УДК 681.513.1

ANALYSIS OF NONMEASURED PARAMETERS AT DISTRIBUTED CONTROL SYSTEMS FOR AUTOMATED SYSTEM OF OBJECTS AND COMPLEXES OF FOOD INDUSTRY

V. Sidletskiy, I. Elperin, V. Polupan
National University of Food Technologies

Key words:
Control system
SCADA
DCS
APC

Article history:
Received 05.02.2016
Received in revised form 03.03.2016
Accepted 20.03.2016

Corresponding author:
V. Sidletskiy
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

This study presents some approaches used for the distributed level of technological processes control. The elucidation of these approaches is useful for better understanding of the processes occuring during the formation of control action, especially in cases when the software developers for industrial ACS use the big amount of settings for system customatization. This approach is reasonable only for the qualified specialists with significant work experience. However, knowledge of the internal processes by such specialists can also provide more flexible work when structuring the data.

АНАЛІЗ НЕВИМІРЮВАНИХ ПАРАМЕТРІВ НА РІВНІ РОЗПОДІЛЕНОГО КЕРУВАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ, ОБ'ЄКТІВ І КОМПЛЕКСІВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

В.М. Сідлецький, І.В. Ельперін, В.В. Полупан
Національний університет харчових технологій

У статті наведено підходи, що реалізуються для розподіленого рівня керування технологічними процесами. Висвітлення цих підходів необхідне для кращого розуміння процесів, які відбуваються при формуванні керуючої дії, особливо для випадків, коли розробники програмного забезпечення промислових АСУ застосовують для налаштування системи велику кількість параметрів. Такий підхід доцільний при роботі кваліфікованих вузькоспеціалізованих фахівців із значним стажем роботи, але й для них знання внутрішніх процесів дасть змогу структурувати дані для більш гнучкої роботи.

Ключові слова: *система керування, АСУТП, SCADA, DCS, APC.*

Постановка проблеми. Сучасний розвиток технічних і програмних засобів автоматизації дозволяє реалізовувати складні алгоритми керування, до

яких можуть належати алгоритми обробки даних технологічного процесу, ідентифікації ситуацій для технологічного процесу та його обладнання, адаптації до зміни параметрів об'єкта і зовнішніх збурюючих впливів. Усе це дозволяє підтримувати граничні значення технологічних параметрів, що надає можливість найбільш ефективно використовувати ресурси й матеріали на виробництві.

Відповідно до сучасних підходів, системи керування будуються як ієрархічні системи, де на нижньому рівні знаходиться автоматизована система керування технологічним процесом, а на найвищому — система керування бізнес-процесами, при цьому важливо об'єднати (зв'язати) дані в один інформаційний простір [1]. Для зв'язку між цими рівнями, а саме: між ділянками підприємства та системами керування, розроблені міжнародні стандарти, наприклад, ISA-95 та відповідний йому європейський стандарт IEC 62264 [2]. Даний стандарт об'єднує автоматизовану систему управління підприємством (АСУП) й автоматизовану систему управління технологічними процесами (АСУТП).

Ефективність роботи системи в цілому залежить від ефективного функціонування підсистем кожного рівня [3]. Саме тому аналіз і проектування системи розглядається не з точки зору ієрархічності, а як єдиний механізм, у якому важлива кожна деталь (рис.1).

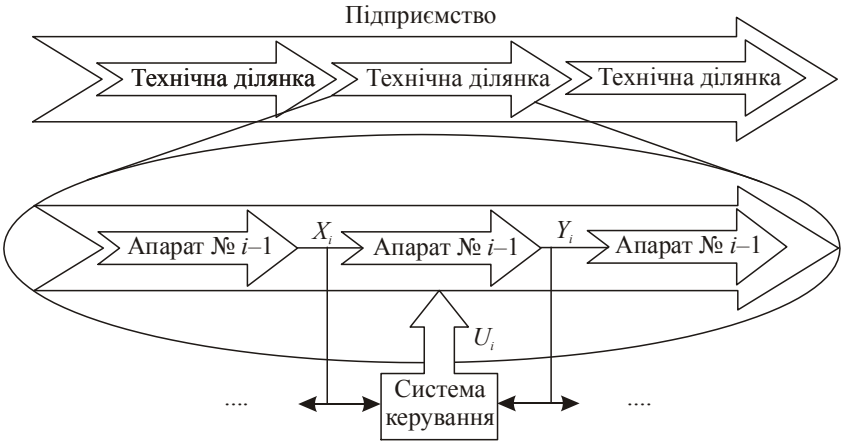

Рис. 1. Керування апаратом як ділянкою складного процесу підприємства

Наприклад, АСУТП являє собою систему операторського управління технологічним процесом у вигляді автоматизованого робочого місця, де використовуються засоби збору, обробки й архівування інформації про хід процесу. Ця система складається з типових елементів автоматики: датчиків, пристроїв керування, виконавчих пристроїв. Складовими частинами АСУТП є системи автоматичного управління, диспетчерського управління й збору даних SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), розподілені управління DCS (Distributed Control System — розподілена система керування), вдосконалене керування технологічним процесом (Advanced Process Control).

