Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 2, 141-146
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2019.02.141-146

УДК 681.51

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ПЕРЕМІШУВАННЯ БЕТОННОЇ СУМІШІ НА ІМІТАЦІЙНІЙ МОДЕЛІ

В. О. Мірошник, Т. І. Лендєл

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція авторів: *taraslendel@gmail.com.*

Історія статті: отримано – квітень 2019, акцептовано – червень 2019.
Бібл. 11, рис. 6, табл. 0.

Анотація. На базі математичної моделі пристрою по виготовленню бетонних сумішей розроблено імітаційну модель пристрою, де досліджено вплив зовнішніх збурень на зазначений технологічний процес. Створено параметричну схему змішувача бетонної суміші та вказані параметри увійшли в математичну модель.

У реалізованій математичній моделі враховано дії зовнішніх і внутрішніх збурень на процес отримання бетонної суміші із заданими параметрами міцності бетону та заданий рівень розчину у змішувачі. Регулювання рівня розчину у змішувачі виконано за рахунок зміни витрат щебеню, а міцність бетону, яка залежить в першу чергу від концентрації цементу в розчині, від витрат цементу.

У результаті проведення експериментальних і теоретичних досліджень отримано передатну функцію об'єкта керування по каналу концентрації суміші, що дозволить розробити алгоритми керування процесом, а також систему керування в цілому.

Отримано розгінні характеристики об'єкту регулювання по зазначених параметрах

Ключові слова: технологічний процес, імітаційна модель, дослідження, концентрація, бетонна суміш, система керування.

Постановка проблеми

Автоматичне керування технологічним процесом отримання бетонної суміші має забезпечувати автоматичний контроль за режимами роботи агрегатів, контроль якості суміші і облік на виході продукції. В технологічному процесі виробництва бетонних сумішей виконуються такі операції як: подача матеріалів в витратні бункера, дозування, перемішування і видача готової суміші. Для дозування матеріалів використовується дозатори з уніфікованим циферблатним покажчиком ваги, в яких є датчики аварійного перезавантаження, датчики контролю завантаження дозатора і датчики завдання маси порції.

Схема технологічного процесу приготування бетону зображена на рис. 1. Окремі інгредієнти бетону поступають в дозатори 1. Із дозаторів матеріали поступають в змішувач 2, де за допомогою мішалки 3 готується розчин бетону. Готовий розчин витікає в бункер 4 звідки насосом 5 викачується в бетоновози або на будівництво. Швидкість приготування і витікання розчину залежить від режимів перемішування і добавок (пластифікаторів).

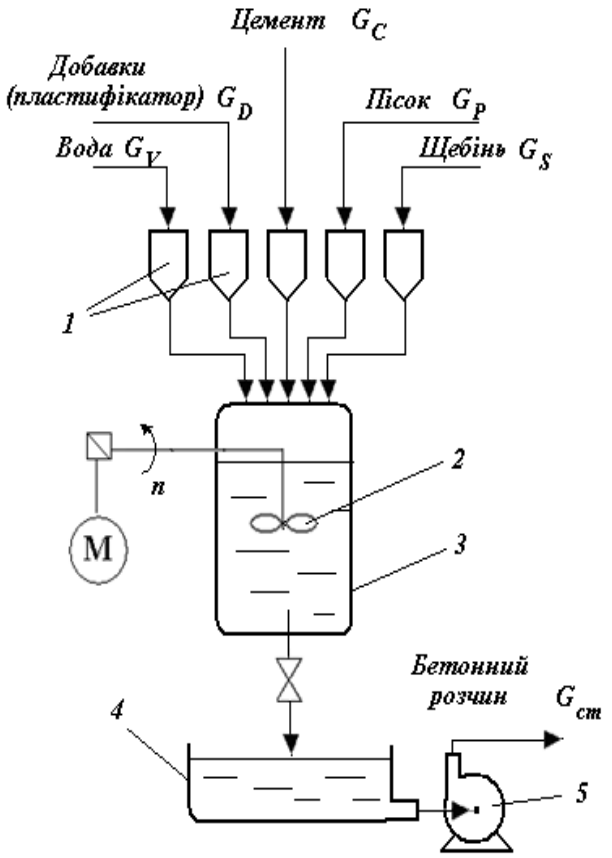

Рис. 1. Схема технологічного процесу приготування бетону: , G_P, G_S, G_C, G_V, G_{cm} – витрати мас піску, щебеню, цементу, води, готового розчину, кг/с; n – швидкість обертання мішалки, об /с; ρ – густина суміші, кг/м^3.

