Висновки

1. Введення в замкнуту контур регулювання модулю прогнозування за кубічним сплайном забезпечує підвищення динамічної точності САР та її запасу стійкості за коефіцієнтом передачі та часом запізнення. Для тестової САР, яка оптимальна за інтегральним квадратичним показником якості, при збільшенні інтервалу прогнозування в замкнутому контурі поступово збільшується динамічна точність та запас стійкості, при подальшому збільшенні інтервалу прогнозування відбувається збільшення еквівалентного коефіцієнта передачі модуля прогнозування, підвищення динамічної точності уповільнюється, а запас стійкості системи за коефіцієнтом передачі зменшується і система втрачає стійкість. Це потрібно враховувати при налаштуванні інтервалу прогнозування і реалізувати його само налагодження у системі. Також потрібно враховувати можливість зниження часу запізнення в каналі управління і розраховувати інтервал прогнозування виходячи з його мінімальних значень. Результати моделювання показали що введення модулю прогнозування в САР без пере налаштування параметрів регулятора дозволяє знизити максимальне динамічне відхилення на 30-35%, інтегральний показник якості до 2 разів при значному підвищенні запасу стійкості.

2. Введення в контур регулювання САР, яка оптимальна за інтегральним квадратичним показником якості модулю прогнозування за лінійним законом значних покращень не забезпечило. Підвищення динамічної точності при збільшенні інтервалу прогнозування супроводжувалось швидким зниженням запасу стійкості САР. Частково це можна пояснити властивостями АЧХ (рис.6) модулю прогнозування який на частоті власного руху системи посилює сигнал значно більше ніж модуль прогнозування на основі кубічного сплайну. Тому налаштування інтервалу прогнозування потрібно проводити у сукупності з параметрами регулятора.

3. Результати оптимального параметричного синтезу проведеного в умовах параметричної невизначеності ОК підтвердили перевагу САР з прогнозуванням за кубічним сплайном перед САР з лінійним прогнозуванням та базовою САР. САР з прогнозуванням за кубічним сплайном забезпечує зниження максимального динамічного відхилення більш ніж на 40% та інтегрального показника якості у 3-4 рази в порівнянні з базовою САР яка реалізує принцип керування за відхиленням.

Список використаних джерел

- [1] Степанов М.Т., Хобин В.А. Прогнозирование вынужденного движения и его применение в системах гарантирующего управления // Автоматизация технологических и бизнес-процесов. – Одеса, 2011. – № 5-6. – С. 20-25
- [2] Пикина Г.А., Кузнецов М.С. Синтез линейных прогностических алгоритмов регулирования // Новое в российской электроэнергетике. – 2009. – № 10. – С. 40-44.
- [3] Пикина Г.А., Кузнецов М.С. Прогностические типовые алгоритмы регулирования // Теплоэнергетика. – 2011. – № 4. – С. 61-66.
- [4] Степанов М.Т., Хобин В.А. Система автоматического регулирования инвариантна до контролируемых возмущений з прогнозуванням сигналу корекції по кубічному сплайну // Автоматизация технологических и бизнес-процесов. – Одеса, 2020. — Т. 12, № 1. – С. 67-74.

References

- [1] M.T. Stepanov et al., "Prognostirovanie vyinuzhdenogo dvizheniya i ego primeneniye v sistemah garantiruyushchego upravleniya," *Automation of technological and business processes*, no.5-6, pp.20-25, 2011.
- [2] G.A. Pikina et al. "Sintez lineynykh prognosticheskikh algoritmov regulirovaniya," *Novoe v rossiyskoy elektroenergetike*, vol. 10, pp. 40-44, 2009.
- [3] G.A. Pikina et al. "Prognosticheskie tipovyye algoritmy regulirovaniya," *Teploenergetika*, vol. 4, pp. 61-66, 2011.
- [4] M.T. Stepanov et al. "Automatic control system invariant to controlled perturbations with forecasting of correction signal by cubic spline," *Automation of technological and business processes*, vol 12, iss.1, pp. 64-70, 2020.