Тобто, незважаючи на досить значну кількість і багатогранність підходів при розробці управляючих систем та їх модулів, важливими залишається

питання: яким чином при керуванні системою врахувати всі елементи, що впливають на її роботу, і яким чином при цьому переходити на узагальнюючі оцінки роботи системи для розуміння її розвитку та вирішення стратегічних питань при керуванні [4].

Для кожного рівня ієрархії на сучасному підприємстві при формуванні керуючих дій, з одного боку, виконуються типові задачі незалежно від того, чи це буде апарат чи технологічна ділянка. Наприклад, усі процеси проходять за умови дотримання матеріальних чи енергетичних балансів. При цьому також необхідно враховувати множини різнорідних параметрів та обмежень, нелінійностей, випадкових подій, що створюють відповідні складності у процесах функціонування системи управління й формування кращих керуючих рішень персоналом. Для таких випадків першим кроком формування керуючих дій є визначення, в якому стані знаходиться система і на скільки вона відхилилась від заданих значень. Для того, щоб визначити, на скільки система відхиляється від визначеного напрямку, потрібно, щоб був просторовий опис області задач, який надає можливість визначити місцезнаходження системи. Наприклад, якщо виділити окремо взятий аппарат (рис. 1), то в ньому можна виділити залежність значень вихідних параметрів $Y_i=\{y_{i-1}^1, y_{i-1}^2 ... y_{i-1}^n\}$, які характеризують технологічні показники на виході з апарата, від значень технологічних параметрів на вході в апарат $X_i=\{x_i^1, x_i^2 .... x_i^n\}$, а також значення технологічного режиму на цій стадії, на основі яких формуються управляючі дії $U_i=\{u_i^1, u_i^2 .... u_i^m\}$. Ці показники є індивідуальними як для окремо взятого параметра технологічного апарата, так і стосовно різних технологічних режимів для окремо взятого апарата.

У загальному вигляді їх можна представити як традиційний взаємозв'язок вхідних вихідних та керуючих дій у системи автоматичного регулювання (САР), або як ланку управління складної технологічної системи підприємства. При цьому несуттєво, чи розглядається цей процес стосовно вхідних параметрів управління апаратом, технологічною ділянкою чи підприємства в цілому. Тобто кожний елемент системи повинен працювати в заданих (регламентованих межах), що є необхідним для управління продуктивністю, зменшення втрат, ритмічності, ефективного використання ресурсів, відслідковування й аналізу всього ланцюжка виробництва.

Мета дослідження Розглянути, як виникають збурюючі, випадкові чи перехідні процеси, здійснити розрахунок необхідного управляючого значення та визначити кращі керуючі дії.

Виклад основних результатів дослідженя. Насамперед необхідно розглянути особливості функціонування на рівні SCADA-системи.

Особливістю процесу управління в сучасних диспетчерських системах є обов'язкова присутність людини (оператора, диспетчера), щоб уникнути негативного впливу на систему, що може призвести до відмови (втрати) об'єкта управління або навіть катастрофічних наслідків. Оператор, як правило, несе загальну відповідальність за управління системою. При цьому участь оператора в процесі управління відбувається у разі настання критичних подій (відмови, позаштатні ситуації тощо), які обмежені за часом (кількома хвилинами або навіть секундами). Тобто для таких систем актуальним є прогнозування

появи випадкової ситуації, при якій потрібне втручання оператора. Наприклад, на рис. 2 показана залежність температури після підігрівача Т (°С) від положення регулюючого органа Кл (%) і подачі пари на підігрівач і часу τ (хв).

