата за оптимизация на управляващите параметри. Алгоритъмът за функционално предсказващо управление е имплементиран в индустриален програмируем логически контролер. Поведението на TITO системата с PFC е демонстрирано с физически обект - лабораторен топлинен стенд.

B28.Hadjiski, M., K.Boshnakov, M.Nikolov, Fast prototyping of the system for energy blocks coordinated control on the base of real data, XI Международен симпозиум управление на топлоенергийни обекти и системи, 2-3 ноември 2007г., Старозагорски минерални бани, България, 9-14, ISSN 1313-2237.

Представени са резултатите от използване на методи основаващи се на данни за идентификация и бързо прототипиране на базата на симулиране на нестационарни режими на средни енергийни блокове. Първичните данни са получени от разпределените системи за автоматично управление монтирани в топлоелектрическите централи. Математичният модел на блока бойлер-турбина е с висока точност. На негова основа е разработена симулационна схема в среда Matlab/Simulink. Оценено е поведението на съществуващата система за управление. Синтезирана е нова управляваща структура, за която са намерени оптимални настройки на параметрите на управляващата система. Качеството на новопроектираната система за регулиране се подобрява около три пъти. Значително подобрене се наблюдава и при изследване на системата за управление със стойности на входните променливи постъпили от индустрията.

B25. Hadjiski, M., K. Boshnakov, M. Nikolov, Coordinated Boiler-Turbine Control System, ETAI 2007, September 19-21, Ohrid, Republic of Macedonia, available on CD, A4-1. ISBN 978-9989-2175-3-X

Изследвани са възможностите за първично и вторично управление на блок бойлер-турбина в топлоелектрически централи изгарящи въглища. Разработен е математичен модел на блока, който описва обекта с висока точност и е създадена симулационна схема в среда Matlab/Simulink. Направена е оценка на съществуващата в момента управляваща система. Разработена е нова управляваща структура и са настроени параметрите на системата за управление. Степента на подобрене в качеството на системата е около три пъти. Представени са симулационни резултати свързани с

работата на системата за реални стойности на входните променливи. Резултатите показват значително подобрене в поведението на системата.

B27. Hadjiski, M., K. Boshnakov, V. Asenov, G. Drianovski, D. Mitkov, M. Nicolov, Experience of MPC Application in Power Plants, Proc. of the International Conference Automatics and Informatics'07, 3-6 October 2007, Sofia, Bulgaria, Vol. II, I-21-I-24, ISSN 1313-1850

Представени са и се анализират резултатите от прилагане на моделно предсказващо управление (MPC) към различни обекти в топлоелектрическите централи в страната. Преди тяхното прилагане в индустриални условия са проведени обширни симулационни изследвания. Обектите върху, които са проведени изследванията са първичен паропрегревател, блок котел-турбина и пулверизационна система за мелещ вентилатор. На отделните обекти са изследвани системи за управление на базата на динамично матрично управление (DMC), моделно предсказващо управление (MPC) и линейно и нелинейно функционално предсказващо управление (PFC). Направен е анализ за приложимостта на различните алгоритми към конкретни експлоатационни условия.

B51.Fan,L.P., Yu.Z., Boshnakov,K., Adaptive Backstepping, Based Terminal Sliding Mode Control for DC-DC Converter. In:International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM), 22-24 October 2010 Tayuan, pp.V9-323-V9-327, ISBN 978-1-4244-7237-6, ISBN 978-1-4244-7235-2 01/2010; DOI:10.1109/ICCASM.2010.5623024, INSPEC Accession Number: 11630877

Разглежда се постояннотоков (DC-DC) понижаващ преобразовател. Този клас преобразователи са силно нелинейни и нестационарни, което е определящо за възникващите трудности при управлението им. Преобразователи са конструирани от ключ, бърз диод и RLC компоненти. В настоящата статия за управление на разглежданите постоянно токови преобразователи се прилага метод на хлъзгането с адаптивна стъпка назад, който е комбиниран с метод на хлъзгането с крайно време на регулиране. Резултатите, които се получават показват, че предлаганият метод на интегриране на двата подхода позволява системата да се адаптира към неопределеностите и да достигне установен режим за крайно време. Може да има по-широко приложение.

B60.Fan L.P., Jiang,L., Boshnakov, K., Fuzzy sliding mode control for boost converter, International Conference on Electric Information and Control Engineering (ICEICE), 15-17 April 2011, Wuhan , pp.4221 – 4224, ISBN 978-1-4244-8037-1, INSPEC Accession Number: 12126860, DOI [10.1109/ICEICE.2011.5777420](https://doi.org/10.1109/ICEICE.2011.5777420), IEEE Catalog Number: CFP1162K-PRT

Разглежданите мощни постоянно токови (DC-DC) електронни преобразователи са повишаващи. Те се характеризират със силна нелинейност и са нестационарни, което създава затруднения при автоматичното им управление. Разработени са и са сравнени резултатите от работата на две каскадни системи за автоматично регулиране. И на двете системи външният контур е изграден с ПИ регулатор и стабилизира изходното напрежение от преобразователя, а вътрешният контур, който работи в режим на хлъзгане регулира силата на тока. С цел да се намалят осцилациите предизвикани от работата в режим на хлъзгане във втората система в бързия контур е въведена размита логика. От проведените симулационни изследвания с двете системи за автоматично регулиране се вижда, че качеството на регулиране със системата, в която бързият контур е с размит регулатор, работещ в режим на хлъзгане е по-високо.

Бързодействието е по-голямо, статичната грешка е по-малка и амплитудата на осцилациите в резултат на работа в режима на хлъзгане е по-малка.

B98.Hadjiski,M., K.Boshnakov, Nonlinear Hybrid Control of Copper Converter, Proceedings of the Bulgarian Academy of Science, 2014г.

Създадена е хибридна нелинейна управляваща система за Peirce-Smith конвертори, които са съоръжения с периодично действие и се намират в технологична линия, в която другите съоръжения са с непрекъснато действие. Задачите за управление, които възникват са управление на ниво технологична линия и управление на ниво цикъл на конверторите. При променливост в условията, предизвикани от смущения, логистични проблеми, ерозия във фурмите и огнеупорната изолация и изискванията от гледна точка на диспечеризацията, конвенционалното базово управление не може да осигури непрекъсната ефективност и сигурност на конверторния процес. Разработена е нова система за супервайзорно управление на конверторния процес на ниво цикъл с цел намаляване на влиянието на субективния фактор на обслужващия персонал и повишаване на ефективността на конверторния процес. Създадената система за управление се основава на статични и динамични модели изведени на базата на данни, а въз основата на исторически данни са екстрахирани знания за процеса и управлението му. Системата за управление включва блокове на базата на модели и интелигентни блокове за изводи на базата на правила и на базата на прецеденти, което ще подобри ефективността на процеса на конвертиране при нововъзникващи и непредсказуеми ситуации.

1.3.Съвременни системи за управление на технологични обекти и системи (Advanced Control Systems)

B1.Dolanc, G, S. Gerksic, J. Kocian, D. Vrancic, S. Strmcnik, M. Bozicek, Z. Marinsek, I. Skrjanc, S. Blazic, A. Stathaki, R. King, M. Hadjiski, K. Boshnakov, ASPECT–Advanced Control Algorithms on Industrial Controllers, IFAC Symposium on Control Systems Design CSD’03, Bratislava, Slovakia, 2003, Elsevier IFAC Publications, Editors S.Kozak and M.Huba, 2004, pp.89-92, ISBN 0-08-044175-0, ISSN 1474-6670

В настоящата работа е представена съвременна система за управление ASPECT (Advanced control algorithmS for Programmable logiC conTrollers), разработена за нелинейни обекти и/или с голямо времезакъснение, характеризиращи се със слаба нестационарност. В голям процент от случаите регулирането на тези обекти с класически ПИД контролери не е с необходимото качество, даже и в областта на номиналния режим на обекта. Направено е описание на управляващата система и са приведени резултати от тестването и върху пилотна установка. Главните модули на предложената система за управление са модул включващ агентите за провеждане на експерименти върху обекта, за идентификация и съхраняване на математичните модели, управляващи агенти и агент за оценка на качеството на управление, модул - човеко-машинен интерфейс и конфигурационен модул. Основните управляващи алгоритми са: с размита gain-scheduling настройка на параметрите на управляващия контролер, функционално-предсказващо управление с компенсация на чистото времезакъснение и невронен ПИД алгоритъм. Параметрите на контролерите се настройват в съответствие с нелинеен математичен модел на процеса, който се идентифицира чрез автоматично провеждане на активен експеримент върху конкретния процес. Предлаганата управляваща система ASPECT (Advanced control algorithmS for Programmable logiC conTrollers) е имплементирана в три различни платформи на програмируеми логически контролери.

B7. Kocijan, J., D. Vrancic, G. Dolanc, S. Gerksic, S. Strmcnik, I. Skrjanc, S. Blazic, M. Bozicek, Z. Marincek, M. Hadjiski, K. Boshnakov, A. Stataki, R. King, Auto-tuning Non-linear Controller for Industrial Use, International Conference on Industrial Technology, ICIT'03 Maribor, Slovenia, 2003, pp.906-911, ISBN 0-7803-7853-9, IEEE Catalog Number: 03TH8685C.

Представена е съвременна система за управление ASPECT (Advanced control algorithmS for Programmable logic controllers), като вниманието е насочено към on-line работещият (изпълним) модул (Run-Time module). Описано е предназначението и принципа на действие на всеки от съставните агенти на модула и комуникацията за външни за него модули и агенти, както и един от контролерите в агента за управляващи алгоритми (Control Algorithm Agent (CAA). Описаният контролер е с Fuzzy Gain-Scheduling на параметрите. Проведени са изследвания на контролера, който е част от системата за управление ASPECT, която е имплементирана в програмируемия логически контролер INEA Mitsubishi SPAC20. Обектът, върху който са проведени експериментите е пилотна инсталация за сепариране на димни газове. Проведени са експерименти за регулиране на налягането, като в единия случай е включен ПИ регулатор с фиксирани настройки, а в другия – ASPECT с изследвания алгоритъм. Открояват се следните по-важни предимства на ASPECT пред стандартния ПИ регулатор: процедурата по въвеждане в експлоатация на ASPECT е опростена, адаптира се към изменения в управлявания процес и качеството на управление е близо до оптималното.

B2. Gerksic S, J. Kocijan, S. Strmcnik, G. Dolanc, D. Vrancic, I. Skrjanc, S. Blazic, M. Bozicek, Z. Marinsek, M. Hadjiski, K. Boshnakov, R. King, A. Stathaki, ASPECT: Industrial self-tuning Nonlinear Controller on a PLC, IEEE International Conference on "Computer as a tool", EUROCON 2003, Ljubljana, Slovenia, 2003, Vol.1, pp.357-361, ISBN 0-7803-7763-X, IEEE Catalog Number : 03EX665, DOI [10.1109/EURCON.2003.1248043](https://doi.org/10.1109/EURCON.2003.1248043), Library of Congress: 2002117046, INSPEC Accession Number: 7861784.

Предмет на статията е представянето на самонастройващ се нелинеен контролер ASPECT (Advanced control algorithmS for Programmable logic controllers), който е проектиран за управление на важен клас от нелинейни процеси, които могат да бъдат представени като набор от локални линейни динамични математични модели от нисък ред. Локалните модели се разработват на базата on-line обучаваща процедура, включваща пасивни или автоматично провеждани активни експерименти и следваща идентификация на преходните характеристики. Предвидена е възможност за избор на управляващ алгоритъм, който е най-подходящ за конкретния процес. Параметрите на управляващите алгоритми се настройват автоматично въз основа на набора от локални математични модели. Качеството на преходните процеси се следи автоматично от специализиран агент. ASPECT е проектиран, така, че софтуерът, който го реализира да може да бъде имплементиран в индустриален хардуер като програмируем логически контролер или "отворен" контролер. Приведени са тестови изпитания с ASPECT за регулиране на pH на неутрализационен процес и за сравнение с ПИ регулатор.

B4. Hadjiski, M, S. Strmcnik, K. Boshnakov, S. Gerksic, N. Christova, J. Kocijan, On-line Control Performance Monitor with Robust Properties, 2003 IEEE International Conference on Industrial Technology, ICIT'03 Maribor, Slovenia, Vol 2, pp.918-923, ISBN 0-7803-7853-9, IEEE Catalog Number: 03TH8685C, DOI [10.1109/ICIT.2003.1290782](https://doi.org/10.1109/ICIT.2003.1290782), INSPEC Accession Number: 7994432.

Разглежда се разработеният монитор за качеството на управление (Control Performance Monitor(CPM), който е агент в управляващата система ASPECT (Advanced control algorithmS for Programmable logiC conTrollers). Той е проектиран за оценка на поведението на едноконтурна система за автоматично регулиране и се основава на оценка на главните показатели за качеството на преходния процес. Въз основа на тях се формира интегриран показател за поведението на системите за регулиране. Въведени са следните показатели за качеството на преходния процес: пререгулиране, степен на затихване, време за затихване, брой на максимумите за определено време. Тези показатели се обобщават в два създадени на различен принцип интегрирани индекси на поведението (Performance Index (PI). Първият от тях е на базата на алгебрични операции върху индивидуалните показатели на качеството, а втория е на базата на размита логика и изводи на базата на правила, които се основават на експертен опит. Приведена е блоковата схема на CPM и резултати от експериментиране на монитора на качеството на системите за управление. CPM индицира на ранен етап недопустими поведения на системите за автоматично регулиране и също дава определена диагностична информация.