УДК 621.577.4

МЕТОДИ ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ЛЮДИНО-МАШИННОГО ІНТЕРФЕЙСУ

Волощук В. А.¹, Некрашевич О. В.², Ханко А. О.³

^{1,2,3} Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

ORCID: ¹ <http://orcid.org/0000-0003-0687-8968>, ² <http://orcid.org/0000-0003-2263-3549>,

³ <http://orcid.org/0000-0002-8682-9084>

E-mail: ¹vl.volodya@gmail.com, ²olena.nekrashevych@gmail.com, ³bismarck195@gmail.com

Copyright © 2020 by author and the journal "Automation of technological and business – processes".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i4.1930>

Анотація. Дизайн людино-машинного інтерфейсу відіграє вирішальну роль у визначенні здатності оператора ефективно керувати процесом, особливо у відповідь на нештатні ситуації. По ряду причин поточна архітектура та можливості більшості людино-машинних інтерфейсів далеко не оптимальні для роботи з операторами. Розробка класичної системи диспетчерського управління та збору даних, як правило, починалась з детальної діаграми трубопроводів та контрольно-вимірювальних приладів, як основи дисплеїв операторів при створенні людино-машинного інтерфейсу. Як виявилось існує багато процесів для яких такий підхід не бажаний, а в деяких випадках взагалі є неприпустимим і призводить до дуже перевантаженого та заплутаного зображення без достатнього акценту на інформації, необхідній операторам для ефективного виконання своїх завдань. Як результат, галузі, з сучасними системами управління, зараз використовують примітивний людино-машинний інтерфейс, створений десятиліття тому, у той час, коли було мало знань про належні практики та принципи розробки. Метою цієї роботи є висвітлення принципів правильного та ефективного дизайну графіки, що використовується в сучасних системах диспетчерського управління та збору даних, а також виявлення неприпустимих практик, що згубно впливають на сприйняття інформації оператором. Як виявилось для розробки ефективної графіки елементи інтерфейсу не варто використовувати на власний розсуд, необхідно слідувати деяким правилам, які тлумачить, що є корисним та потрібним, а що може перешкодити правильному сприйняттю інформації. Натомість в порівняльному аналізі використання високопродуктивної графіки доводить свої переваги. Концепція високопродуктивної графіки довела свою актуальність, її принципи та можливості проєктування слугують для створення людино-машинного інтерфейсу, що забезпечує чітке та зрозуміле усвідомлення ситуації операторами. Ефективний людино-машинний інтерфейс повинен надавати операторам необхідну інформацію у формі, яку вони можуть швидко зрозуміти, щоб приймати правильні рішення. Новий стандарт ISA-101 описує весь життєвий цикл людино-машинного інтерфейсу від задуму до експлуатації, що допомагає інтеграторам краще зрозуміти, що означають ці концепції та як їх застосовувати на практиці. Подальший розвиток стандарту та його імплементація на працюючих підприємствах є перспективним завданням для вчених та інженерів. Стаття носить оглядовий характер та призначена для систематизації знань, по даній тематиці та висвітлення нових перспективних напрямків досліджень.