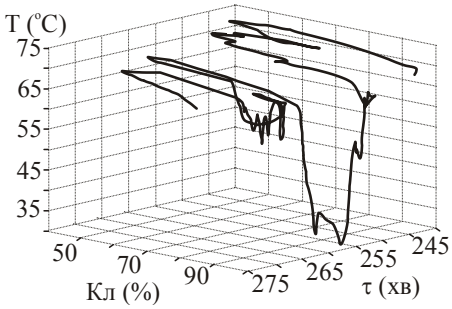

Рис. 2. Значення температури після підігрівача Т (°С) від положення регулюючого органа Кл (%) і подачі пари на підігрівач

Як видно з рис. 2, незважаючи на те, що регулятор працював належним чином і відкрив клапан подачі пари на підігрівач на 100 %, температура з інших причин стала на 50 % меншою за задане значення, що для цього технологічного процесу є критичним. Саме в таких випадках оператору і необхідно втручатись у роботу системи керування.

Складність даної задачі полягає в тому, що оператор зверне увагу не на причини критичної ситуації, а на її наслідки. Тобто з графіка (рис. 2) видно, що положення регулюючого органа для нормальної роботи знаходиться в межах 50—60 %. При виникненні нештатної ситуації приблизно на 245 хвилині зазначеного проміжку дослідження система керування відпрацьовує заданий алгоритм, регулюючий орган відкривається протягом 5 хв і вже на ≈ 250 хвилині займає своє крайнє положення (100 % відкриття). Після цього температура різко починає знижуватись, тобто виникає некерований процес. Саме тому в такій ситуації необхідно спрогнозувати виникнення нештатної ситуації та надати оператору відповідні рекомендації.

Для таких випадків процес роботи системи розподіляються на часові проміжки. Якщо під час аналізу n часових проміжків подія E з'явиться m раз, то ймовірність $P\{E\}$ події E математично визначається таким співвідношенням:

$$P\{E\} = \lim_{n\to\infty} \frac{m}{n}. \qquad (1)$$

Тобто якщо процес роботи повторюється нескінченне число разів ($n\to\infty$), то шукана ймовірність є граничним значенням дробу m/n.

У такому випадку систему управління необхідно доповнити додатковим модулем, який буде аналізувати роботу ділянки включно із системою керування. Результати цього аналізу будуть використовуватись у процесі моделювання та визначення нештатної ситуації. Оскільки критична ситуація може розглядатись у дискретній або неперервній площині, то й моделювання повинно бути або для появи неперервних, або для дискретних подій. Неперервні моделі представляються у вигляді різницевого-диференціального рівняння, яке описує взаємодію між різними елементами системи. Дискретні моделі

використовуються для систем, поведінка яких змінюється лише в задані проміжки часу. Як неперервна, так і дискретна критична ситуація, яку прийняли як випадкову величину, має щільність розподілу ймовірності, яка часто іменується просто щільністю ймовірності і позначається як $f(x)$ (для неперервної випадкової величини) або $p(x)$ (для дискретної випадкової величини).

Найважливішою ймовірнісною характеристикою випадкової величини є функція розподілу, яка визначається таким чином:

$$P\{x \le X\} = \begin{cases} P(X) = \sum\limits_{\lambda=a}^{b} p(x) & \text{для дискретної величини } x; \\ F(X) = \int\limits_{a}^{b} f(x) d(x) & \text{для неперервної випадкової величини } x. \end{cases} \quad (2)$$

Щільність імовірності ставить у відповідність випадковій величині ймовірнісну міру. Щільності ймовірностей для випадкової величини x повинні задовольняти умови:

- для дискретної величини:

$$x = a, a+1, ..., b \text{ при } \left(p(x) > 0,\ \sum_{\lambda=a}^{b} p(x) = 1 \right); \quad (3)$$

- для аналогової величини:

$$a < \delta < b \text{ при } \left(f(x) > 0,\ \int_{a}^{b} f(x) d(x) = 1 \right). \quad (4)$$

Умова невід'ємності для неперервних і дискретних розподілів означає, що щільність імовірності не може приймати негативні значення (в іншому випадку ймовірність деяких подій могла б бути негативною).

Методи подальшого формування рекомендацій для оператора — це методи інтелектуальних систем: нечіткі множини, нейронні мережі, генетичні алгоритми, тобто вдосконалення потребує напрямок вдосконаленого керування технологічним процесом. При цьому важливо не просто передбачити та запобігти виникненню нештатної ситуації, але й забезпечити відмовостійкість системи. Це можливо досягнути, якщо передбачене масштабування системи, тобто відмовостійкість і масштабування — це вимоги, які характерні для розподілених систем керування DCS. Для таких систем передбачається, що зупинка технологічного процесу, як правило, призводить до додаткових втрат і тому є неприпустимою. При цьому відмовостійкість системи досягається резервуванням технічної і програмної бази. Дану ситуацію моделюють у вигляді, наведеному на рис. 3 [5].