B18.Gerksic, S.; Dolanc, G.; Vrancic, D.; Kocijan, J.; Strmcnik, S.; Blazic, S.; Skrjanc, I.; Marinsek, Z.; Bozicek, M.; Stathaki, A.; King, R.; Hadjiski, M.; Boshnakov, K., Advanced control algorithms embedded in a programmable logic controller, **Control Engineering Practice, Volume 14, Issue 8, 1 August 2006, Pages 935-948, ISSN: 0967-0661, DOI: 10.1016/j.conengprac.2005.05.006., On first place of Top 25 Hottest Articles of Control Engineering Practice, April-June 2007, http://top25.sciencedirect.com/index.php?subject_area_id=12&journal_id=09670661&at_id=12**

Настоящата статия представя иновативен самонастройващ се нелинеен контролер ASPECT (Advanced control algorithmS for Programmable logiC conTrollers). Той е предназначен за управление на силно нелинейни процеси, свойствата на които се изменят значително в операционната зона. Контролерът включва три съвременни управляващи алгоритъма. Контролерът е проектиран на базата на концепцията на агентно-базираните системи използвана с цел да се автоматизират някои от конфигурационните задачи. Управляваният процес се представя с набор от локални динамични модели от нисък ред, параметрите на които се идентифицират на базата на on-line обучаваща процедура. Тази процедура комбинира идентификацията на модела с преди и след идентификационни стъпки с цел да осигури надеждна работа на контролера. Контролерът осъществява мониторинг и оценява поведението на затворената система. Контролерът е имплементиран в програмируем логически контролер (PLC). Работата на контролера е илюстрирана, чрез изпитания върху управление на налягането на хидравличен клапан.

B21.Hadjiski,M., N.Deliiski, K.Boshnakov, Thermal Comfort-Based MPC of Air Handling Unit, Preprints of the IFAC Workshop, Energy Saving Control in Plants and Buildings, 3-5 October 2006, Bansko, Bulgaria, pp.81-86, ISBN: 9549641473, 9789549641479, IFAC PapersOnLine DOI 10.3182/20061002-4-BG-4905.00014.

Разглеждат се математичното моделиране и моделно предсказващото управление (MPC) на термичния комфорт (MPC) в дървени къщи, чрез въздействие върху разхода на топъл въздух. Приложен е подходът на аналитичното математическо моделиране със следваща апроксимация на резултатите от численото решение. Приема се, че състоянието на въздуха вътре в помещенията може да бъде представено като комбинация от „бърз“ и „бавен“ взаимосвързани динамични компоненти. Изведени са

съответните два математични модела, които се използват в две различни управляващи подсистеми. Предложено е координиращо супервайзорно ниво за да се задоволят двете изисквания за термичен комфорт и енергийна ефективност. Представени са симулационни резултати при вътрешни и външни смущения.

1.4.Интелигентни системи

а) Многоагентни системи

B13.Hadjiski, M., K. Boshnakov, N. Christova, and A. Terziev, Multi Agent Simulation in Inference Evaluation of Steam Boiler Emission, 19th European Conference on Modelling and Simulation ECMS 2005, Riga, Latvia, June 1 – 4, 2005, pp. 552-557, ISBN 1-84233-112-4.

Разработена е многоагентна предсказваща мониторингова система, която включва примитивни и интелигентни агенти. Комбинирани са предсказваща (PEMS) и непрекъсната (CEMS) емисионни мониторингови системи. За създаване на предсказващата емисионна мониторингова система е използван мултимоделен подход и следващо агрегиране на математичните модели. Обединяването на възможностите на двете мониторингови системи позволява повишаване на надеждността и дава възможност за заместване на липсващи данни в случаите на откази на сензорите. Мултиагентната част на разработката е на базата на концепцията на JADE (Java Agent Development Environment).

B22.Хаджийски,М., К.Бошнаков, Многоагентна система за управление на системите за климатизация и вентилация в ТЕЦ на базата на софтсенсинг, Сборник доклади на Международния симпозиум “Управление на топлоенергийни обекти и системи, Бобов дол, 26-27 октомври 2006, стр.9-12, ISBN–10:954-9641-49-X, ISBN-13:978-954-9641-49-3

Предмет на разглеждане е създаване на многоагентна система за управление на системи за климатизация и вентилация в топлоелектрически централи, като основен подход за on-line оценяване на състоянието на работната среда е комбинираното използване на преки измервания и софтуерни сензори. Базов показател е Predicted Mean Vote (PMV), който съдържа шест компонента, три от които са пряко измерими – температура, влажност и скорост на въздуха в помещението, а другите три – радиантна температура, метаболитна активност и топлинна изолация на дрехите се оценяват по косвени показатели. Предложени са променлива измервателна структура, гарантираща най-добри условия за софтсенсинг при всички възможни условия, чрез реконфигурация на косвените измерителни параметри и регресора. За оценяване на метаболитната активност и изолационната способност на дрехите е приложена размита логика, а за оценка на качеството на регулиране – система за мониторинг на поведението (Control Performance Monitor). Разработена е схема за многокритериална оптимизация по отношение на термичния комфорт изразен чрез PMV и консумираната енергия. Представена е структурираната схема на многоагентна система за управление на термичния комфорт. Многоагентната реализация предоставя гъвкавост на системата по отношение на конфигурация, алгоритми за софтсенсинг, оптимизация и управление и предоставя възможност за по-леко включване на експертно знание.

B32.Бошнаков,К., А.Терзиев, М.Тодорова, Тестване и верификация на мултиагентни системи, Международен симпозиум “Управление на топлоенергийни обекти и системи”, 14-15.11.2008 г., Старозагорски минерални бани, стр.33-37, ISSN 1313-2237.

В настоящата работа се разглеждат проблемите свързани с тестване и верификация на многоагентни системи. При тестване на софтуерните агенти е установено, че е възможно многоагентните системи и отделните агенти да се третират като стандартна софтуерна система и да се приложат утвърдените методи за тестване. Друг извод, който е направен е, че стандартните платформи за тестване на Java приложения до голяма степен задоволяват изискванията за тестване на многоагентни системи.

В70.Бошнаков,К., М.Хаджийски, Многоагентни системи за мониторинг и управление на технологични процеси, сп. „Автоматика и информатика”, бр. 3, 2011, стр. 11-15, ISSN 0861-7562.

В настоящата статия са разгледани теоретичните и лабораторни изследвания, свързани с агентите и многоагентните системи, както и конкретни разработки за мониторинг и управление на технологични процеси. Разгледани са свойствата и класификациите на агентите, най-разпространените агентни архитектури, многоагентните системи, комуникацията между агентите и най-разпространените развойни системи за създаване на многоагентни приложения. Представени са конкретни разработки за многоагентен софтсенсинг за екологичен мониторинг в ТЕЦ и многоагентна система за супервайзорно управление на станция за пречистване на битови отпадъчни води. В многоагентната система за екологичен мониторинг постъпва информация от шест източника, четири от агентите са интелигентни, а останалите девет са примитивни. Многоагентната система е реализирана на алгоритмичния език Java на базата на развойната система JADE. Комуникацията между агентите се извършва съгласно спецификациите на FIPA. Данните и отчетите се съхраняват в обща база данни. Системата за екологичен мониторинг реализира предсказваща емисионна мониторингова система (PEMS). Резултатите се генерират съгласно нормативните изисквания в Република България. Разработената функционално-обектна структура на многоагентна система за управление на пречиствателна станция за отпадъчни води е предназначена за съвместно решаване на задачите за управление на технологичните процеси и техническото поддържане на станцията. В процеса на разработването на системата са формирани и реализирани определен брой принципи, които са изложени в статията. Разгледана е и разработената многоагентна система за отказоустойчиво супервайзорно управление на биореактор за пречистване на отпадъчни води. Представена е опростена блокова схема на системата за супервайзорно управление. Акцентирано е върху две подсистеми реализирани с интелигентни агенти: подсистема за отказоустойчиво управление с използване на базовите регулатори надстроени с мултиагентна подсистема и подсистема за диагностика и разпознаване на ситуации. Илюстрирана е работата на системата за управление при настъпила повреда и е показано, че супервазорната система овладява процеса с минимални нарушения на ограниченията.

б) Изводи на базата на прецеденти (Case-Based Reasoning (CBR))

В59. Бошнаков,К., Л.Антонов, А.Атанасов, Сравнителен анализ на софтуер, реализиращ метода на прецедентите в задачите на диагностиката, Proc. of the Anniversary Scientific Conference with International Participation “40 Years Department of Industrial Automation”, University of Chemical Technology and Metallurgy-Sofia, Bulgaria, 18.03.2011, pp.89-94, ISBN 978-954-465-043-8.

Целта на настоящата статия е да се направи сравнителен анализ на некомерсиален софтуер за реализиране на изводи на базата на прецеденти (Case-Based Reasoning (CBR)). Посочени са най-разпространените комерсиални и некомерсиални софтуерни инструменти за реализиране на CBR. Разгледани са класическият R4 цикъл,

особеностите на системите реализирани на базата на CBR, възможностите за използване на подхода за целите на предсказващото поддържане и областите на приложение на CBR. Анализирани са възможностите на следните некомерсиални софтуерни продукти за CBR: myCBR, jCOLIBRI, CBR*Tools, CAT-CBR и CAPSIAN. За количествена оценка на качествата на софтуерните продукти по аналогия с метод за оценка на софтуерни платформи за многоагентни системи е разработен алгоритъм за количествена експертна оценка. Формирани са десет групи от по няколко показателя. Най-високи оценки получават софтуерните продукти myCBR и jCOLIBRI, като всеки от тях има предимства в различните области на приложение.

B81.Бошнаков, К., А. Атанасов, Прогнозиране на продължителността на кампаниите на Pierce-Smith конвертори основаващо се на прецеденти, сп. “Автоматика и информатика”, год. XLVI, 5-6, 2012, стр.187-190, ISSN 0861-7562

Целта на настоящата работа е разработване на процедура за прогнозиране на броя на циклите в една кампания на Peirce-Smith конверторите, през които конверторите ще работят безаварийно и с допустими енергийни загуби. Разработен е специализиран модул от системата за предсказващо поддържане на конверторите. Прогнозата се извършва на базата на текущото състояние на конвертора и оценката на риска. Като метод за прогнозиране се използва извод на базата на прецеденти (Case-Based Reasoning (CBR), които са формирани въз основата на експертен опит и натрупани знания. За формулиране на „проблема” в прецедентите са включени следните атрибути: номер на плавката, броят на забитите фурми до настоящата плавка, координатата на центровете на клъстерите, в които са класифицирани най-износените фурми от фурмения ред, фурмите със средна степен на износване и фурмите с най-малко износване, разстоянието между центровете на крайните клъстери, сумарното време на първия и втория период на конвертиране и комплексен показател за риска. „Решението” на прецедента включва броят на плавките до приключване на съответната кампания, от които се изчислява и оставащото време на използване. В статията е представена начална база с прецеденти, включваща дванадесет прецедента. Модулът за прогнозиране е реализиран със софтуерния пакет MyCBR.

B92.Hadjiski,M., K.Boshnakov, Z. Georgiev, Benchmarking of Industrial Control Systems via Case-Based reasoning, Proceedings of the Anniversary Scientific Conference with International Participation “60 Years UCTM”, 5,6 June 2013, Sofia, Bulgaria, pp.46-50

Настоящата работа е насочена към създаване на методи и алгоритмично осигуряване на виртуален консултационен център за управление на пречиствателни станции за отпадъчни води в частта системи за регулиране на технологични процеси. Като инструмент за анализ и сравняване на качеството на изследваните системи за управление в отделните инсталации е избран бенчмаркингът. За реализиране на идеята за виртуален консултационен център в частта системи за управление е разработен обобщен алгоритъм за бенчмаркинг и параметрична оптимизация на системи за автоматично управление., който се основава на метода на прецедентите (Case-Based Reasoning (CBR). Разработени са прецеденти за настройка на едноконтурна система за регулиране на концентрацията на разтворен кислород в биобасейна и на каскадна система за регулиране на концентрацията на амониев азот на изход от биобасейна. В качеството на показател за качеството на системите за автоматично регулиране е формиран показател за ефективност, който включва консумираната електрическа енергия и показателя на Harris за качеството на преходния процес. Бенчмаркинга на системите за автоматично регулиране се извършва по метода за обвиване на данни

(Data Envelopment Analysis). Приведени са резултати за относителната ефективност на десет системи за автоматично регулиране, работещи при различни стойности на настройечните параметри. Комбинирайки исторически данни, метода за обвиване на данни и метода на прецедентите основаващ се на експертни знания е създаден алгоритъм за оптимална настройка на системи за управление.

В96.Томова, Ф., А.Атанасов, К.Бошнаков, Приложение на ВІ интерактивните табла за целите на CBR, Международен симпозиум “Управление на енергийни, индустриални и екологични системи”, 7 – 8 ноември 2013 г., Баня, стр. 81-84 (Ще бъде отпечатан в списание „Автоматика и информатика”през 2014г.)

Анализирани са възможностите на платформата за Microstrategy, за решаване на задачи свързани с изводите на базата на прецеденти (Case-Based Reasoning (CBR). Представени са етапите на класическия R⁴ цикъл при CBR. Разработени са следните модули на базата на разглеждания софтуерен продукт за реализиране на система за предсказващо поддържане на Peirce-Smith конвертори: Модул за първична обработка на постъпилите данни и организацията им в базата данни, модул за анализ на състоянието на фурмения ред, модул за отстраняване на груби грешки в измерванията и изглаждане на суровите данни и модул за вземане на решение за управление на фурмения ред, който реализира стадия „извличане” (retrieve) при метода на прецедентите на базата на Евклидово разстояние. За всеки един от модулите са представени разработените интерфейси за комуникация със системата за предсказващо поддържане.