Abstract. The design of the human-machine interface plays a crucial role in determining the operator's ability to effectively manage the process, especially in response to abnormal situations. For a number of reasons, the current architecture and capabilities of most human-machine interfaces are far from optimal for working with operators. The development of the classical system of dispatch control and data collection, as a rule, began with a detailed diagram of pipelines and control and measuring devices, as the basis of operators' displays when creating a human-machine interface. As it turned out, there are many processes for which this approach is not desirable, and in some cases is unacceptable and leads to a very overloaded and confusing image without sufficient emphasis on the information needed by operators to effectively perform their tasks. As a result, industries with modern control systems now use a primitive human-machine interface created decades ago, at a time when there was little knowledge of good practices and design principles. The purpose of this work is to highlight the principles of correct and efficient graphics design used in modern control systems and data collection, as well as to identify unacceptable practices that adversely affect the perception of information by the operator. As it turned out, to develop effective graphics, the interface elements should not be used at its discretion, it is necessary to follow some rules that explain what is useful and necessary, and what may interfere with the correct perception of information. Instead, in comparative analysis, the use of high-performance graphics proves its advantages. The concept of high-performance graphics has proven its relevance, its principles and design capabilities are used to create a human-machine interface that provides a clear and understandable understanding of the situation by operators. An efficient human-machine interface must provide operators with the necessary information in a form that they can quickly understand in order to make the right decisions. The new ISA-101 standard describes the entire lifecycle of the human-machine interface from design to operation, helping integrators better understand what these concepts mean and how to apply them in practice. Further development of the standard and its implementation in operating enterprises is a promising task for scientists and engineers. The article is an overview and is designed to systematize knowledge on this topic and highlight new promising areas of research.

Ключові слова: високоефективний HMI, SCADA, інтерфейс, ISA-101, людино-машинний інтерфейс

Keywords: high-performance HMI, SCADA, interface, ISA-101, human-machine interface

Вступ

Людино-машинний інтерфейс (HMI) – це сукупність екранів, мнемосхем, кнопок, слайдерів та інших технологій, що використовуються оператором для моніторингу технологічного процесу та взаємодії з системами диспетчерського управління та збору даних (SCADA). Саме дизайн HMI відіграє вирішальну роль у визначенні здатності оператора ефективно керувати процесом, особливо у відповідь на нештатні ситуації [1].

З деяких причин поточна архітектура та можливості більшості HMI далеко не оптимальні для виконання складних операцій. Більшість із них складаються просто із схематичної графіки, що супроводжується цифрами. Такі дисплеї надають великі обсяги необроблених даних, майже не мають потрібної інформації та забезпечують неадекватне усвідомлення ситуації оператором.

Екскурс в історію появи систем візуалізації та супервізорного контролю допоможе краще зрозуміти коріння проблеми. До появи складних цифрових систем управління HMI оператора зазвичай представляв собою щит

керування, який забезпечував повний огляд всіх показників роботи об'єкта та навчений оператор міг бачити всю обстановку майже з першого погляду.

Недоліками цих систем було те, що їх було дуже важко модифікувати. Було проблематичним додавання додаткових можливостей та майже не існувала можливість передавати та аналізувати їх данні. Саме тому їх замінили сучасні SCADA-системи, які включали можливість створювати та відображати графіку, що полегшило контроль над об'єктом управління. Однак на той час не було чітких вказівок щодо того, як правильно створювати ефективну графіку. Перші розробники створювали графіку, що імітувала схематичні мнемосхеми, насамперед тому, що вони були легко доступні. Як результат, галузі з сучасними системи управління, зараз використовують примітивний НМІ, створений десятиліття тому.

У міру розвитку виробниками апаратного забезпечення SCADA-графіки почали застосовуватися дуже кричущі практики дизайну. Результатом стали мнемосхеми, які є неоптимальними для операторів через обмеженість колірної палітри, що використовувалась непослідовно та переповненість цифрами дисплеїв. Тому можна виділити наступні конкретні елементи графічного інтерфейсу, які несприятливо впливають на сприйняття інформації [2, с. 8]:

- виключно схематичне зображення технологічного процесу;
- велика кількість необроблених числових даних;
- замала кількість трендів;
- надмірне використання анімацій та подібних відволікаючих елементів;
- яскраві тривимірні об'єкти;
- висока деталізація зображень обладнання;
- спроби розфарбувати вміст трубопроводів;
- велика виноска в одиницях вимірювання;
- яскраві кольорові зображення рівня рідини, що відображаються на всю ширину резервуару;
- багато ліній перетину та невідповідний напрямок потоку;
- невідповідне кольорове кодування та неправильне використання кольорів, пов'язаних із сигналізацією;
- обмежена та заплутана навігація по сторінках;
- відсутність ієрархії відображення інформації.