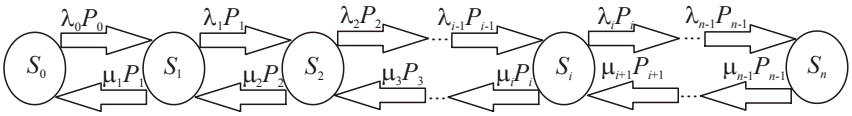

Рис. 3. Моделювання роботи обладнання у вигляді теорії масового обслуговування: $\lambda_i P_i$ — інтенсивності потоків відмов; $\mu_i P_i$ — інтенсивності потоків відновлень; S_i — можливі стани системи (S_0 безвідмовно працюють усі апарати, S_1 — одна одиниця в ремонті, S_2 — дві одиниці в ремонті тощо)

Типовим методом роботи з прогнозуванням можливої відмови обладнання є метод зворотних функцій. Для того, щоб отримати значення x випадкової величини y, що має безперервну або дискретну щільність ймовірності $f(x)$, згідно з методом обернених функцій, спочатку знаходиться функція розподілу $F(x)=P\{y<x\}$, де $0<F(x)<1$ для всіх значень x. Нехай R — випадкове число, отримане з рівномірного на інтервалі [0, 1] розподілу, і нехай F^{-1} — функція, обернена до функції F. При цьому система повинна виконати такі кроки:

Крок 1. Генерується випадкове число R з інтервалу [0, 1].

Крок 2. Обчислюється шукане випадкове число $x = F^{-1}(R)$.

Методами вирішення даних задач є розрахунок необхідного обладнання для резервування, масштабування та дублювання елементів системи, а саме: визначення можливості та необхідності перерахованих дій. Це також одна і вкрай важлива функція для розподіленої системи управління, оскільки нарощування технологічної бази, додавання нових контурів і частин об'єкта управління повинні відбуватися просто і без зупинки функціонування вже підключених рішень. Якщо прийняти, що такі задачі виникають для об'єктів, які були реалізовані сучасною технікою в процесі переконвертації ПО чи його оновленням, яким займається розробник, то задачею є визначення проведення її необхідності, тобто потрібні розрахунки для прийняття рішення про визначення термінів заміни та доповнення обладнання і ПО, яке забезпечують найбільший прибуток або його стабільність з таких причин:

1. Через погіршення показників керування технологічним процесом зменшується якість, і, у свою чергу, вартість продукції P_t із зростанням часу t. Показники погіршуються як через фізичне старіння обладнання та неефективність програмного забезпечення, так і через зростаючі витрати на ремонт.

2. Експлуатаційні витрати EK_t з часом зростають через витрати на ремонт і супроводження застарілого програмного забезпечення.

Тобто мета полягає в тому, щоб контролювати вищеописаний процес, що дасть змогу отримати максимальний прибуток. Коли ж цей прибуток зменшується, що потрібно визначити термін, замінити обладнання та програмне забезпечення системи керування на нове чи принаймі доповнити сучасними підсистемами.

Тобто розглядається два випадки для часу t:

1. Обладнання не замінюється. Прибуток дорівнює $f_t^1 = P_t - EK_t$.

2. Обладнання замінюється. Прибуток дорівнює $f_t^2 = P_0 - EK_0 - V_0 + VZ_t$

де P_t, P_0 — вартість продукції, яку випускає обладнання, що використовувалося протягом часу t, та нове обладнання (при $t = 0$ років); EK_t, EK_0 — експлуатаційні витрати на обладнання, тривалість використання t та нове обладнання; V_0 — вартість нового обладнання (купівля, транспортування, встановлення, налагодження, супроводження).