в) Софтуерни платформи

В3.Добруджалиев,Д., К.Бошнаков, Р.Бахчеванова, Психологични аспекти на човекомашинния интерфейс, Научна конференция с международно участие „Стара Загора’2003”, 5-6 юни 2003, Том IV, стр.172-176, ISBN 954-9329-06-2

Анализирани са и са обобщени основните ергономични изисквания към човекомашинните интерфейси и най-често използваните хардуерни и софтуерни платформи за тяхното създаване. При направените анализи са отчетени двете противоречиви тенденции едната от които е за малък обем на информация и простота, а другата за голям обем на информация и сложност. Изводите и препоръките се отнасят за архитектурата на интерфейса и специалните функции за представяне на текст, графични изображения, кога е необходимо кодиране на информацията и оптимизация на диалозите. Анализирани са причините за появата на стрес при активно и продължително използване на човеко машинни интерфейси.

В79.Томова,Ф., А.Атанасов, К.Бошнаков, Възможности на софтуерната платформа Microstrategy за интелигентна обработка на данни, сп. “Автоматика и информатика”, год. XLVI, 5-6, 2012, стр.174-177, ISSN 0861-7562

Представени са възможностите на софтуерния продукт MicroStrategy (MS) от гледна точка на използването му като платформа за разработване на система за предсказващо поддържане. Създадена е база данни за състоянието на фурмите във фурмения ред на Peirce-Smith конвертори, която включва записи съдържащи номер на конвертора, дата на началото на плавката, номер на плавката, номер на фурмата и дебелината на стената при съответната фурма. За провеждане на статистически анализ на суровите данни са използвани стандартни процедури на MS и в статията е представена извадка от анализа. Анализирани са стандартните за MS методи на изглаждане и е направена оценка на точността им. Избран е методът, който дава най-добро приближение до реалните данни.

Приложени са графики с резултати за различните методи на изглаждане и таблица за избрания метод.

2.Мониторинг и софтсенсинг на промишлени и екосистеми

2.1.Мониторинг на замърсяване от ТЕЦ

В8.Бошнаков, К., М. Николов, Изчислителни процедури и оценяване на точност в системите за непрекъснат емисионен мониторинг, Симпозиум с международно участие “Автоматизация на топлоенергийни обекти и системи”, Бобов дол, 2003, стр.11-14. ISBN 954-9641-37-6.

Представени са и са анализирани актуалните изисквания за екологичен мониторинг на вредните газове от топлоелектрическите централи. Описани са изискванията към системите за непрекъснат емисионен мониторинг за точност включващи тестовете за линейност, калибрационен дрейф и относителна точност и изместване съгласно съществуващите международни и национални стандарти. От гледна точка на проектиране на автоматични системи за емисионен мониторинг, въз основа на законите за идеалните газове са изведени математичните изрази, по които да се реализират изчислителните процедури за обработка на първичните измервания.

В11.Хаджийски, М., К.Бошнаков, Екологичен мониторинг в ТЕЦ основаващ се на математични модели, Сборник доклади на Международния симпозиум “Управление на топлоенергийни обекти и системи”, Бобов дол, 5-6 ноември, 2004, стр.7-12, ISBN 954-9641-40-6

Разгледани са двете възможности за реализиране на емисионен мониторинг: чрез системи за непрекъснат емисионен мониторинг и чрез използване на математични модели на базата на косвени измервания и създадените на тяхна база предсказващи емисионни мониторингови системи. Една от целите на настоящата работа е определяне на заместващи стойности за газовите емисии в случаи на отсъстващи преки измервания в резултат на недостатъчна честота на преките измервания и при кратковременни откази на автоматичните газоанализатори. Анализът на резултатите от различните изследвани подходи показва, че най-висока точност при определяне на заместващи стойности за газовите емисии се постига при комбинирано използване на интерполация и предсказване по математичен модел, включващ косвено измервна информация. Друга цел е анализ на предсказващите възможности на осем типа математични модели, описващи взаимовръзката между концентрациите на O_2 , NO_x и SO_2 в димоходите от една страна и управленията, състоянията и преките измервания в собствения и съседния димоход на разглеждания парогенератор. Анализирани са възможностите за използване на комбинирани математични модели с цел повишаване на точността на предсказване. Разработен е софтуерен сензор за оценяване на съдържанието на влага в димните газове въз основа на измерване на “мокър” и “сух” кислород, който е въведен в редовна експлоатация на два обекта и оценяването на влага се извършва с висока точност.

В12.Бошнаков,К., А.Терзиев, Система за Интернет базиран екологичен мониторинг, Сборник доклади на Международния симпозиум “Управление на топлоенергийни обекти и системи”, Бобов дол, 5-6 ноември, 2004, стр.13-17, ISBN 954-9641-40-6

Разработена е и е тествана експериментално система за Интернет базиран екологичен мониторинг за топлоелектрически централи. Системата позволява дистанционно на компютър или мобилен телефон да се получава информация за текущото състояние на

енергоблока и екологично характеризиращите го променливи от произволно местоположение. Системата за екологичен мониторинг е разработена на Java и е предназначена за неограничен брой потребители. Системата включва модул за достъп до базата данни, модул за генериране на графики, модул реализиращ потребителски WEB интерфейс и модули за аларми. За реализиране на мобилна комуникация е използван Wireless Application Protocol (WAP), като за целта е разработен WAP интерфейс към системата за екологичен мониторинг. Системата за екологичен мониторинг е тествана с данни от редовната експлоатация на топлоелектрическа централа. Системата може да бъде приложена към конкретни индустриални обекти след като се направят специфични за обекта настройки.

B14.Hadjiski, M., K. Boshnakov, and N. Christova, Simulation – Based Predictive Emission Monitoring System, 19th European Conference on Modelling and Simulation ECMS 2005, Riga, Latvia, June 1 – 4, 2005, pp. 697-702, ISBN: 1-84233-112-4.

Създадена е предсказваща емисионна мониторингова система (PEMS) с цел възстановяване на липсващи данни в резултат на по-ниска честота на измерване в сравнение с нормативно постулираната или поради отказ на сензорите. Направен е сравнителен анализ на изведените математични модели. По предсказващи възможности са ранжирани 12 индивидуални модела, включително и софтуерни сензори и комбинации от тях. Направени са препоръки за проектиране на предсказващи емисионни мониторингови системи за топлоелектрически централи изгарящи въглища.

B29.Николов, М., К.Бошнаков, Проблеми на разработката и внедряването на интегрирани системи за екологичен мониторинг и енергийна ефективност в ТЕЦ, XI Международен симпозиум управление на топлоенергийни обекти и системи, 2-3 ноември 2007г., Старозагорски минерални бани, България, ISSN 1313-2237.

Разгледани са проблемите при разработването и въвеждане в редовна експлоатация на интегрирани системи за екологичен мониторинг и енергийна ефективност в топлоелектрическите централи (ТЕЦ). Анализирани са необходимостта от разработване и внедряване на проекти от този клас, както и предпоставките и възможностите за внедряване на интегрирани системи за комбинирана оптимизация в ТЕЦ. Приложен е списък с проектираните и внедрени системи за емисионен мониторинг, в които Стартиженеринг е водещ изпълнител, а специалисти от Химикотехнологичния и металургичен университет са научни консултанти и участници в работните колективи. Разгледани са структурата и реализацията на проекти свързани с екологичен мониторинг и енергийната ефективност и е направен икономически анализ на проектите.

B33.Бошнаков,К., Математични модели за емисионен мониторинг и управление в ТЕЦ, Сборник с доклади на Националната научно-техническа конференция с международно участие, “Автоматизация в минната индустрия и металургията”, БУЛКАМК’08, 27-28 ноември 2008г., Национален дом на науката и техниката, София, стр.3-10, ISBN 978-954-92219-3-0

Целта на настоящата работа е създаване и изследване на математични модели за създаване на комбинирани емисионни мониторингови системи. Част от математичните модели се основават на редки измервания на емисиите на кислород, азотни оксиди и серен диоксид, а друга част от математичните модели се основават на измерими управляващи въздействия и регулируеми променливи на блока. Приложените функционални зависимости за създаване на математични модели са регресионни, невронни мрежи и невро-размити системи. Предназначението на една част от математичните модели е възстановяване на липсващите данни, а на друга част е за

управление на топлоелектрическите централи (ТЕЦ) при екологични ограничения. Направен е сравнителен анализ между отделните математични модели.

2.2.Софтсенсинг

В15.Хаджийски,М., К.Бошнаков, Многоагентен софтсенсинг за екологичен мониторинг в ТЕЦ, Международен симпозиум “Управление на топлоенергийни обекти и системи”, Бобов дол, 3-4 ноември, 2005, стр.1-5, ISBN 954-9641-45-7

Изследвани са възможностите за създаване и реализиране на комбинирана система за емисионен мониторинг въз основа на непрекъснат и предсказващ емисионен мониторинг. При разработваната комбинирана система съществено се намаляват разходите за приборите за газов анализ, понеже комбинираната система се основава на конфигурация с минимален брой газоанализатори снабдени с мултиплексори. При съвместна работа на системи за емисионен мониторинг системите за предсказващ мониторинг позволяват генериране на заместващи стойности за концентрациите на газовите компоненти при недостатъчна честота на преките измервания и при кратковременни повреди на измерителните системи. Анализирана е целесъобразността от използване на многоагентна система и са изброени нейните предимства пред традиционния подход за създаване на софтуера за обработка и класификация на информацията. Разработена е многоагентна система за екологичен мониторинг включваща четири интелигентни агента и девет примитивни. Постъпващата в мониторинговата система сигнали са класифицирани в шест групи в зависимост от тяхното естество. За софтуерна реализация на системата е използвана развойната система JADE (Java Agent Development Environment). Системата е тествана при три различни ситуации, а именно всички агенти са на една машина, на различни машини в локална мрежа и на различни машини в Интернет.

В16.Бошнаков,К., А.Терзиев, Сравнение между софтуерни платформи за реализация на многоагентен софтсенсинг, Международен симпозиум “Управление на топлоенергийни обекти и системи”, Бобов дол, 3-4 ноември, 2005, стр.59-63, ISBN 954-9641-45-7.

Направено е сравнение на базата на експертни оценки на определен набор от комерсиални софтуерни и платформи с отворен код за реализиране на многоагентни системи. След предварителен анализ, оценявайки изискванията към системите за софтсенсинг са избрани шест развойни системи, които са подложени на експертна оценка. За оценка на отделните развойни системи е разработена схема с тегла, в която за оценка на полезността на отделните показатели се използват размити понятия като например „желателен“, „полезен“ и „задължителен“. А за оценката на отделните показатели на конкретната развойна система са въведени размитите понятия като „поддържа се“, „частично се поддържа“ и „не се поддържа“. След направените експертни оценки е избрана развойната система JADE (Java Agent Development Environment), с която е работено в продължение на няколко месеца. Въз основа на тези наблюдения са направени изводи за нейните възможности по всеки един от показателите за оценка.

В23.Бошнаков,К., И.Георгиев, Р.Ангелов, Интелигентен сензор за оценяване на термичния комфорт на работната среда в ТЕЦ, Сборник доклади на Международния симпозиум “Управление на топлоенергийни обекти и системи, Бобов дол, 26-27 октомври 2006, стр.17-21, ISBN–10:954-9641-49-X, ISBN-13:978-954-9641-49-3.

Разработен е софтуер за изследване на математическото описание постулирано от ISO за изчисляване на показателите за термичен комфорт Predicted Mean Vote (PMV) и Predicted Percentage Dissatisfied (PPD) при голям брой различни стойности на променливите участващи при формирането им. Разработени и тествани са алгоритъм и софтуер за реализиране на интелигентен сензор за PMV/PPD на персонален компютър. Разработени са хардуер и софтуер за микрокомпютърна реализация на мултисенсорен модул за текущо изчисляване на PMV/PPD. Предложени са две решения за реализиране на сензорни мрежи с включване на определен брой мултисензорни модула – едното на базата на жична, а другото – на базата на безжична комуникация.

В31.Бошнаков,К., А. Терзиев, И. Георгиев, Микроконтролерна реализация на многоагентни системи за екологичен мониторинг, Международен симпозиум “Управление на топлоенергийни обекти и системи”, 14-15.11.2008 г., Старозагорски минерални бани, стр.27-31, ISSN 1313-2237.

Настоящата работа е насочена към реализиране на сензорна мрежа от агенти, които захранват с данни многоагентна система на по-високо йерархично ниво с цел реализиране на софтуерен сензор и попълване на липсващи стойности от измервания. Проектиран е хардуер за сензорен възел, реализиран на базата на микроконтролер и е разработена обобщена логика на хардуерния агент. Представени са функциите свързани с препроцесинга на данните, постъпващи в многоагентната система. Разгледани са проблемите свързани с оптимизиране на изходния код и модуларизация на системния софтуер за да съответства на модулната хардуерна концепция.

В37.Бошнаков,К., С.Юруков, Софтуерни сензори в системите за пречистване на отпадъчни води, Международен симпозиум „Управление на топлоенергийни обекти и системи”, 6-7.11.2009, Паничище, стр. 21-25, ISSN 1313-2237.

Структурата и ефективността на системите за управление на пречиствателните станции за отпадъчни води (ПСОВ) в голяма степен се определят от възможността за автоматично измерване на състава на водата в различните точки на станцията. С напредване на технологиите стават достъпни сензори и автоматични анализатори на състава на водите, но при тях основните проблеми, които възникват са сравнително високата им цена и ненадеждната работа на някои от тях. Целта на настоящата работа е разработване и изследване на софтуерни сензори на базата на променливи, които се измерват с висока надеждност и с евтини сензори. Разработваните софтуерни сензори се основават на данни. Разработеният и изследван сензор за нитратен азот предсказва с достатъчно висока за практиката точност концентрацията на нитратния и нитритен азот, което позволява прилагането му в пречиствателните станции. Разработена е процедура за адаптация на софтуерните сензори по редки измервания, които традиционно се извършват в пречиствателните станции. Разработена система за възстановяване на едно от основните смущаващи въздействия върху работата на ПСОВ - концентрацията на амониев азот на вход на биологичното пречистване. Възстановяването на едно от основните входни смущения заедно с адаптиран математичен модел към конкретната пречиствателна станция позволява използване на математичния модел в качеството на софтуерен сензор за други неизмерими компоненти по линията на водата., за който е разработен софтуерен сензор.