Натомість високопродуктивна графіка базується на таких методах побудови інтерфейсу:

- видалення схематичного зображення процесу, за винятком випадків, коли це функціонально важливо;
- обмежене використання кольору (колір використовується дуже конкретно та послідовно);
- сірий фон для мінімізації відблисків;
- відсутність анімації, за винятком специфічної графічної поведінки, пов'язаної з сигналізацією;
- вбудовані в мнемосхему, правильно відформатовані тренди важливих параметрів;
- аналогове представлення вимірювань важливих технологічних параметрів із відображенням їх значень відносно нормальних та нештатних діапазонів;
- правильна ієрархія відображуваного вмісту, що забезпечує поступове викладення детальної інформації;
- мало контрастні зображення в 2D, а не в 3D;
- логічні та послідовні методи навігації;
- послідовне зображення та компонування потоків для мінімізації перетину ліній;
- методи мінімізації помилок введення даних оператора;
- заходи перевірки та безпеки.

Мета роботи

Метою роботи є дослідження принципів побудови людино-машинного інтерфейсу, що передбачає обґрунтування переваг високопродуктивної графіки та систематизації знань по даній тематичі з висвітленням нових перспективних напрямів досліджень.

Викладення основного матеріалу

Основною відмінністю високопродуктивної графіки є принцип того, що, де це можливо, робочі значення відображаються в інформаційному контексті, а не просто як необроблені числа, розкидані по екрану. Параметри можуть бути представлені набором згрупованих аналогових показників, як на рисунку 1.

Аналоговий показник – це інструмент візуалізації, інтуїтивно зрозумілий для людей, що відображає поточні значення параметра та межі його допустимих значень. Серією коротких поглядів оператор може бути в повній мірі ознайомлений з поточним станом усього технологічного процесу.

Знання про те, що є нормальним, вбудовується в сам НМІ, що полегшує навчання та виявлення нештатної ситуації – до того моменту, як спрацює сигналізація, що є край бажано [2, с. 10].

Багато помилкових рішень в інтерфейсі пов'язано з кольором. Не всі люди здатні однаково добре сприймати яскраві кольори. З цієї причини існує добре відомий принцип використання кольору – колір сам по собі не використовується як єдиний розрізнявач важливої умови або статусу [3, с. 7]. Більшість графічних елементів у всьому світі порушують цей принцип, тому бажано використовувати додаткове кодування інформації за допомогою методів,

відмінних від кольору. Але якщо говорити в першу чергу про колір, то необхідно розробити кольорову палітру з послідовним використанням обмеженої кількості кольорів, що добре розрізняються оператором.

Рис. 1 – Аналогові індикатори
Fig. 1 – Analog indicators

Яскраві кольори в основному повинні використовуватися для акцентування уваги виключно до нештатних ситуацій. Екрани, що відображають нормальну роботу, не повинні покриватися яскраво насиченими кольорами, такими як червоний або зелений. Відносна яскравість об'єкта на схемі показує його статус, разом із словом біля нього. Об'єкти яскравіші від фону - працюють, а ті що темніші від фону – вимкнені, як на рисунку 2 [2, с. 11].

Рис. 2 – Надмірне кодування та правильне використання кольорів [2]
Fig. 2 – Excessive coding and correct use of colors

Правильне відображення сигналізації також повинно бути закодовано по пріоритету (колір / форма / текст). Кольори сигналізації не слід використовувати для функцій, не пов'язаних із сигналізацією [2, с. 12]. Коли значення виходить за нормальний діапазон, поряд з ним з'являється окремий індикатор сигналізації (див. рис. 3). Індикатор миготить, поки сигнал не підтверджено та перестає після підтвердження, але залишається відображеним, доки діє сигнал тривоги [3, с. 9].

Рис. 3 – Зображення сигналізації
Fig. 3 – Image alarms

Люди погано виявляють зміну кольору в периферійному зорі, але рух, такий як миготіння, легко виявляється. Таким чином, сигналізація легко виділяється на графіці та виявляється з першого погляду.