Fig. 1. Scheme of the concrete preparation process:, G_P, G_S, G_C, G_V, G_{cm} – consumption of masses of sand, gravel, cement, water, ready mortar, kg/s; n is the speed of rotation of the stirrer, rpm; ρ is the density of the mixture, kg/m^3.

В змішувач подаються речовини з індексами V, P, C, S і D (вода, пісок, цемент, щебінь і добавки)

після чого відбувається перемішування цих речовин до тих пір доки суміш (cm) не досягне потрібної однорідності.

Задача розробки системи автоматизації полягає в забезпеченні, при дії зовнішніх і внутрішніх збурень на процес, отримання бетонної суміші із заданими параметрами міцності і заданий рівень розчину у змішувачі.

Аналіз останніх досліджень

У вже розроблених теоретичних та експериментальних дослідженнях агрегатів для отримання бетонноъ суміші машин обґрунтовано їхні конструктивні параметри та продуктивність [1, 6, 7]. Разом з тим недостатньо уваги приділено дослідженню діючим збуренням, що в значній мірі впливають на технологічний процес при зміні марки цементу. Означене в свою чергу впливає та на якість готової продукції.

Мета досліджень

Розробити імітаційну модель процесу отримання бетонної суміші заданої міцності із заданим співвідношення цемент/тверда фаза розчину при подачі цементу заданої марки цементу та підтриманні необхідного рівня змішування.

Результати досліджень

Параметрична схема змішувача бетонної суміші показана на рис. 2. Міцність бетону задається вибором марки цементу MK_C і співвідношенням мас цементу, щебеню і піску – M_C, M_S, M_P.

Процес змішування бетонного розчину залежить від роботи мішалки і характеристик розчину. При обертанні гвинта мішалки в резервуарі виникає рух суміші, який описується модифікованим критерієм Ейлера $Eu_м$ [2]:

$$Eu_м = f(Re_м, \Gamma, K_N), \quad (1)$$

який залежить від модифікованого критерію Рейнольдса $Re_м$:

$$\mathrm{Re}_м = \frac{\rho \cdot n \cdot d_м^2}{\mu}, \quad (2)$$

геометричного комплексу:

$$\Gamma = d_м / D_{ап} \quad (3)$$

і критерію потужності:

$$\mathrm{K_N} = \frac{N_м}{\rho \cdot n^3 \cdot d_м^5}, \quad (4)$$

де $d_м$ – діаметр мішалки, м; $D_{ап}$ – діаметр апарату, м; n – швидкість обертання мішалки, об /с; ρ – густина суміші, кг/м^3; $N_м$ - потужність, яка використана мішалкою, Вт; μ - динамічна в'язкість суміші, Па·с.

У визначеному рівнянні балансу маса добавок внаслідок їх невеликої кількості не враховано, як і вологість матеріалів:

$$G_P + G_S + G_C + G_V = G_{см} \quad (5)$$

де G_P, G_S, G_C, G_V, G_{cm} – витрати мас піску, щебеню, цементу, води, готового розчину, кг/с, які подаються і виходять із змішувача.

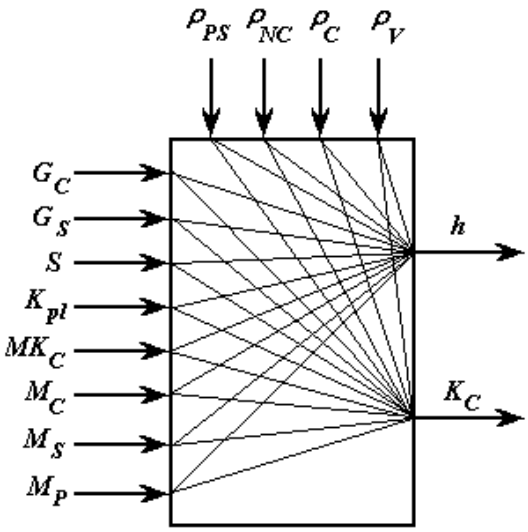

Рис. 2. Параметрична схема змішувача бетонної суміші: K_C, h – вміст цементу (міцність бетону) і рівень суміші в змішувачі; ρ_{PS}, ρ_{NC}, ρ_C ρ_V – густина складових суміші; G_C, G_S – витрати цементу і щебеню; S – площа поперечного розрізу перемішувача; MK_C – марка цементу; M_C, M_S, M_P, K_{pl}. – параметри міцності бетону.