3.Диагностика и предсказващо поддържане на индустриални обекти

3.1.Методични проблеми на диагностиката и предсказващото поддържане

В47. Петков,В., Е.Михайлов, К.Бошнаков, Г.Ружеков, и С.Койнов, Диагностика с пасивна и активна инфрачервена термография, сп. „Автоматика и информатика”, бр. 3, 2010, стр.19-23, ISSN 0861-7562.

В статията се разглеждат съвременните подходи за пасивна и активна инфрачервена термография и възможностите за използването им за диагностика на състоянието на технологични съоръжения. Пасивната термография при сканиране на изследваната повърхност с инфрачервена камера дава информация за повърхностната температура на обекта в топлинно равновесие. Активната термография се използва за неразрушаващ контрол в случаите, когато не съществува температурен профил върху изследваната повърхност. Като най-разпространени са импулсната термография, термография на базата на прилагане на хармонични топлинни въздействия към обекта и импулсно-фазовата термография. Разработен е и представен стенд за активна термография, работещ на принципа на импулсната термография, предназначен за откриване на дефекти в обема на изследвания материал. Като генератор на топлинна енергия се използват четири халогенни лампи управлявани от персонален компютър. Термограмите по време на провежданите изследвания се снимат с инфрачервена термовизионна камера. Приложена е термографска снимка, на която се виждат четири дефекта в материала, както е видима и разликата в размерите им.

В53. Михайлов,Е., В.Петков, К.Бошнаков, Пасивна инфрачервена термография за диагностика на топлоенергийни обекти, Сборник доклади на Международния симпозиум "Управление на топлоенергийни обекти и системи", 12-13 ноември 2010, Паничище, стр. 65-68, ISSN 1313-2237

Направен е анализ на възможностите за приложение на инфрачервените термовизионни камери за установяване на повреди в топлоенергийни обекти: включващи: дымоходи и комини, паропроводи, парни и водогрейни котли, нагревни повърхности на котелни агрегати и други. Разгледани са различните видове повреди и подходите за тяхното установяване в процеса на работа на агрегатите. Приложени са термографски изображения на проблемни участъци на разглежданите обекти. Направен е анализ на спецификата на термографските измервания свързани с отделните обекти и са разгледани влиянията на смущаващи фактори върху измерванията. Един от важните изводи е, че ефективното прилагане на пасивната инфрачервена термография изисква не само добро познаване на използваната техника, но и познаване в дълбочина на технологичните процеси, към които се прилага разглеждания подход за безразрушаващ контрол, влиянието на околната среда, характеристиките на материалите и особеностите на работата на оборудването. Правилното подбиране на измервателни инструменти, планиране на изследванията и систематичното им провеждане в комбинация с подходящи диагностични методи са предпоставка за прилагане на предсказващо поддържане на оборудването.

В68. Михайлов,Е., В.Петков, К.Бошнаков, Активна инфрачервена термография за откриване на дефекти в топлоенергийни обекти, Международния симпозиум "Управление на топлоенергийни обекти и системи", Паничище, 12-13 ноември 2010, стр.73-76, ISSN 1313-2237.

Направен е анализ за възможностите на приложение на активната термография за оценка на промишлено оборудване като метод за безразрушителен контрол. Направеният преглед позволява да бъде обобщено, че методът на пулсационното нагряване при активно термографско изследване може да бъде използван успешно за диагностика на проблеми, проявяващи се в процеса на експлоатация. Подходът се състои в генериране на поток от топлинна енергия към изследвания компонент на

оборудването, материалът на който в зависимост от наличието на дефекти ще има различна топлопроводност в различните зони. Различната топлопроводност ще рефлектира върху повърхностното температурно поле, което измерено с термографска камера ще позволи локализирането на дефекти в обема на материала, които могат свързани със структурните характеристики на материалите или евентуални повреди.

B61. Boshnakov,K.,V.Petkov, L.Dukovska, D.Borisova, S.Kojnov, Approaches for diagnostic and predictive maintenance, Proc. SPIE 8008, 80081Z (2011); 23-29 May 2011, Warsaw, Poland, Proceedings of SPIE, Bellingham, WA, USA, vol. 8008, Article CID Number 80081Z, 2011, doi:10.1117/12.905182, ISSN 0277-786X, ISBN 9780819472358

Направен е анализ на възможностите на инфрачервената термография за диагностика на технологични съоръжения и приложенията и за предсказващо поддържане. Представени са принципите и областите на приложение на пасивната термография за откриване на повреди. В статията са включени термографски снимки на стенд с два въртящи се вала и електродвигател, топлинно неизолирани вентил, фланци и тръбопровод. Анализирани са причините за наблюдаваните състояния на съоръженията. Разгледани са принципите на активната термография и възможностите за използването и за диагностични цели. Разработен е лабораторен стенд за активна термография, конструкцията на който е описана в настоящата статия. Показана е термографска снимка, получена при изследване на полимерен материал по методите на активната термография с разработения стенд. Върху повърхността на полимерния материал при термографска снимка се виждат четири дефекта с различен размер, които са открити благодарение на активната термография. Разработеният стенд за активна термография е надежден инструмент за безконтактна диагностика на голям кръг от материали, детайли и съоръжения, а също така и за обучение по неразрушаващ контрол и по контролно-измервателна техника.

B67. Бошнаков,К.,М.Хаджийски,Е.Михайлов, Предсказващо поддържане на технологични съоръжения, Сборник доклади на Международния симпозиум "Управление на топлоенергийни обекти и системи", Баня, България, 10-11 ноември 2011, стр.61-65, ISSN 1313-2237.

Разгледани са утвърдилите се методи за техническо поддържане на технологични съоръжения, като е акцентувано върху същността и предимствата на предсказващото поддържане. Направена е връзка между оперативното управление и техническото поддържане. Като подход в настоящата работа е избрана моделно базирана прогнозна диагностика. Разработени са аналитико-експериментални модели за общото износване и това в областта на локалните повреди на огнеупорната изолация на металургична кофа. Параметрите на математичните модели се оценяват рекурентно за конкретната огнеупорна изолация по периодични термографски анализи на повърхността на кофата. Прогнозирането на износването на огнеупорната изолация се прави по адаптираните математични модели. За вземане на решение за оставащия брой цикли е въведена минималната дебелина на кофата. Металургичната кофа трябва да бъде спряна за ремонт в случаите когато се очаква или локалните повреди на огнеупорната изолация или общото износване да достигне до определената минимална дебелина.

B83. Атанасов,А., К.Бошнаков, Софтуерни системи за предсказващо поддържане, Сборник доклади на Международния симпозиум "Управление на топлоенергийни обекти и системи", Баня, България, 8-9 ноември 2012, стр.75-79, ISSN 1313-2237.

Разгледани са методите за техническо поддържане: реактивно, превантивно, предсказващо и проактивно. Представена е блоковата схема на информационните

потоци съгласно международния стандарт, който специфицира основните изисквания към софтуер с отворен код за Condition-Based Maintenance и са разгледани функциите на отделните блокове. Анализирани са некомерсиалните софтуерни платформи OSA-CBR и MIMOSA, както и редица комерсиални среди за предсказваща поддръжка. Основен недостатък на платформите с отворен код е, че за разработка на конкретни приложения са необходими отлични познания в програмирането и експертни познания в конкретната област за която се разработва софтуерът за предсказващо поддържане. Комерсиалните софтуерни продукти предлагат готови решения за предсказваща поддръжка на специфични съоръжения или класове от съоръжения в конкретни области на промишлеността.

B87.Boshnakov K., L. Doukovska, E. Mihailov, V. Petkov, S. Vassileva, S. Kojnov - Predictive Maintenance Model-Based Approach for Objects Exposed to Extremely High Temperatures, Proc. of the Signal Processing Symposium – SPS’13, Jachranka Village, Poland, CD, pp.1-5, ISBN 978-1-4673-6319-8-13- 2013 IEEE, 2013, INSPEC Accession Number: 13839166, DOI:[10.1109/SPS.2013.6623621](https://doi.org/10.1109/SPS.2013.6623621)

Разработката е насочена към изследване на възможностите за прилагане на директна оценка на установените в резултат на термовизионно измерване горещи петна със сложна неправилна форма, формираща се в резултат на различна комбинация от дефекти. На базата на 3D математичен модел, описващ топлинните загуби през стена на стоманолазливна кофа при различни конфигурации на комбиниран дефект със сложна форма, съставен от два отделни дефекта, е проведено изследване на възможностите за диагностика и приложение на изведените до момента зависимости за индивидуални дефекти. Симулационните изследвания са проведени при различни дебелини на общото износване на стената и различни разстояния между центровете на отделните дефекти. Позиционирането на обектите е симулирано на различни разстояния между центровете на отделните дефекти. Установено е, че за случаите на ясно очертани ядра на горещото петно при разстояние между двата дефекта след анализ биха могли да бъдат използвани апроксимационните зависимости за определяне на дълбочината на всеки от тях, а за случаите на допир и припокриване на дефектите за установяване на точната дебелина в областта на дефекта трябва да бъдат използвани допълнителни процедури за прецизиране на получените резултати.

3.2.Изолиране и диагностика на състоянието на топлинната изолация на металургични обекти

а) Металургична кофа

B62.Михайлов Е., В.Петков, К.Бошнаков, Изследване на разрушения във фугите при инфрачервена диагностика на високотемпературна изолация, „Дни на безразрушителния контрол 2011”, XXVI Международна конференция с международно участие „Дефектоскопия ‘11”, 13-17 юни 2011, Созопол, България, Научни известия на НТСМ, XIX, 1(121), 2011, стр. 364-370, ISSN 1310-3946.

За провеждане на изследванията е използван математичен модел за определяне на температурното разпределение в обема и по повърхността на огнеупорната изолация на металургична кофа. Симулационните изследвания са направени за 125t стоманоразливна кофа. Направена е оценка на възможностите за установяване на дефекти с малки размери и форма на цепнатини в областта на фугите между огнеупорните тухли. При провеждане на изследването са разгледани две конфигурации- комбинация от вертикален и хоризонтален дефект и само на вертикален дефект. Установено е, че при изследваните дълбочини изотермите на горещите петна на

повърхността, формирани от двата вида дефекти имат форма на окръжности или елипси и действителната форма на повредата не се проектира еднозначно върху температурното поле на повърхността. Съществена роля върху температурното поле оказва дълбочината на дефекта, която може да бъде оценена при провеждане на диагностични процедури.

В52. В.Петков, Ем. Михайлов, К.Бошнаков, Обратни задачи в диагностиката на повреди в изолацията на металургична кофа, Сборник доклади на Международния симпозиум "Управление на топлоенергийни обекти и системи", 12-13 ноември 2010, Паничище, стр. 69-72, ISSN 1313-2237

За определяне на геометрията на повредите на базата на температурното разпределение по повърхността на стената на високотемпературен агрегат е разработен 2-D математичен модел и изчислителна процедура с използване на метода на крайните разлики за решаване на обратната задача на топлопроводността. Разработената изчислителна процедура позволява при задаване на температурното поле, измерено с помощта на инфрачервена термовизионна камера и граничните условия за двете повърхности да бъде определяна геометрията на вътрешната повърхност. Доказана е възможността резултатите от термографските измервания да бъдат използвани за определяне на износването на огнеупорната изолация на високотемпературни агрегати.

В69. Петков, В., Е. Михайлов, К.Бошнаков, В.Чакърва, Диагностика на металургични кофи чрез решаване на обратната задача на топлопроводност, Сборник доклади на Международния симпозиум "Управление на топлоенергийни обекти и системи", Баня, България, 10-11 ноември 2011, стр.67-70, ISSN 1313-2237.

За определяне на геометрията на повредите на базата на температурното разпределение по повърхността на стената на високотемпературен агрегат е разработен 3-D математичен модел и изчислителна процедура с използване на метода на крайните разлики за решаване на обратната задача на топлопроводността. При различни варианти на износване на стената се решава правата задача и се получава повърхностното температурно разпределение за зададените по размери и форма дефекти. Това поле съответства на картината, която ще се получи при измерване с инфрачервена термовизионна камера. Разработената изчислителна процедура за решаване на обратната задача позволява при задаване на температурното поле, измерено с помощта на инфрачервена термовизионна камера и граничните условия за двете повърхности да бъде определяна геометрията на вътрешната повърхност.

В74. Хаджийски, М., Е. Михайлов, К.Бошнаков, В.Петков, Г.Ружеков, Изолиране и диагностика на повреждания в изолацията на стоманоразливна кофа по преки термовизионни изображения, Машиностроене и машинознание, година VII, книга 3, 2012, стр.96-101, ISSN 1312-8612.

Предложен е моделно-базиран подход за изолиране и диагностика на повреди в изолацията на металургични кофи. Аналитичният модел на процесите на топлопренасяне се решава по метода на крайните елементи по отношение на повърхностните температури на металната обвивка при различни размери на повредата в изолацията. Средноквадратичната апроксимация на тези данни се представя във форма на нелинейни регресионни уравнения. Входните променливи в тези диагностични регресионни модели са резултат на преки термовизионни измервания. Разработена е система от диагностични правила за оценка на текущото състояние на изолацията. Подходът е достатъчно общ и може да се приложи върху редица подобни високотемпературни металургични агрегати – електродъгови пещи, агрегати за

извънпещна обработка на стомана, елементи от машините за непрекъснато леене на заготовки.