Але головною відмінністю еволюційних підходів до розробки підсистем (SCADA, DCS) є простота конфігурування і надання додаткової інформації, яка недоступна в традиційних системах. Зважаючи на це, до їх складу повинна входити множина необхідних елементів, серед яких системи програмування,

бібліотеки стандартних елементів, налаштовані мережеві інтерфейси та протоколи. Тобто актуальним є напрямок удосконаленого керування технологічним процесом, а саме: розробка (відповідно до ISA-95) APC підсистеми — системи вдосконаленого керування. Вказаний підхід до керування технологічним процесом, як правило, відповідає загальній концептуальній архітектурі інтелектуальної системи управління і містить такі основні модулі: інформаційну базу (може входити також і база знань) з розвиненими механізмами виведення, систему пояснення та людино-машинний інтерфейс. Це пов'язано передусім із неможливістю розробки математичної залежності між «входом» і «виходом», тобто розробити адекватну, явно задану, математичну модель може бути складно. У таких випадках досить часто використовують імітаційне моделювання, де реальна система поділяється на ряд досить малих (у функціональному відношенні) елементів або модулів. З метою інтеграції інформаційних технологій у системі керування використовують теорію ситуаційного управління. Після цього поведінка вихідної системи імітується як поведінка сукупності цих елементів, певним чином пов'язаних (шляхом встановлення відповідних взаємозв'язків між ними) в єдине ціле.

Основним завданням використання імітаційного моделювання є розрахунок шуканої випадкової величини (вихід технологічного обладнання з ладу, пошкодження елементів системи керування, вплив неконтрольованих величин) у вигляді суми інших випадкових величин, для яких легко отримати реалізацію випадкових значень.

Але якою складною не була б задача розробки імітаційної моделі, виведена системою керування інформація повинна подаватися обслуговуючому персоналу в такому вигляді й послідовності, що надало б можливість максимально та незаперечно сприймати її. Це, у свою чергу, вимагає нових досліджень і розробки нових підходів до розробки системи керування. Наприклад, у [6] в основу математичного моделювання діяльності людини покладена ідея використання методів Монте-Карло для імітації ймовірносно-часових характеристик діяльності операторів. Ступінь розділення діяльності оператора на окремі операції залежить від мети розрахунку і не має для моделі істотного значення. У загальному випадку час виконання окремої операції складається з двох складових:

$$S_{ij} = \frac{\sum\limits_{I=i+1}^{n} T_{ij} \Big| B_{ij} = 1}{T_{ij} - T_{i\ pfnh}}, \tag{5}$$

де S_{ij} — коефіцієнт тимчасового навантаження i-й операції в j-й реалізації; $\sum\limits_{I=i+1}^{n} T_{ij} \Big| B_{ij} = 1$ — час, необхідний на виконання решти (після i-ої) суттєвих операцій; B_1 — індекс суттєвості ($B = 1$ операція істотна; $B = 0$ — несуттєва); 60 Тц — час, відведений на виконання всієї задачі (час циклу); T_i — реально витрачений час на виконання операцій до $(i + 1)$-й в j-й реалізації; n — загальна кількість операцій в даній задачі; i — поточний номер модельованої операції; j — номер реалізації алгоритму.

У цілому система вдосконаленого керування технологічним процесом матиме вигляд, представлений на рис. 4. Насамперед система доповнюється модулем «Прогнозування появи нештатної ситуації», який проводить аналіз роботи ділянки включно із системою керування, потім, використовуючи дані аналізу, моделюється та перевіряється можливість появи нештатної ситуації.