Сьогодні найбільш нагальною проблемою НМІ є загальна відсутність належним чином реалізованих трендів (див. рис. 4). Як правило, за замовчуванням графіки є прихованими та надаються операторові на вимогу, тобто для правильного масштабування діапазону тренду може знадобитися від 10 до 20 натискань / виділень, що сильно впливає на час реакції оператора. Тому тренди важливих параметрів повинні бути вбудованими в мнемосхему та відображатися щоразу, коли мнемосхема викликається.

В свою чергу, рівень в резервуарах не повинен відображатися, як великий об'єм контрастного кольору. Натомість, кращою ідеєю є зображення індикатора, що показує близькість до меж сигналізації. Проте саме комбінація зображень, трендів та аналогових індикаторів є найкращим варіантом [4, с. 23] (див. рис. 5).

Рис. 4 – Тренди із зображенням допустимих діапазонів
Fig. 4 – Trends with the image of acceptable ranges

Рис. 5 – Відображення рівня в резервуарах [2]
Fig. 5 – Level display in tanks [2]

Людське око краще виявляє наявність чогось, ніж його відсутність [2, с. 16]. Це твердження знаходить підтвердження при відображенні відносних положень виконавчих механізмів. При цьому аналогове представлення краще, ніж просто цифри. Такий спосіб відображення поступається використанню рухомих елементів з вказівником, оскільки коли значення стовпчика стає низьким, представлення положення на шкалі зникає. Приклад наведено на рисунку 6.

Рис. 6 – Використання шкали з вказівником замість суцільної заливки [2]
Fig. 6 – Using a scale with a pointer instead of a solid fill [2]

Для забезпечення оптимального усвідомлення ситуації та контролю дисплеї повинні мати ієрархічну структуру (див. рис. 7), яка складається з чотирьох рівнів, що забезпечують поступове висвітлення деталей. Від загального (показників ефективності) до конкретного (обладнання/діагностична інформація) [3, с. 6].

Рис. 7 – Ієрархічна структура вікон з графікою [3]
Fig. 7 – The hierarchical structure of the graphics window [3]

Дисплей 1-го рівня (вікно огляду підприємства/виробництва) використовується для огляду основних параметрів процесу та сигналізацій [5, с. 2]. Як правило він забезпечує відображення ключових показників ефективності (див. рис. 8).

Рис. 8 – Структура вікна першого рівня [6]
Fig. 8 – First level window structure [6]

Дисплей 2-го рівня (вікно технологічного процесу) містити всю інформацію та засоби управління, які необхідні для виконання більшості завдань оператора, пов'язаних з конкретною виробничою одиницею, з одного вікна [6, с. 48]. Він повинен містити більше деталей ніж дисплей 1-го рівня та забезпечувати навігацію до більш детальних відомостей на дисплеях рівня 3 та 4 (див. рис. 9).

Рис. 9 – Структура вікна 2-го рівня [8]

Fig. 9 – Level 2 window structure [8]

Дисплей 3-го рівня (вікно контуру/підсистеми процесу) забезпечує всю детальну інформацію про конкретну систему або підсистему процесу та використовується для детальної діагностики проблем [7, с. 39]. На ньому зображуються всі параметри, статуси, сигнализації та блокування. Ієрархічно, ця інформація може бути об'єднана в рівень 2 або рівень 4. Приклад вікна для дисплеїв рівня 3 наведено на рисунку 10.

Рис. 10 – Структура вікна 3-го рівня

Fig. 10 – Structure window level 3

Дисплеї 4-го рівня (вікна діагностики) забезпечують найбільш деталізовану інформацію про підсистеми, окремі датчики або компоненти. Вони показують максимально детальну діагностичну або іншу інформацію, яка необхідна оператору в певний момент часу (див. рис. 11). Лінія розподілу між дисплеями рівня 3 та рівня 4 може бути дещо розмитою [8, с. 47].