B75.Михайлов,Е., М. Хаджийски, К.Бошнаков, В.Петков, Г.Ружеков, Диагностика на състоянието на изолацията на металургична кофа по преки и косвени термовизионни показатели, Машиностроене и машинознание, година VII, книга 3, 2012, стр.102-107, ISSN 1312-8612.

Разработен е метод за детектиране и диагностика на повредите в топлинната изолация на металургична кофа на базата на данни от термовизионни измервания. Математичният модел на топлинните процеси в кофата при наличие на повреда е решаван за представителен брой ситуации, което позволява да се определи диагностичен модел по симптоми, представляващи вторични променливи на директните измервания. Използването на тези променливи осигурява по-голяма чувствителност и робастност на диагностичната процедура при определени операционни ситуации.

B76.Petkov V., M. Hadjiski, K. Boshnakov, E. Mihailov, Diagnostics of Metallurgical Ladle Refractory Lining Based on Non-stationary on-line Data Processing, Cybernetics and Information Technologies, Volume 13, Issue 2, Pages 122-130, May 2013

Представен е нов подход за диагностика на остатъчната дебелина на изолацията на металургична кофа, работеща в периодичен режим. Методът се базира на измерените с помощта на инфрачервена камера данни за амплитудата и фазовата разлика на периодично изменящата се максималната температура в областта на повредата при реализиране на отделните технологични цикли на работа. Изведени са регресионни зависимости за определяне на оставащата дебелина на огнеупорната изолация на металургичната кофа като функция на установените автоколебания на максималната повърхностна температура. Показано е, че данни от нестационарни автоколебания също могат да се използват за адаптация на регресионните равнения, предсказващи оставащата дебелина на изолацията в случай на локални повреди.

B77.Хаджийски М, В. Петков, Е. Михайлов, К. Бошнаков, Моделно-базирана инфрачервена диагностика на състоянието на изолацията на металургични кофи, Сборник доклади на Международен симпозиум „Управление на топлоенергийни обекти и системи”, 10-11.11.2011 г., Баня, България, 10-11 ноември 2011, стр. 55-59, ISSN 1313-2237.

Разработен е обобщен подход за диагностика на състоянието на изолацията на металургична кофа на базата на информация от инфрачервени термограми на повърхността на металната конструкция, включващ оценка на достоверността на термограмата; създаване и използване на достатъчно представителна база от решения на правата задача на стационарна топлопроводност и обобщение на получените прецеденти с въвеждане на параметрично представяне на получените решения и приложение на диагностични процедури на базата на прецедентите.

B84. Е.Михайлов, В.Петков, К.Бошнаков, И.Дойчев Предсказващо поддържане на стоманоразливни металургични кофи, Сборник доклади на Международния симпозиум "Управление на топлоенергийни обекти и системи", Баня, България, 8-9 ноември 2012, стр.81-86, ISSN 1313-2237.

Разработен е алгоритъм за изпълнение на процедура за предсказване на остатъчния живот на оборудването, базиращ се на изпълняване на последователни инспекции и диагностика на състоянието на огнеупорната изолация с еднакъв интервал от време до достигане на критичната степен на износване на стената на кофата. Алгоритъмът

предвижда учестяване на инспекциите в зависимост от прогнозата за оставащата дебелина на изолацията и доверителният интервал на оценката за оставащия брой технологични цикли. При достигане до отрицателна оценката за оставащия брой плавки при реализиране на предпазлива стратегия се препоръчва спиране на кампанията за подробна оценка и анализ на състоянието кофа.

B86.Mihailov, M., V.Petkov, I. Doichev, K. Boshnakov, Model-Based Approach for Investigation of Ladle Lining Damages, International Review of Mechanical Engineering (IREME), February 2013 (Vol.7, No2), pp. 276-281, ISSN 1970-8734

Разработен е подход за анализиране на резултатите от термовизионни измервания на повърхностната температура на стоманоразливна кофа и извличане на диагностични белези от горещите петна, формирани в резултат на повреди в огнеупорната изолация. На базата на резултатите от 3D математичен модел, описващ топлообмена в огнеупорната изолация на стоманоразливна кофа при съответните начални и гранични условия и прилагане на разработения подход са изведени диагностични модели за оценка на състоянието на стената на стоманоразливна кофа по данни от термовизионни измервания.

б) Металургични пещи

В43.Михайлов,Е.М., В.Петков, и К.Бошнаков, Моделно базирана диагностика на състоянието на огнеупорната изолация на електродъгова стоманодобивна пещ, „Дни на безразрушителния контрол 2010”, XXV Национална конференция с международно участие „Дефектоскопия ‘10”, 13-17 юни 2010, Созопол, България, Научни известия на НТС по машиностроене, XVII, 5(115), 2010, 357-363, ISSN 1310-3946

Познаването на дебелината на огнеупорната изолация и нейното състояние е определящо при вземане на решения по поддръжката и работата на високотемпературни агрегати. Допускането на пробив в огнеупорната изолация на стоманодобивна пещ е свързано с непосредствена опасност за обслужващия персонал и огромни загуби, изразяващи се в прекратяване на технологичния процес, нарушаване на ритъма на работа, престой на агрегата, разливане на метала в аварийни мощности и повторното му стапяне при пускане на пещта в действие и др. На базата на конструктивните особености на реално действаща 130t свръхмощна електродъгова стоманодобивна пещ е разработен 3-D математичен модел за оценка на температурните полета на повърхността при различни варианти на износване на стената на ваната. Направен е анализ на причините за износване и повреда на зидарията. Дефектите в зидарията са представени чрез конус. На базата на резултатите от проведеното симулационно изследване за температурните полета по повърхността на стената в зависимост от геометричните характеристики и дълбочината на дефектите са получени зависимости за определяне на остатъчна дебелина на огнеупорната изолация като функция от максималната температура на горещите петна на повърхността в областта на дефектите и температурата на течния метал.

В44. Петков,В., Е.Михайлов и К.Бошнаков, Диагностика на състоянието на свода на нагревателна пещ, „Дни на безразрушителния контрол 2010”, XXV Национална конференция с международно участие „Дефектоскопия ‘10”, 13-17 юни 2010, Созопол, България, Научни известия на НТСМ, XVII, 5(115), 2010, 364-370, ISSN 1310-3946.

На базата на конструктивните особености на реално действаща методична нагревателна пещ е разработен 3-D математичен модел за оценка на температурните полета на

повърхността при различни варианти на повреденост на свода. Повредите, за които са провеждани изследванията са с цилиндрична форма. За съществуващата конструкция са установени граничните стойности за максималните температури на горещите петна на свода в областта на повредата, при установяването на които в резултат на термовизионно измерване да бъдат предприети ремонтни дейности. Получените резултати в комбинация с такива от термовизионно измерване могат да бъдат използвани за оценка на състоянието на свода на печта.

3.3.Диагностика и предсказващо поддържане на полупериодичен медодобивен конвертор

B80. Бошнаков, К., Система за предсказващо поддържане на Pierce-Smith конвертори, сп. “Автоматика и информатика”, год. XLVI, 5-6, 2012, стр.182-186, ISSN 0861-7562

В статията е представена разработената функционална схема на система за предсказващо поддържане на Peirce-Smith конвертри, в които се извършва конвертиране на меден шейн до получаване на черна мед в медодобивните производства. Разгледани са особеностите на конверторите от гледна точка на деградация на фурмения ред и огнеупорната изолация. За целта на предсказващото поддържане в разработената система постъпва информация за процеса по време на плавките и през десет плавки информация за размерите на фурмите от фурмения ред. Функционалната схема за предсказващо поддържане включва предварителна обработка на постъпващата информация, прогнозиране на износването на фурмите през следващите плавки, процедури за подпомагане на вземането на решение за управление на състоянието на фурмите и прекратяване на кампанията въз основа на направените прогнози и анализ на риска. Процедурите за подпомагане на вземането на решение са разработени на базата на знания и експертен опит представени чрез прецеденти (Case-Based Reasoning (CBR)). Въз основа на изводите се правят препоръки към оперативния персонал.

B89.Hadjiski,M., K. Boshnakov, T. Ginchev, Cost Oriented Redesign of Condition-Based Maintenance of Copper Converting Process, International Conference(Workshop) on International Stability, Technology and Culture, SWIIS 2013, Prishtina, Kosovo, June 6-8 2013, pp.250-255, ISBN: 978-1-62993-182-1, ISSN: 1474-6670 , IFAC-PapersOnline, DOI: 10.3182/20130606-3-XK-4037.00049.

Най-важните проблеми, които стоят за разрешаване пред Peirce-Smith (PSC) конверторите са следните: оптимално планиране и шедулинг на кампаниите и циклите на конверторите от гледна точка на средносрочни бизнес цели и условията на пазара; повишаване на ефективността на процеса на конвертиране, чрез оптимизация на продухването, шлаковането и оптимизация на температурата; организиране на съвременна поддръжка по време на циклите и кампаниите. Въз основа на анализ на голям обем експериментален материал се налага изводът, че при експлоатацията на този клас конвертори има значителен оптимизационен потенциал. Формулирани са главните цели на реинженеринга на конверторите и е представена система за интегрирано управление и поддържане на базата на текущото състояние. Разработени са обвиващи модели за краткосрочно прогнозиране на деградацията на фурмите във фурмения ред. Разработена е нова интегрирана система за управление на процесите, оптимизация и поддръжка на конверторите. Ядрото на системата е система за подпомагане на вземането на решение (DSS). В DSS постъпва информация от и знания за конверторите, данни от по-високото йерархично ниво, инструкциите за водене на процеса, оценка на състоянието и прогнозиране на дължината на фурмите и дебелината

на огнеупорната изолация, резултатите от оптимизационния модул и системата за изводи на базата на прецеденти (Case-Based Reasoning (CBR)). Главният резултат от системата е времевият профилът на блокиране на фурмите по време на кампанията.

В91.Томова,Ф, К.Бошнаков, А.Атанасов, Модул за подпомагане на вземането на решение при управление на състоянието на фурми за вдухване на въздух, Годишник на техническия университет-София, Том 63, кн.1, 2013, стр.245-250, ISSN 1311-0829

Разработен е специализиран модул за подпомагане на вземането на решение за опериране с фурмите на Peirce-Smith медодобивен конвертор. Модулът е разработен на базата на софтуерната платформа Microstrategy. Той е част от системата за предсказващо поддържане на конверторите. Системата за подпомагане на вземането на решение е създадена на основата метода за изводи на базата на прецеденти (Case-Based Reasoning). Прецедентите се формират въз основа на натрупан експертен опит. „Проблемът” се формулира чрез номера на плавката в съответната кампания, интегралът от времето на активното продухване в двата периода на плавките до настоящата и състоянията на петдесетте и четири фурми от фурмения ред. „Решението” за конкретния прецедент е препоръка за забиване или отбиване на конкретна фурма. Представени са извадки от базата с прецеденти, интерфейса за въвеждане на данни за конкретен прецедент, дефиниране на функцията за близост и резултат от работа на модула.

4.Съвременни методи и средства за обучение по управление на производството

В6.Хаджийски, М, К. Бошнаков, С. Данев, Системи за обучение по автоматизация на технологични процеси във виртуална среда, Нац. конф. за подобряване на качеството на обучение и управление на Висшите училища, Албена, 2003, стр.85-98. ISBN 954-91029-2-0

Представени разработките на авторите за изпълнение на проекта „Подобряване на обучението по „Технологични процеси и системи във виртуална среда”. Вниманието е съсредоточено върху методика за създаване на WEB учебници и учебни помагала, структура на модулите за разпределена база знания с мрежов достъп, която е илюстрирана с модула „Модел на процес на неутрализация на отпадъчни води”, симулационното упражнение „Многосвързана система за автоматични регулиране на обект 2x2”, работещо в реално време и предназначено за изпълнение по локална мрежа или Интернет и упражнението „Управление на лабораторен стенд на топлинен обект 4x4”, също предназначено за изпълнение по локална мрежа или Интернет. Представени са човеко машинният интерфейс и резултатите от работата на симулационното упражнение и упражнението за управление на топлинния стенд и видеоизображение от работата му.

В9.Hadjiski, M., K.Boshnakov, Z.Georgiev, Development of the Student Creativeness Using Elements of the Decision Theory, Proc. of the Second International Conference "Challenges in Higher Education and Resesrch in 21st Century", June 2-5, 2004, Sozopol, Bulgaria, Heron Press, 2004, Sofia, Vol.2, pp.77-83, ISBN 954-580-158-1.

В стаията се разглеждат възможностите за развитие на творческите способности на студентите в магистърската степен и по време на докторантското обучение, чрез решаване на сложни многокритериални задачи с използване на елементи от теорията за вземане на решения. Предложен е нов подход за развитие на творческите способности на студентите чрез използване на елементи от теорията на вземане на решения.

Подходът се основава на комбинация от алгоритмични и евристични методи и позволява обективно вземане на решение в проблеми структурирани в средна степен. Като пример е разгледана популярната тестова задача за проектиране на система за управление на химичния процес Тенеси Истман (Tennessee Eastman). Методите на вземане на решения формират творческа атмосфера при обучение за придобиване на нови знания и умения, в която творческият потенциал на студентите се използва най-пълно.

B10.Hadjiski, M., K.Boshnakov, Possibilities and Limitations in Virtual Learning in Process Control, Proc. of the Second International Conference "Challenges in Higher Education and Resesrch in 21st Century", June 2-5, 2004, Sozopol, Bulgaria, Heron Press, 2004, Sofia, Vol.2, pp.90-95, ISBN 954-580-158-1.