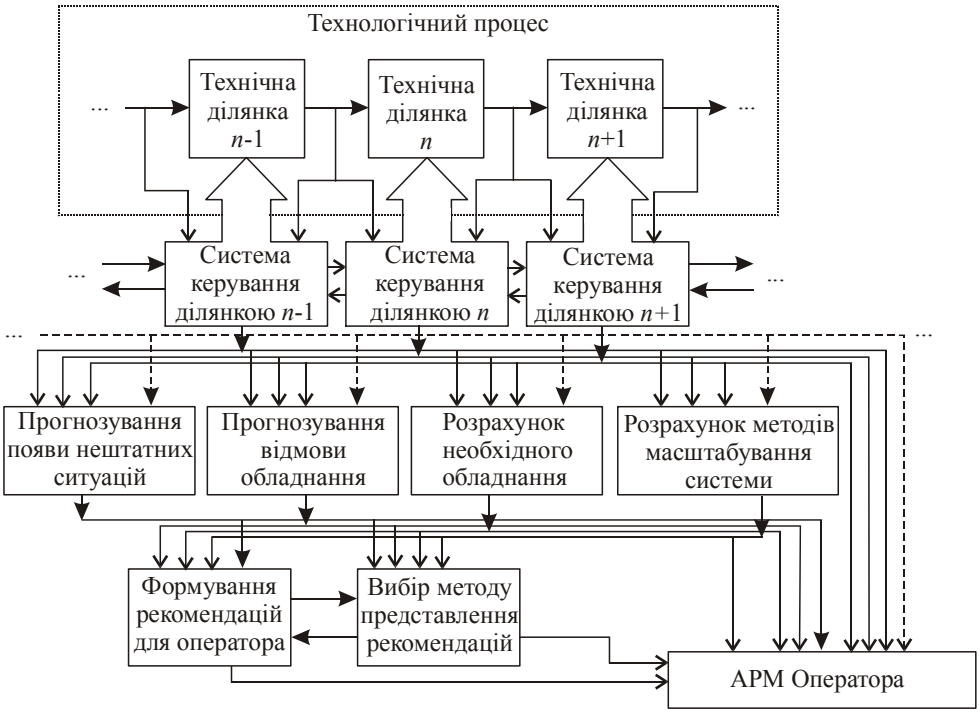

Рис. 4. Автоматизована система для рівня розподіленого керування технологічним процесом

При розрахунку всіх можливих варіацій нештатних ситуацій відбираються ті ситуації, які спричинятимуть відмову роботи обладнання. Саме тому наявний модуль «Прогнозування відмови обладнання» для розрахунку можливих відмов обладнання. На цей модуль надходять дані від систем керування та від модуля розрахунку появи нештатної ситуації. Як наслідок, це спричиняє необхідність пошуку варіантів дублювання елементів системи, а у випадках нарощування певної технологічної ділянки — необхідність масштабування системи. Зважаючи на це, система керування доповнюється модулями «Розрахунок необхідного обладнання» та «Розрахунок методів масштабування системи».

Як зазначалось вище, до важливих задач відносяться насамперед обробка і виведення результатів та формування послідовності усунення можливих відхилень від роботи технологічного процесу. Для цього вносяться модулі «Формування рекомендацій для оператора» та «Вибір методу представлення рекомендацій». Це дозволяє представити не тільки результат рішення, а й весь шлях причинно-наслідкового ланцюжка.

Висновки

Запропонована система аналізу невимірюваних параметрів на рівні розподіленого керування для автоматизованої системи об'єктів і комплексів харчової промисловості доповнена додатковими модулями, які направлені на прогноз виявлення нештатних ситуацій і виявлення виходу з ладу обладнання, а також передбачення необхідного резерву ресурсів і формування методів для їх запобігання.

Література

1. *The* role of semantic models in smarter industrial operations: Introductory [Електронний ресурс] / T. Hanis, D. Noller // developerWorks. — 2011. — Режим доступу до статті: http://www.ibm.com/developerworks/library/x-ind-semanticmodels/x-ind-semanticmodels-pdf.

2. *Sharing* data for production scheduling using the ISA-95 standard [Електронний ресурс] / I. Harjunkoski, R. Bauer // Frontiers in Energy Research. — 2014. — 2:44. — Режим доступу: http://dx.doi.org/10.3389/fenrg.2014.00044 (21.10.2014).

3. *Shell. Richard L. and Hall. Ernest L.,* Handbook of industrial automation. Marcel Dekker, Inc. — New York, NY 10016, 2000. — P. 202—214.

4. *APC*: A Status Report (The Patient Is Still Breathing!) [Електронний ресурс] / James R. Ford // Maverick Technologies. — 2014. — Режим доступу до журн.: www.isa.org/standards-and-publications/isa-publications/intech-magazine/white-papers/mes-take-the-time-upfront.

5. *Таха Хемди А.* Введение в исследование операций, 7-е издание: Пер. с англ. / Таха Хемди А. — Москва: Издательский дом «Вильямс», 2005. — 912 с.

6. *Мунипов В.М.* Эргономика: человекоориентированное проектирование техники, программных средств и среды / В.М. Мунипов, В.П. Зинченко. — Москва: Логос, 2001. — 356 с.

АНАЛИЗ НЕИЗМЕРЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ НА УРОВНЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ, ОБЪЕКТОВ И КОМПЛЕКСОВ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В.М. Сидлецкий, И.В. Эльперин, В.В. Полупан
Национальный университет пищевых технологий

В статье приводятся некоторые подходы, реализуемые для распределенного уровня управления технологическими процессами. Освещение этих подходов необходимо для лучшего понимания процессов, происходящих при формировании управляющего действия, особенно для случаев, когда разработчики программного обеспечения промышленных АСУ применяют большое количество параметров для настройки системы. Такой подход оправдан при работе квалифицированных узкоспециализированных специалистов со значительным стажем работы, но и для них важно понимание внутренних процессов, поскольку это позволит структурировать данные для более гибкой работы.

***Ключевые слова**: система управления, АСУТП, SCADA, DCS, APC.*