RD	+0.0		X
SM	500.4	SP	530.0
ERR	29.6	Kp	1.0
OUT	0.0	Ti	100.0
ST	0	Kd	0.6
Er	0	Td	100.0
Eb	0	MV	0.0
RES	☐	MEn	☐

Рис. 11 – Структура вікна 4-го рівня
Fig. 11 – Structure window Level 4

Створення та підтримка високоефективного HMI - це багатоетапний процес, який може тривати десятки років від початкових концепцій до виведення системи з експлуатації. Стандарт ISA-101 розкриває підхід життєвого циклу для ефективного управління HMI та намагається виявити і вирішити різні проблеми протягом всього цього періоду часу, починаючи від розробки стандартів та дизайну HMI, закінчуючи налагодженням та обслуговуванням HMI [9]. На рисунку 12 показані етапи, які охоплює цей стандарт.

Рис. 12 – Етапи життєвого циклу HMI згідно ISA-101 [9]
Fig. 12 – HMI life cycle stages according to ISA-101 [9]

Стандарт надає вказівки щодо проектування, побудови та обслуговування HMI, що призводить до більш ефективного контролю процесу. Він також спрямований на поліпшення здатності оператора своєчасно та ефективно виявляти, діагностувати та реагувати на нештатні ситуації [10]. Практики, визначені в ISA-101, можуть бути застосованими до різних типів процесів: безперервних, періодичних та дискретних. Таким чином цей стандарт надає багато користі для кінцевих споживачів, включаючи можливості зменшити вартість HMI протягом усього життєвого циклу, підвищити ефективність роботи оператора та зменшити кількість аварій на підприємстві.

Висновки

В роботі наведено, що більшість систем автоматизації, що знаходяться на сьогоднішній день в експлуатації мають малоефективний та непрактичний HMI, що був розроблений без належних знань та призводить до зниження

швидкості сприйняття інформації оператором, підвищення зорового навантаження, і як результат збільшення часу реакції в екстрених ситуаціях та надмірна втома зорового апарату оператора. Протягом багатьох років експлуатуючий персонал працює з такими системами і навіть не підозрює, що правильно організований інтерфейс здатен впливати на ефективність роботи та самопочуття. Функціональність та спостережливість цих систем можна значно підвищити, якщо переробити їх відповідно до принципів високопродуктивної графіки, які базуються на практичності та досвіді.

Продемонстровано ефективність високопродуктивної графіки, яка є основою для подальших досліджень з метою вдосконалення взаємодії між людиною та машиною на підприємствах в кожному конкретному випадку. Це дасть змогу виключити суб'єктивність сприйняття інформаційної обстановки персоналом та дасть можливість значно поліпшити рівень спостережливості за технологічним процесом. Імплементація описаних методів проектування НМІ на діючих промислових виробництвах та експериментальна перевірка ефективності впровадження подібних технологій у повній мірі задовольнить усі необхідні інформаційні потреби операторів, та в той же час виключатиме можливість виникнення небезпечної аварійної ситуації на підприємстві внаслідок втоми або невірного трактування інформації обслуговуючим персоналом.

Показано, що одним з перспективних напрямків є аналіз глобального ефекту від впровадження високопродуктивної графіки, а саме оцінка ефективності виробничих процесів підприємства, аналіз ефективності інновацій, таких як впровадження подібного роду графіки на мобільних пристроях обслуговуючого персоналу, оцінка взаємозв'язку кількості аварійних ситуацій від якості графіки, комплексний аналіз повноти та ефективності від використання високопродуктивної графіки на підприємствах різних типів, переважно там де вагому роль грає людський фактор.

Розвиток стандарту ISA-101, пошук нових методів та дослідження в цій галузі є особливо перспективними в епоху Industry 4.0. Впровадження передових практик на діючих технологічних підприємствах є важливим завданням для молодих вчених та інженерів.

Подяка. Стаття підготовлена в рамках виконання проекту «Розроблення техніко-технологічних схем та систем керування теплозабезпечення населених пунктів на основі термодинамічних підходів» (номер державної реєстрації НДР 0120U102168).