Представени са изследванията и разработките по създаване на локална компютърна лаборатория към катедра "Автоматизация на производството" в ХТМУ-София в рамките на проекта "Подобряване на обучението по "Технологични процеси и системи във виртуална среда", финансиран от Център "Конкурентна система за обучение и управление на висшето образование". Разработена е структура на модулите на разпределена база знания. На базата на софтуерния продукт Labview би е разработено електронно упражнение "Многосвързана система за управление", което се изпълнява в реално време. Обучението с това упражнение може да се провежда в лабораторни условия или дистанционно по локална мрежа или Internet. Разработен е лабораторен стенд на топлинен обект с мрежова комуникация, който представлява МИМО обект за управление с кръстосани връзки. Създадено е виртуално упражнение "Управление на лабораторен стенд на топлинен обект", позволяващо провеждането му по локална мрежа и Internet. Анализирани са възможностите и ограниченията при виртуалното обучение, които са следствие от избраните софтуер и хардуерна архитектура.

B24.Chirlesan, G., D.Chirlesan, E.Bratengeyer, K.Boshnakov, D.Babic, E-portfolio Readiness in Sought Eastern European Countries, in the conference "EPVET 2007: e-Portfolio Process in Vocational Education: Present and Future", 2-3 May 2007, Bucharest, Romania, TR/06/F/PP/178110

Настоящата работа представя изследване в рамките на проект E-portfolio readiness, финансиран от Austrian Science and Research Liaison Office (ASO) на международен колектив включващ Danube University Krems, University of Pitesti, Химикотехнологичния и металургичен университет, София и ZaMirNET Zagreb. Електронното портфолио подпомага непрекъснатото професионално изграждане, мениджмънт на обучението и осъществяване на мониторинг на обучението.Цел на изследването е идентифициране на стратегиите и готовността на страните от Югоизточна Европа да отговорят на изискванията за модерно обучение през целия живот (LifeLongLearning).

B40.Hadjiski,M., V.Petkov, K.Boshnakov, E.Mihailov and G.Ruzhekov, Laboratory of Multidisciplinary and Interdisciplinary Education, 5th Thematic Conference "ICT and Lifelong Learning in All Types of Education: Does This Promote Cultural Diversity?", Kalamata, Greece, 9-13 May 2010, pp.33-38, ISBN 978-960-99338-1-0

Описана е създадената в Химикотехнологичния и металургичен университет лаборатория за мултидисциплинарно и интердисциплинарно обучение по интелигентна диагностика. Главната идея на новата лаборатория се състои в обединяване на компютърни и физически модели, чрез представяне на теоретични модели върху универсален 2D термичен модел по следната процедура. Въз основа на теоретичния модел се създава мета-модел, състоянията на който се използват за задания на

многомерен контролер, следене на тези задания, чрез затворени контури за регулиране, реализирани с програмируем логически контролер върху 2D термичен модел, който по своята същност е термичен обект с размерност 100x100. Генерираният температурен профил от термичния модел се измерва с инфрачервена термографска камера. Главният стенд в лабораторията се състои от следните четири модула: модул със задачи, модул за моделиране и симулиране, операционен модул и изпълнителен модул. Модулът за моделиране и симулиране създава динамичен модел със съсредоточени или разпределени параметри, статичен модел, стохастичен модел или мрежов модел. Този модул има специален подмодул, който преобразува по съответен начин компютърния модел в модел с крайни елементи с малка размерност ($n \leq 100$). Изпълнителният модул трансформира изходните стойности от моделиращия и симулиращия модул във физически измерими сигнали (температури). Описаният стенд е мултидисциплинарен и позволява обучение по теория на управлението, изкуствен интелект и операционни изследвания. Всяка от изброените дисциплини може да бъде изучавана в комбинация с друга от същата област, което представлява възможностите за интердисциплинарност на представения лабораторен стенд.

B41.Hadjiski,M., and K.Boshnakov, Advanced Diagnosis Education in Multifunctional Laboratory, 5th Thematic Conference “ICT and Lifelong Learning in All Types of Education: Does This Promote Cultural Diversity?”, Kalamata, Greece, 9-13 May 2010, pp.80-84, ISBN 978-960-99338-1-0

В статията се разглеждат възможностите за изучаване на проблемите свързани със съвременната (advanced) диагностика в новосъздадената мултифункционална лаборатория. Представени са различните методи за съвременна диагностика. Съвременната диагностика е интердисциплинарна дисциплина и е свързана с редица инженерни дисциплини като компютърни науки, физика, химия и механика, изкуствена интелигентност, теория на управлението, статистика, вземане на решения и големи системи. Представени са разширена схема на мултифункционалната лаборатория и възможностите в нея да се реализира инженерно обучение на високо ниво по съвременна диагностика. Главната особеност на лабораторията се състои във възможността за изпълнение на дейностите по откриване на неизправности и диагностика по два начина – използвайки синтетични симулационни данни или на базата на реални измервания. В много курсове по интелигентна диагностика е възможно интегриране на самостоятелни подходи като невро-размити класификатори, моделно основаваща се прагова диагностика, вероятностна диагностика основаваща се на правила и др. Като пример е разработена функционална схема на съвременна система за ситуационно управление на комплексен обект на базата на диагностика.

B42.Petkov,V., G.Ruzhekov, K.Boshnakov, and E.Mihailov, Education and Training on Infrared Diagnosis, 5th Thematic Conference “ICT and Lifelong Learning in All Types of Education: Does This Promote Cultural Diversity?”, Kalamata, Greece, 9-13 May 2010 pp.89-94, ISBN 978-960-99338-1-0.

В създадената мултифункционална лаборатория за интелигентна диагностика е заложено обучение и специализация по инфрачервени термографски измервания и диагностика на технологични съоръжения на базата на тези измервания. Основните направления са инфрачервени измервания, прагова (threshold based) диагностика, диагностика на базата на прецеденти и съвременна (advanced) диагностика. В областта на инфрачервената термография главните области за обучение са: (i) Теоретични основи на инфрачервената термография; (ii) Реални измервания със съвременни инфрачервени инструменти. Условиата, при които се провеждат измерванията се

генерират, чрез физическо моделиране на реалните смущения – температура, скорост и влажност на околния въздух, конвективен и радиантен топлинен поток, ефекти на светлината, изменение на степента на чернота и др.; (iii) Софтуер за инфрачервена термография, обработка на данни от мониторинга и визуализация; (iv) Методи за откриване на повреди и диагностика на базата на инфрачервена термография; (v) Приложение на тези методи върху реални данни; (vi) Вземане на решения на базата на резултатите от детектирането на повреди и диагностика.

В56.Хаджийски,М., К.Бошнаков, В.Петков, Е.Михайлов, Г.Ружеков, М.Божкова, и С.Койнов, Обучение по топлинна ефективност и диагностика чрез комбиниране на математично моделиране и термовизия, сп. „Автоматика и информатика”, бр.1, 2011, стр.72-74, ISSN 0861-7562.

Технологичната диагностика на топлинни обекти е все по-налагащ се метод за оценка на състоянието и прогнозиращо поддържане на основни енергопреобразуващи съоръжения, механични и електромеханични устройства и конструктивни елементи. Това инициира създаване на методика и лабораторна система за обучение по топлинна ефективност и диагностика, основаващи се на комбиниране на математичното моделиране и термографията, създаващи възможност обучението да се извършва при условия сходни с реалните. Разработената лабораторна система се основава на комплексното използване на математични и физични модели за симулиране и реализиране в лабораторни условия на температурни полета, възникващи на повърхностите на технологични обекти и сгради. В статията е разгледан подробно създаденият лабораторен стенд с многофункционално предназначение. Създадена и тествана е методика за диагностика, основаваща се на комбиниране на математично моделиране и термовизионни измервания. Проведени са изследвания за възможността повърхностното температурно поле на технологични апарати да бъде използвано като индикатор за състоянието на огнеупорите.

Научни приноси в трудовете

1.Автоматизация на производството

1.1.Математично моделиране. Математичното моделира заема съществено място в научните изследвания. То се разглежда като многоаспектен проблем, който е основата за базови решения в почти всички направления на представените трудове за софтсенсинг, за автоматично управление, за оптимизация, за предсказване с цел оперативна намеса за предсказващо поддържане на базата на диагностика и изводи на базата на прецеденти (Case-Based Maintenance CBM). Моделирането поради многопосочността на използването на разработените модели обхваща различни направления. От една страна са разработени динамични математични модели, които са за целите на управление [B20,B21,B99]. На второ място това са динамични модели, които са свързани с по-голям мащаб на времето и описващи деградацията на елементи на техническото оборудване и предназначени за целите на техническото поддържане [B65,B73,B95,B88]. Трето, това са статични модели, свързани с определяне на поведението в установен режим и необходими за част от споменатите задачи.Тук се отнасят неща свързани с кофа, с управление на химични процеси [B19,B17,B72], в областта на металургията. Моделирането приложено в представените трудове се основава преди всичко на съвременни методи на измерване, на първо място термовизия в областта на създаване на математични модели на въз основа на преки измервания на

температурни полета в металургична кофа [B65,B73,B88,B95] и на базата на сканиращ микроскоп [B90]. На второ място математичните модели са ориентирани към съвременни методи за изчисления, привличайки такива подходи като метод на крайните елементи със софтуерния продукт ANSYS и моделиране на процеси на фазово превръщане при изучаване на топлообменни процеси на структурни елементи с използване на Visual Fortran Professional. При създаването на математичните модели се използват както методи почиващи на основните физикохимични закономерности (аналитични модели), които са база за последваща симулация и апроксимация във форми удобни за целите на управлението, софтсенсинга, оптимизация и други. Тук се отнасят работи [B65,B73,B88,B95,B20,B21] и на второ място въз основата на данни (Data Driven), където изграждането на математичните модели е въз основа на текущи данни, които се използват за статистическите модели [B19,B17,B72], както и за сложни нелинейни модели свързани с поведение и износване на съоръженията [B99]. Аналитичните модели, разработени в трудовете на кандидата почиват в основната си част върху различни приложения на параболичните частни уравнения на топлопроводност [B65,B73], които се третират при различни гранични условия и за различни задачи. В част от тях [65,73] те са свързани с изучаване на 3D температурно поле в керамичната изолация на металургични пещи, а в [B20,B21] аналитични модели описващи фазовите превръщания в зависимост от текущите условия и необходими за предсказване на поведението на обекта в областта на фазовите превръщания. Моделите, разработени в представените трудове са ориентирани както за целите на текущото управление, а именно моделно предсказващо управление [B20], за управление на нестационарни обекти [B99], а също така и на сложни многосвързани обекти [B30]. Друга част от моделите са предназначени за предсказване, а именно за оптимално поддържане [B71], което е свързано с [B73] с оценка на оставащото полезно време на използване Remaining Useful Life (RUL) и за оптимално планиране и разписание на операциите [B72], в областта на металургията [B19], в областта на химията [B17]. Съществена новост в работите по математично моделиране е предложението за изграждане на каскадни модели, при което моделите с по-малък интервал на дискретност се използват за фиксиране на променливи в модели с друг времеви хоризонт, които позволяват едновременно в рамките на една и съща задача да се решават проблеми на динамично управление и управление свързано с техническото поддържане, при което и в единия и в другия случай моделите взаимно си влияят двупосочно. Характерно за разработените математични модели, е че те в основната си част са породени като предизвикателство от задачи на практиката, но при разработката са получени достатъчно общи резултати, които значително надхвърлят първоначалните цели и конкретност, съдържайки възможности за обобщение и за многократно използване в случаи аналогични на тези които се разглеждат в приведените публикации.

1.2.Теоретични проблеми на автоматичното регулиране на производствени процеси и обекти. В публикациите са представени и получени определени теоретични резултати в областта на теорията на автоматичното управление, които имат достатъчно голяма общност. Те са свързани преди всичко с възможностите за използване на съвременни методи за управление на сложни технологични обекти, работещи в условията на неопределеност, големи смущения и съществени нелинейности. В трудовете [B5] и [B26] са представени резултатите за управление на линейни обекти с помощта на подхода на предсказващото функционално управление Predictive Functional Control (PFC). Приносите се изразяват в разширение на известната схема на проф.Ж.Ришеле към по-висока размерност – (Two Input Two Output (TITO) системи. Получено е пълно аналитично описание на алгоритъма за предсказващо функционално управление за

обекти с чисто закъснение представено в явен вид и отчитане на ограниченията върху управляващото въздействие и регулируемата величина. Комбинирането на решаването на задачата за предсказващо функционално управление и текущите ограничения, позволява методът да бъде приложен в системи, при които ограниченията имат съществено значение при голяма част от случаите на реални операционни условия. В [B26] са получени условията за устойчивост на двумерни линейни системи за управление, с използване на метода на функционално предсказващото управление. Предложен е нов метод за оценка на устойчивостта като са получени параметрично дефинирани ограничения в областта на параметрите на обекта. Получените условия за устойчивост се използват като ограничение в задачите за оптимална настройка на предсказващото функционално управление, което е нова постановка в съществуващите работи по използване на този метод.

Изхождайки от факта, че химикотехнологичните, металургични и екосистемни обекти са силно нелинейни в представените научни трудове са получени оригинални резултати в областта на нелинейното управление. В работи [B25] и [B28] е предложена нова схема за нелинейно многосвързано управление с използване на нелинейни Two Inputs Two Outputs (TITO) компенсатори. Задачата се решава в два етапа. Определяне на структурата на компенсаторите и настройка на параметрите. Задачата е решена като проблем на квадратичното програмиране чрез итеративна процедура в последователност симулиране, избор. Като модел за симулацията е получен представителен модел на базата на реални данни в схемата с настройван модел. При реалното приложение на подхода се вижда, че резултатът от подобна нелинейна компенсация на паразитни вътрешни връзки дава резултат три пъти по-добър отколкото при конвенционалното изпълнение.

В работа [A3] са изложени алгоритмичните и програмни особености на нов подход за нелинейно функционално предсказващо управление, което представлява съществено разширение на известните схеми за линейно управление на проф. Ришеле. Основната идея в предложения подход е претеглено представяне и изчисляване на управляващото въздействие въз основа на нелинейно оценяване на очакваното поведение на обекта в следващите стъпки. Предложеният подход за нелинейно функционално предсказващо управление показва при сравнителен анализ с конкурентни структурно- и невро-управление предимства в случаи на силни нелинейности.

В работа [B51] са получени нови резултати по приложение на предложения от проф.П.Кокотович метод backstepping към силно нелинейни системи. Избрана е подходяща за управление на технологични системи рекурсивна процедура, която включва намиране на устойчивост на една подсистема и формиране на последователност от управляващи въздействия чрез разширяване на функцията на Ляпунов във всяка следваща стъпка. В работата е достигнато крайно време на стабилизация на нелинейната система, използване на процедури в режим на хлъзгане и за система с променлива структура и което представлява отделен принос адаптивни свойства на цялостната процедура.

Значителният ефект от намаляване на нежелателните колебания при системите намиращи се в режим на хлъзгане, чрез въвеждане на размита логика е показано в работа [B60], където отново за нелинейна система са получено по-добри резултати при големи смущения по отношение на задание и външни въздействия.

Оригинални резултати са получени при нелинейното хибридно управление на технологични обекти. В работа [B98] е предложена нова схема за управление на нелинеен обект чрез комбиниране на Rule Based Reasoning (RBR), вземане на решение въз основата на прецеденти и предсказване на базата на модели. Подобен подход на избор между алтернативни възможности за определяне на подходящо управляващо

въздействие се оказва особено целесъобразен за технологични обекти при променящи се условия от външни въздействия, диспечерска намеса и промени предизвикани от технологични връзки с други елементи на цялостния производствен процес. В работа [B99] същият подход е приложен на супервайзорно ниво, при което основният акцент на хибридно нелинейно управление е към комбиниране на технологично управление с оптимално техническо поддържане на съоръжението на базата на оценка на RUL. Показана е връзката между алгоритмите за управление на базово и супервайзорно ниво чрез вертикална интеграция на системите за хибридно управление на двете нива.

Определен теоретичен интерес представлява и представеният в [B27] сравнителен анализ за възможностите на различни методи на предсказващо управление в приложение към технологични обекти. Разгледани са методите на динамично матрично управление, моделно предсказващо управление и предсказващо функционално управление. Получените резултати могат да бъдат полезни на изследователите и на оперативния персонал за системи с реконфигурация или при проектиране с предпочитание към един от методите в зависимост от свойствата на обектите и текущите операционни условия представени като ситуация.

1.3.Съвременни системи за управление на технологични обекти и системи. В рамките на международния проект ASPECT е предложен съвременен оригинален подход за изграждане на системи за управление на силно нелинейни обекти с възможно слабо, нестационарно изменение на свойствата. Контролерът включва три управляващи алгоритъма, които могат да се избират в зависимост от конкретните свойства на обекта и/или особеностите на възникналата операционна ситуация. Синтезът на контролера се извършва на базата на набор от локални динамични модели от нисък ред параметрите, които се оценяват на базата на on-line идентификация. Контролерът осъществява мониторинг и оценява поведението на затворената система. Основна особеност на реализацията на контролера е, че се използва многоагентен подход. В работи [A3,B7,B1,B2,B4,B18] се разглеждат различни страни от техническите възможности на разработения и защитен с патент контролер [E1]. Най-съществени приноси на автора са свързани със създаването на един от регулаторите, който е с функционално предсказващо управление и с компенсация на чистото закъснение. Предложеният Dead Time Compensation Control (DTCC) алгоритъм се основава на предсказващо функционално управление и в него се използва вътрешен модел и се формира полиномиален управляващ сигнал на базата на параметризация и намиране на подходящи точки на съответствие. Регулаторът е представен като множество от локални линейни регулатори с предсказващо функционално управление за всеки локален модел от първи или втори ред с чисто закъснение и включва компенсация на измерваните смущения. Формирането на управляващото въздействие е в зависимост от претегленото влияние на точката на привличане, която е между два най-близки локални модела. Предложено е размито претегляне на локалните регулатори под форма на твърда адаптация, която оформя текущото управляващо въздействие. Разработен е алгоритъм за автонастройка на DTCC. Настройката на локалните функционално предсказващи регулатори се извършва автоматично на базата на желаните параметри, разположение на точките на съвпадение и желаното време на преходния процес.

В [B2,B4,B18] са изложени функционалните и алгоритмични особености на предложени нов тип агент за определяне на поведението на управляемата система при всички възможни операционни условия. Въз основа на частичните показатели на качеството на преходния процес се формира интегрален показател за поведението на системата за автоматично регулиране. Предложеният алгоритъм има робастни свойства. Предложени са два индекса за интегриране на поведението на системата – единият на базата на алгебрични операции върху индивидуалните показатели на

качество, а втория на базата на размита логика и изводи въз основа на правила. Разработеният агент за наблюдение на качеството индицира на ранен етап недопустими поведения на системата за автоматично регулиране и е източник на диагностична информация за общото състояние на предложения нов тип регулатор.

В [B20, B21] е представен оригинален подход за управление на обекти, чието динамично поведение може да бъде разделено на бърза и бавна компонента, свързани помежду си. На базата на аналитично моделиране се изграждат две самостоятелни подсистеми за управление, а координацията между тях се изпълнява от супервайзорно ниво, което реализира изискванията за достигане на зададените качества по отношение на системата за управление. Приложени са симулационни резултати за случая на управление на топлинния комфорт в отопляеми помещения, като математичните модели са оригинални и обхващат области на възможни фазови превръщания, което внася силна нелинейност в системата. Като локални моделно предсказващи регулатори се използват функционално предсказващи алгоритми аналогични на представените в [A3].

1.4.Интелигентни системи. В представените научни трудове се съдържат редица нови резултати в областта на създаването и използването на интелигентни системи за мониторинг и наблюдения, в които се реализират определени идеи от интелигентните системи. На базата на редица предварителни изследвания по избор на структури [B22], разпределяне на функции [B13,B22], избор на софтуер [B3,B79] и тестване [B32] са предложени редица структури и алгоритми за използване на многоагентни системи за целите на мониторинг и управление на промишлени обекти. В обобщаващата работа [B70] са представени оригинални системи на базата на интелигентни агенти за екомониторинг в ТЕЦ, система за управление на пречистването на отпадъчни води и система с възможност за отказоустойчиво поведение в градски пречиствателни станции. Получените симулационни резултати показват, че в случаи на повреда в системата за управление, комбинацията от различни алгоритми за управление и координираната работа на агентите водят системата до преминаване в устойчиво състояние от едно в друго операционно условие с минимални нарушения на ограниченията и малки загуби от нарушение на експлоатационните режими.

В изследванията е намерило отражение актуалното изискване за по-широко използване на историческата информация която съдържа експертен опит натрупан в продължение на многогодишна експлоатация. За тази цел в трудовете широко се използва идеята за прилагане на един от утвърдилите се методи за представяне на знания в технически системи метода на прецедентите (Case-Based Reasoning (CBR)). По такъв начин се използват методи от близки до тези за логически извод на базата на аналогия. На базата на отделни изследвания по прогнозиране с CBR [B81], сравнителен анализ на софтуер за CBR [B59], оценка на възможностите на визуализация и човекомашинен интерфейс [B96] в работа [B92] е предложена оригинална система за оперативно управление на биологичното стъпало на пречиствателна станция за отпадъчни води. Формирани са съответстващи на случая оригинални структури за представяне на прецедентите с цел да се приложат резултати от обобщено представяне на поведението на пречиствателната станция чрез индекса на Харис за формиране на оценки за поведенчески бенчмаркинг.

Оригинални резултати са получени при разработването на интелигентни хибридни системи за управление, при които се интегрират различни форми на представяне на знания и конвенционални структури от системите за управление на сложни обекти. В [B98] е предложена оригинална система за управление на плавка в Peirce-Smith (PSC) конвертор за добив на мед, в която се комбинират статични и динамични модели изведени на базата на данни с интелигентни блокове за логически извод въз основа на

правила и на прецеденти (CBR), в резултат на което системата като цяло придобива свойства интелигентност и възможност за адекватна реакция в ситуации за които съществуващите конвенционални регулатори не са били обучени. Системата е особено полезна в непредсказуеми ситуации. В [B99] е представена разработената интелигентна хибридна система за супервайзорно управление на PSC, комбинирайки технологично управление и съвременно поддържане, основаващо се на оценка на текущото състояние на съоръженията. Разработен е оригинален модел на деградация на съоръжението. Изхождайки от силната стохастичност на системата за управление поради големите грешки в измерване дължащо се на нежелателни фазови превръщания и взаимодействие на системата шлак-стопилка-конверторен газ авторите дават предпочитания на комбиниране на достатъчно робастни методи както при моделирането, така и при формирането на решения за техническо поддържане. Оригиналният принос се състои в създаването на хибридна процедура за вземане на решение, на базата на предсказващ модел, система за логически извод основана на правила и метода на прецедентите CBR. В работата успешно са съчетани общността на постановката и подходите с конкретно отчитане на особеностите на проектирания обект PSC. В работата е предложен нов подход за комбиниране на трите вида техники моделно базиран, основаващи се на правила и на метода на прецедентите.

2.Мониторинг и софтсенсинг на промишлени и екосистеми

Мониторингът на околната среда придобива все по-голямо обществено значение. В научните трудове проблемите на системите за емисионен мониторинг се разглеждат в значителна степен свързани с индустрията и основните резултати се реализират в пряка връзка с един от основните проблеми на замърсяване на въздуха в страната – замърсяванията от топлоелектрическите централи (ТЕЦ). Изяснявайки първоначално нормативната база за работа у нас и чужбина [B8] се структурира проблема за мониторинг в съответствие с нормите, стандартите, изчислителните процедури и изискванията за точността на измервания в системите за екологичен мониторинг. На тази основа са разработени методи за екологичен мониторинг в ТЕЦ основаващ се на математични модели и интелигентни техники [B11] и [B33]. В [B11] е получен съществен нов резултат, изразяващ се в използването на математични модели за косвено оценяване на неизмерими параметри на околната среда, за възстановяване на липсващи данни и за прогнозиране. Предложено е формиране на два модел. Единият е на основата на данни от децентрализираната система за управление като входна за модели предсказващи състоянието на околната среда и втори тип модели измерващи пряко съдържанието според стандарта на компонентите на отпадните газове. Предложен е подход за комбиниране на двата типа модели, който показва подобряване на резултатите. Използвайки същите предпоставки в [B33] се комбинират не само детерминистични модели но се въвеждат невронни модели и комбинирани невронно-размити модели. По такъв начин се очертава възможност за програмна готовност за избор на най-подходящата за дадена ситуация комбинация от математични модели с оценяване на параметрите на околната среда. Отчитайки изключително важното значение за измерване на параметрите на околната среда с ограничени финансови средства в изследванията е обърнати сериозно внимание на използване на методите на софтуерните измервания – софтсенсинг. Особено внимание се обръща на хардуерната реализация и функционалното съответствие на софтсенсинга за случаите на измерване на компонентите както в газовата среда така също и на биобасейните в пречиствателните станции. В работите са предложени и изследвани два конкретни сензора за измерване на работната среда. В [B23] е представена разработка на сензор в мултиагентна реализация, който е ориентиран към оценка на работната среда в ТЕЦ.

Въз основа на съществуващите в литературата зависимости е разработена нова структура на мултисензорен модул на базата на микропроцесор, интелигентни сензори, елементи за комуникация с възможност за присъединяване на външни сензори. Показано е, че с разработените мултисензорни модули може да се изгражда сензорни мрежи на принципа на мултиагентни системи. В работа [B37] са разработени четири специфични сензора за оценяване на параметрите на отпадъчните води в пречиствателните станции. В основата на разработката са интелигентни техники, невронни мрежи и невноразмити модели за оценки на нитратен, нитритен и амониев азот и химическа потребност от кислород. Обучените невронни мрежи са с точност в интервала 4-8%, като за подобряване на точността е разработен метод за адаптация на софтуерните сензори по процедура на едностъпковия алгоритъм на Качмаж.

3.Диагностика и предсказващо поддържане на индустриални обекти

3.1.Методични проблеми на диагностиката и предсказващото поддържане

Отчитайки световните тенденции обект на активно изучаване са проблемите за диагностика и предсказващо поддържане от областта на енергетиката, металургичната промишленост и екологичните системи. Понеже предсказващото поддържане Condition Based Maintenance (CBM) включва инспекция, диагностика и вземане на решение в трудовете последователно са разгледани различни аспекти на този етап от мениджмънта, който се разглежда и като неделима част от общото управление на операциите в сложните технологични обекти. Проблемът с използване на най-съвременни методи за инспекция е разгледан от гледна точка на приложението на активната и пасивна инфрачервена термография за при безразрушителен контрол за откриване на дефекти: пукнатини, износване от корозия и ерозия, както и структурни неизправности в метали и термоизолации. В работи [B47,B53,B68,B61] са разгледани различни аспекти на активната и пасивна инфрачервена термография и са структурирани особеностите за провеждане на инспекцията при различни условия, геометрия, температура и конфигурация на изследваните обекти. Резултат на тези изследвания е разработеният стенд за инфрачервена термография, който се използва както в изследователската, така и особено в учебната работа на студентите в една нова тематика.