Список використаних джерел

- [1] R. Lew, R. L. Boring and T. A. Ulrich, "A prototyping environment for research on human-machine interfaces in process control use of Microsoft WPF for microworld and distributed control system development," 2014 7th International Symposium on Resilient Control Systems (ISRCs), Denver, CO, 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISRCs.2014.6900111.
- [2] B. Hollifield, "A High Performance HMI. Better Graphics for Operations Effectiveness", 2012 ISA Water & Wastewater and Automatic Controls Symposium, Orlando, 2012, pp. 1-27.
- [3] Situational Awareness – The Next Leap in Industrial Human Machine Interface Design. Whitepaper. Schneider Electric Software, LLC., 2015. [Online]. Available: <https://www.controlglobal.com/assets/15WPpdf/150813-Schneider-SituationalAwareness.pdf>. Accessed on: Nov. 19, 2020.
- [4] Next-generation SCADA high performance human-machine interfaces. Presentation. Arcadis, 2018. [Online]. Available: https://onewaterohio.org/docs/NextGenSCADA_HPHMI_Final_020817_-_OneWater.pdf. Accessed on: Nov. 11, 2020.
- [5] D. Reising, and P. Bullemer, "Operator situation awareness & delivering ASM-compliant high performance HMIs: Failure modes and success factors", American Fuel & Petrochemical Manufacturers Annual Meeting, San Antonio, 2015, pp. 1-10.
- [6] ISA101: What It Is and Why It Is Needed – Overview and Current Activities. Presentation. The International Society of Automation, 2017. [Online]. Available: <https://isaneworleans.files.wordpress.com/2017/08/isa-new-orleans-sept-2017-meeting-isa101-presentation.pdf>. Accessed on: Nov. 14, 2020.
- [7] Using ISA-101 & High Performance HMIs for More Effective Operations. Presentation. WEAO Intelligent Wastewater Systems Seminar, 2017. [Online]. Available: http://www.grahamnasby.com/files_publications/NasbyG_2017_HighPerformanceHMIs_IntelligentWastewaterSeminar_WEAO_sept14-2017_slides-public.pdf. Accessed on: Nov. 11, 2020.
- [8] ISA-101.01-2015 - Human Machine Interfaces for Process Automation Systems. Presentation. The International Society of Automation, 2019. [Online]. Available: https://www.instmc.org/Portals/0/ISA101%202019%20Tech%20Lecture%20%281%29_1_1.pdf. Accessed on: Nov. 18, 2020.
- [9] ISA-101 Standard Addresses the HMI Lifecycle. Advisory group blog of industry trends. The International Society of Automation, 2018. [Online]. Available: <https://www.arcweb.com/blog/isa-101-standard-addresses-hmi-lifecycle>. Accessed on: Nov. 16, 2020.
- [10] ISA-101: Toward a More Effective HMI Strategy. A subsidiary of the International Society of Automation, 2015. [Online]. Available: <https://www.automation.com/en-us/articles/2015-1/isa-101-toward-a-more-effective-hmi-strategy>. Accessed on: Nov. 19, 2020.

References

- [1] R. Lew, R. L. Boring and T. A. Ulrich, "A prototyping environment for research on human-machine interfaces in process control use of Microsoft WPF for microworld and distributed control system development," 2014 7th International Symposium on Resilient Control Systems (ISRCs), Denver, CO, 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISRCs.2014.6900111.

- [2] B. Hollifield, "A High Performance HMI. Better Graphics for Operations Effectiveness", 2012 ISA Water & Wastewater and Automatic Controls Symposium, Orlando, 2012, pp. 1-27.
- [3] Situational Awareness – The Next Leap in Industrial Human Machine Interface Design. Whitepaper. Schneider Electric Software, LLC., 2015. [Online]. Available: <https://www.controlglobal.com/assets/15WPpdf/150813-Schneider-SituationalAwareness.pdf>. Accessed on: Nov. 19, 2020.
- [4] Next-generation SCADA high performance human-machine interfaces. Presentation. Arcadis, 2018. [Online]. Available: https://onewaterohio.org/docs/NextGenSCADA_HPHMI_Final_020817_-_OneWater.pdf. Accessed on: Nov. 11, 2020.
- [5] D. Reising, and P. Bullemer, "Operator situation awareness & delivering ASM-compliant high performance HMIs: Failure modes and success factors", American Fuel & Petrochemical Manufacturers Annual Meeting, San Antonio, 2015, pp. 1-10.
- [6] ISA101: What It Is and Why It Is Needed – Overview and Current Activities. Presentation. The International Society of Automation, 2017. [Online]. Available: <https://isaneworleans.files.wordpress.com/2017/08/isa-new-orleans-sept-2017-meeting-isa101-presentation.pdf>. Accessed on: Nov. 14, 2020.
- [7] Using ISA-101 & High Performance HMIs for More Effective Operations. Presentation. WEO Intelligent Wastewater Systems Seminar, 2017. [Online]. Available: http://www.grahamnasby.com/files_publications/NasbyG_2017_High_PerformanceHMIs_IntelligentWastewaterSeminar_WEO_sept14-2017_slides-public.pdf. Accessed on: Nov. 11, 2020.
- [8] ISA-101.01-2015 - Human Machine Interfaces for Process Automation Systems. Presentation. The International Society of Automation, 2019. [Online]. Available: https://www.instm.org/Portals/0/ISA101%202019%20Tech%20Lecture%20%281%29_1_1.pdf. Accessed on: Nov. 18, 2020.
- [9] ISA-101 Standard Addresses the HMI Lifecycle. Advisory group blog of industry trends. The International Society of Automation, 2018. [Online]. Available: <https://www.arcweb.com/blog/isa-101-standard-addresses-hmi-lifecycle>. Accessed on: Nov. 16, 2020.
- [10] ISA-101: Toward a More Effective HMI Strategy. A subsidiary of the International Society of Automation, 2015. [Online]. Available: <https://www.automation.com/en-us/articles/2015-1/isa-101-toward-a-more-effective-hmi-strategy>. Accessed on: Nov. 19, 2020.

УДК 681.51

РОЗРОБКА АВТОНОМНИХ WEB-СЕРВІСІВ ДЛЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ НА БАЗІ МОДЕЛЕЙ MATLAB SIMULINK

Стопакевич А. О.¹, Стопакевич О. А.², Тігарєв А. М.³, Тігарєва Т. Г.⁴^{1,3} Одеська національна академія зв'язку імені О.С. Попова, м. Одеса, Україна² Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна⁴ Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса, УкраїнаORCID: ¹<https://orcid.org/0000-0003-1719-9071>, ²<https://orcid.org/0000-0002-8318-6853>,³<https://orcid.org/0000-0002-3394-2526>, ⁴<https://orcid.org/0000-0003-4453-279X>E-mail: ¹stopakevich@gmail.com

Copyright © 2020 by author and the journal "Automation of technological and business – processes".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0> DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i4.1931>

Анотація. У статті розглянута задача розробки автономного web-сервісу на базі Simulink моделей. Запропоновано технологію, яка полягає в розробці комплексу з двох пов'язаних окремих додатків: консольного застосування на мові Сі на базі коду, який генерує Simulink Coder і додатки на мові Python, яке реалізує функціонал web-сервісу. Принциповим недоліком вже запропонованих рішень по розробці web-сервісів і web-додатків на базі Simulink моделей є те, що Simulink модель виконується за допомогою Matlab. Через це виникають нерозв'язні проблеми, а саме: надмірність і ресурсовитратність, ненадійність виконання моделі Simulink в реальному часі, складність взаємодії з моделлю під час виконання, фактична однопоточність Matlab. Останнє означає, що в один момент часу в пакеті може виконуватися тільки одна модель Simulink. Головною відмінністю запропонованої