Предсказващото поддържане на технологичните съоръжения в [B67] се представя като многомерна импулсна система за автоматично регулиране с променлив интервал на дискретизация по време, а комбинацията с проактивно поддържане съответства на система с компенсация на смущенията и вътрешен модел. Предсказващото поддържане се представя като система с обратна връзка по техническо състояние на системата. Показана е връзката на оценката на състоянието на системата и техническото състояние на оборудването. Работа [B67] е постановъчна за голяма група изследвания в следващите години, като в нея са поставени задачите за математично моделиране на локалното разрушаване на огнеупорната изолация в пещи и металургични кофи в следствие на проникване на шлак и метал в изолацията. Периодичността на провеждане на инспекции при статичен и динамичен режим на поведение обработка на изображенията с термовизия с цел оценка на показателите и степента на износване, адаптация на параметрите в математичните модели с оглед намиране на баланс между предсказаните и измерените стойности в резултат на разпознаване на характера на изображението, прогнозиране на износването на огнеупорната изолация от гледна точка на оставащия полезен живот на съоръжението и съответно вземане на решение за достоверността на оценките на оставащия брой работни цикли на работа на високотемпературния обект. Възможностите за реализиране на посочените методи за предсказващо поддържане на базата на съвременни софтуерни системи са анализирани

в работа [B83]. В работа [B87], представляваща определена конкретизация на постановките от [B67] са представени нови резултати в областта на диагностика на нарушаване на топлоизолацията на високотемпературни металургични обекти. Получени са нови зависимости и съотношения между температурните полета в зависимост от степента на деградация на топлоизолацията.

В трудовете са представени резултатите от широк кръг изследвания, свързани с изолиране и диагностика на състоянието на топлинната изолация на металургични обекти въз основа на измерване на повърхностното поле на мантила на металургична кофа. Постановката на задачата дадена в [B67] е подробно развита на базата на последователно използване на решаване на правата задача за нестационарна топлопроводност и решаване на обратната задача за възстановяване на температурно поле на базата на 2D изображение от повърхността на металния кожух на кофата на базата на преки термовизионни изображения. В работи [B62] и [B74] е дадена постановката и значителен обем резултати от моделиране при решаване на правата задача при гранични геометрични условия за цилиндричен дефект в изолацията. Основните достижения се състоят в самата постановка на задачата за диагностика както и в дефиниране на необходимите признаци необходими при процедурата за решаване на обратната задача, която по същество представлява задача за разпознаване на образите. Дефинирани са следните признаци: температура на повърхността на мантила на фиксирано разстояние от центъра на най-топлото петно, фоновата температура, градиентна температура като функция на разстоянието, положението на максималната стойност на градиента и относителните температурни полета по повърхността на мантила. В работа [B74] е поставена задачата за решаване на обратната задача, чрез регресионни зависимости на базата на преки измервания от термографията, а в работа [B75] методът е разширен чрез въвеждане на допълнителни косвени измервания. Съществени приноси са изложени в работа [B76], където е поставена задачата за диагностика на топлинното състояние на кофата и изолиране на потенциално дегенериране при периодични режими, характерни за реалния производствен процес. Задачата се третира при променливо вътрешно гранично условие от режима на заливане на метал, което поражда нестационарно външно повърхностно температурно поле със затихваща амплитуда и увеличаваща се фаза в зависимост от разстоянието или от дълбочината на дефекта. В работи [B52] и [B69] са дадени постановки и някои резултати за решаване на обратната задача. В работа [B77] и [B95] са показани резултатите от решаване на правата задача в случай на по-сложна геометрия, елипса, конус и при наличие на няколко дефекта, при които се получава взаимодействие на вътрешните полета. В отчитането на реалните условия при които се реализира диагностиката на състоянието на металургичната кофа са разгледани в работа [B84] и B86, при което се акцентира върху възможността от отчитане на различни ефекти при термовизионното измерване и реалните конструктивни особености на металургичните пещи. Като цяло в групата работи, свързани с диагностика на топлинната изолация на металургични разливни кофи са получени голям брой оригинални резултати при нова постановка на задачата и което е съществено непосредствено свързани с една нова технология на неразрушаващ контрол при възможност за достатъчно честа инспекция, с което се подобряват условията за предсказващо поддържане, увеличавайки надеждността на логистичната част от управление на много металургични процеси. Разработените методи за диагностика и оценка на остатъчната дебелина на огнеупорната изолация са приложени за конкретни структури на металургични пещи. В работа [B44] и [B43] като частен случай от предходните изследвания на металургична кофа се изучават особеностите на процесите на топлообмен за реални металургични конструкции. Работите имат научно-приложно значение.

3.3.Диагностика и предсказващо поддържане на полупериодичен медодобивен конвертор

Извършено е задълбочено експериментално теоретично и приложно изследване на един от основните агрегати в пирометалургията на цветни метали – конвертора на Peirce-Smith. Основните резултати могат да се систематизират както следва. Дефинирани са основните технологични и режимни особености и изисквания на базата на реални експериментални данни и съществуващ опит от експлоатацията [B71], [B80]. Получени са значителен обем експериментални данни и е направен многофакторен анализ на базата на повече от 5000 плавки организирани в повече от 17 кампании. Поставена е задачата за многокритериална оптимизация на производствения процес при пет частни критерии, свързани с производителност, експлоатационни разходи, разходи за поддържане, сигурност и качество на продукцията представена чрез крайния състав на черната мед [B71,B89]. Предложена е система за управление на три нива: ниво планиране, производствено разписание и управление [B89], като в [B99] са получени оригинални резултати по разширено супервайзорно управление на Peirce-Smith конвертор на базата на хибридна система, включваща метода на прецедентите, вземане на решение на базата на правила и решаване на обратната задача за оценяване на оставащото експлоатационни време при различни експлоатационни критерии. В проведените изследвания са получени голям брой статични модели [B71], квазистатични модели [B89,B99] и динамични модели [B98,B99]. В проведените изследвания са предложени оригинални решения за моделиране на деградацията на фурмите на конвертора с отчитане на кристализацията, като стохастичния модел се представя чрез обвивка на последователните инспекции през десет плавки. Едно от основните достижения е създадената хибридна структура за управление, в която проблема с технологичното управление и поддържането се решават като единна многокритериална оптимизационна задача.

4.Съвременни методи и средства за обучение по управление на производството

Изследователската работа в съвременни направления на моделиране, привличане на знания и съвременни (advanced) методи за управления позволи част от резултатите да се принесат непосредствено в учебния процес под формата не толкова на дидактически новости колкото на иновационна ориентация към нов тип лабораторни упражнения и стендове, нови методи и нови курсове за студентите. В публикациите са отразени систематичните усилия за създаване на принципно нови и с разширени възможности лабораторни стендове.

1.Систематично е увеличавана размерността на решаваните задачи и от стандартни решения с една-две регулируеми величини са създадени стендове с четири регулируеми величини на многосвързан топлинен обект [B6] и значителен скок към създаване на уникален стенд с матрична структура със сто индивидуално управляеми изходи, който е новост в световен мащаб [B40, B56].

2.Като методология са предложени и развити като техника виртуални упражнения, които включват активно използване на Интернет на базата на мрежов интерфейс и специално развита система за човекомашинен интерфейс.

3.Развитие на системи за мрежово управление за обучение на студентите по съвременните подходи за управление в мрежа, отчитайки реалните условия на предаване на информация в мрежата

4.Създаване на специална лаборатория за интердисциплинарно обучение на базата на система от стендове, ориентиране към моделиране на крупномащабни системи до 100x100 и използване на термовизионна апаратура за реализиране на физически

еквиваленти на вложените математични модели. Стендът е награден с Диплома за отличие в “Преглед на Софийското студентско инженерно научно творчество”, 2010.

5. В резултат на изследванията са предложени нови методи за обучение. На първо място методи позволяващи развитието на творческите способности на студентите, чрез сложни многокритериални задачи. Подходът се основава на комбинация от алгоритмични и евристични методи и позволява обективно вземане на решения в проблемни ситуации. Като пример е разгледана тестова задача на базата на сложния нелинеен химически процес Tennessee-Eastman. Методите на вземане на решения формират творческа атмосфера при обучение за придобиване на нови знания и умения у студентите, при което творческият потенциал на студентите се използва в най-голяма степен [B9].

6. Методи на виртуално обучение. Не само като постановка и като техническо изпълнение, но и с разработени лабораторни упражнения, които позволяват да се провеждат дистанционно през Интернет и нови методи за интердисциплинарно обучение. В [B40, B56] е описана създадената в ХТМУ лаборатория за мултидисциплинарно и интердисциплинарно обучение по интелигентна диагностика, изследване на сложни многосвързани системи. В лабораторията се обединяват компютърни и физически модели, чрез представяне на теоретичните модели върху универсален 2D термичен модел в основата на който стои поле с индивидуални регулируеми клетки с размерност 10x10. Генерираният температурен профил от термичния модел се измерва с инфрачервена термокамера. Управляващите въздействия дават възможност за реализиране на различни стратегии за управление. Стендът позволява обучение по теория на управлението в направление многосвързани системи, синтез на робастни системи, моделно предсказващо управление, интелигентни системи за управление и операционни изследвания и вземане на решения. Всяка от тези дисциплини може да бъде изучавана в произволна комбинация с друга от посочените, което представлява естествен начин за създаване на интердисциплинарни похвати у студентите.

7. Някои проблеми от международната практика са разгледани B24 за целесъобразността от развитие на посоката на ePortfolio, в което кандидатът участва като координатор от Българска страна. Някои организационни въпроси са разгледани в [B6] от гледна точка на възможните промени в организацията на учебния процес предвид бързото развитие на методите на използване на знание в света.

Като цяло разработките в областта на учебната работа се отличават с висока конкретност, непосредствени резултати и възможност за привличане на студентите към индивидуализиране и занимания, отчитайки техните интереси, възможности и степен на подготовка и възможности за навлизане в области с постоянно нарастваща сложност.

III. Основни приноси в трудовете на кандидата

1. Разработени са редица оригинални математични модели: аналитични и базирани на данни от нормално функциониране и при дегенерация за различни сложни, неопределени, нелинейни, нестационарни обекти в областта на енергетиката (блок котел-турбина, системи за отопление, вентилация и климатизация на сгради), металургията (конвертор за добив на мед, разливна кофа, високотемпературни нагревателни и електроудъгови пещи) и обекти на екологична защита (пречиствателни станции за отпадъчни води).

2. На базата на приложените нови и модифицирани известни математични модели и на потока от данни са предложени нови методи за косвено оценяване на пряко

неизмерими критични променливи (софтсенсинг), насочен към екологичен мониторинг на отпадъчни газове в ТЕЦ и на отпадъчни води.

3. Направени са оригинални приноси в областта на теорията на управление на технологични процеси:

- Като членове на голям международен колектив, но с ясно документиран принос, е предложен нов оригинален многофункционален агентно базиран регулатор "ASPECT", за който е получен международен патент.

- Предложени са нови методи за нелинейно управление на технологични обекти-нелинейни компенсатори в многосвързани параметрично променливи енергийни обекти, рекурсивен стъпков метод (backstepping) за управление на силно нелинейни обекти.

- Получени са оригинални резултати по функционално развитие на Предсказващото Функционално Управление (PFC) в направление на увеличаване на размерността на решаваните задачи, устойчивост и нелинейно управление (NLPFC).

- Предложени са оригинални логико-динамични системи за управление, включващи различен тип елементи на знание – прецеденти (CBR), логически оператори (RBR), интелигентни автономни агенти (MAS).

- Предложени и реализирани са оригинални системи за супервайзорно управление на сложни системи от енергетиката, металургията и пречиствателни станции за отпадъчни води.

4. Разработени са достатъчно пълно на структурно, алгоритмично и софтуерно ниво нов тип хибридни интелигентни системи за управление, в които технологичните, икономическите и оперативните проблеми по техническо поддържане се решават като единна многокритериална задача за вземане на решение за адекватни действия в произволна ситуация.

5. Разработен е оригинален метод за диагностика на износващата се огнеупорна изолация на високотемпературни металургични обекти в стационарни и нестационарни режими на базата на решаване на правата и обратна задача на топлопроводност, преки термовизионни измервания и регресионен анализ.

6. Извадката от публикации обединени като монография представлява цялостно изследване, в което е разработен достатъчно пълен подход за моделиране, софтсенсинг, технологична диагностика, супервайзорно и базово управление и интегрирано управление на градски пречиствателни станции за отпадъчни води, при което са получени оригинални резултати.

- Предложен е подход за хибридизация на технологично управление и техническо поддържане на базата на приложение на динамични прецеденти DCBR, които в частта за „решение“ съдържат динамични епизоди.

- За ситуации при големи външни смущения, поток и състав на отпадъчни води е предложено използването на метод за нелинейно-предсказващо управление, който се основава на локално линейно функционално предсказващо управление с претеглено формиране на управляващо въздействие пропорционално на отдалечеността от съответните локални модели.

- Предложено е и е програмно реализирано използване на агентно-базирани структури при супервайзорно управление на биологичното пречистване, позволяващо вземане на адекватни решения в ситуации, на които агентите не са обучавани.

- Предложена е нова процедура на бенчмаркинг за оптимизация на режима в биобасейна на база на DEA, като са предложени и методи за модификация на подхода към особеностите на пречиствателните станции за отпадъчни води.

7. За всички разработени нови и модифицирани модели, структурни елементи и методи за управление и диагностика е усвоен, модифициран съществуващ или разработен нов софтуер съгласно международните стандарти.

8. Основна част от научните и научно-приложните изследвания, намерили отражение в публикациите са инициирани от потребности на практиката и са внедрени или пряко насочени към управление на технологични процеси в обекти на енергетиката, металургията и екозащитните системи, посочени по-горе.

9. Част от получените научни и научно-приложни резултати са използвани като основа за създаване на оригинални лаборатории, стендове, нови методи за обучение и допълнения в учебната документация за подобряване съдържанието и нивото на учебния процес. Принос в тази насока е представеният за конкурса нов учебник по „Автоматизация на технологични процеси”, написан от кандидата в съавторство.