Fig. 2. Parametric diagram of concrete mixer: KC, h – cement content (concrete strength) and mix level in mixer; ρ_{PS}, ρ_{NC}, ρ_C ρ_V – density of constituent mixtures; G_C, G_S – costs of cement and crushed stone; S – the cross-sectional area of the mixer; MK_C – cement brand; M_C, M_S, M_P, K_{pl}. – concrete strength parameters.

Визначена маса розчину бетону в мішалці, кг:

$$G_m = S \cdot h \cdot \rho_{cm}, \quad (6)$$

рівняння динаміки зміни маси в мішалці має вигляд.

$$\rho_{см} \cdot S \cdot \frac{dh}{dt} = G_P + G_S + G_C + G_V - G_{см} \quad (7)$$

де S – площа поперечного розчину апарату, м^2; h – рівень розчину в мішалці, м; ρ_{cm} – щільність розчину бетону, кг/м^3, яка описана рівнянням:

$$\rho_{cm} = \frac{G_C \cdot \rho_C + (G_P + G_S) \cdot \rho_{PS} + G_V \cdot \rho_V}{G_C + G_P + G_S + G_V}. \quad (8)$$

Прийнято щільність цементу ρ_C = 3200 кг/м^3, а щільність піску і щебеню в розчині однакові, складає ρ_{PS} = 2630 кг/м^3,

Витрати суміші із мішалки, кг/с, залежать від рівня розчину і коефіцієнту пластифікації K_{pl}:

$$G_{cm} = K_{pl} \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \quad (9)$$

Визначено рівняння динаміки зміни маси цементу на змішувачі бетону:

$$\rho_{cm} \cdot S \cdot h \cdot \frac{dK_C}{dt} = G_C - G_{cm} \cdot K_C, \quad (10)$$

де K_C – коефіцієнт вмісту цементу в готовому розчині, кг цементу/ кг розчину, який рахується по формулі:

$$K_C = \frac{G_C}{G_P + G_S + G_C + G_V} \quad . \qquad (11)$$

Витрати води, кг/с, рахуємо як половина об'єму насипної маси цементу:

$$G_V = 0.5 \cdot \frac{G_C \cdot \rho_V}{\rho_{NC}}, \qquad (12)$$

де щільність води ρ_V = 1000 кг/м^3, а насипна щільність цементу складає ρ_{NC} = 1400 кг/м^3, тобто: $G_V = 0.357 \cdot G_C$.

Регулювання рівня розчину у змішувачі виконується за рахунок зміни витрат щебеню, а міцність бетону, яка залежить в першу чергу від концентрації цементу в розчині, від витрат цементу. Тому постійну часу об'єкту (с) при регулюванні концентрації цементу в розчині отримано з рівняння (10):

$$T_O = \frac{S \cdot h \cdot \rho_{cm}}{G_{cm}} . \qquad (13)$$

Коефіцієнт передачі об'єкту по цьому ж каналу знайдено при моделюванні об'єкту змінюючи витрати цементу G_C і контролюючи зміни керованого параметра, концентрації цементу в розчині K_C на виході:

$$K_O = \frac{K_{C0} - K_{C1}}{G_{C0} - G_{C1}} \qquad (14)$$

Запізнення при регулюванні концентрації цементу розраховано в залежності від час транспортування цементу від дозатора до змішувача розчину:

$$\tau_O = \frac{\rho_{NC} \cdot V_T}{G_C}, \qquad (15)$$

де V_T – об'єм труби від дозатора до входу в змішувач.

Передатна функція об'єкту по каналу керування $G_C - K_C$:

$$W(p) = \frac{K_O}{T_O \cdot p + 1} \cdot e^{-p \cdot \tau_O} \qquad (16),$$

По рівняннях математичної моделі реалізовано імітаційну модель програмному середовищі в Simulink MATLAB (рис. 3).

Задавши час моделювання 100 с. отримано розгінні характеристики об'єкту регулювання по параметрах h і K_C (рис. 4).

За формулою (13) знайдено постійну часу по каналу регулювання K_C.

T_O = (2,3·1,5·2648)/980 = 9,3 с.

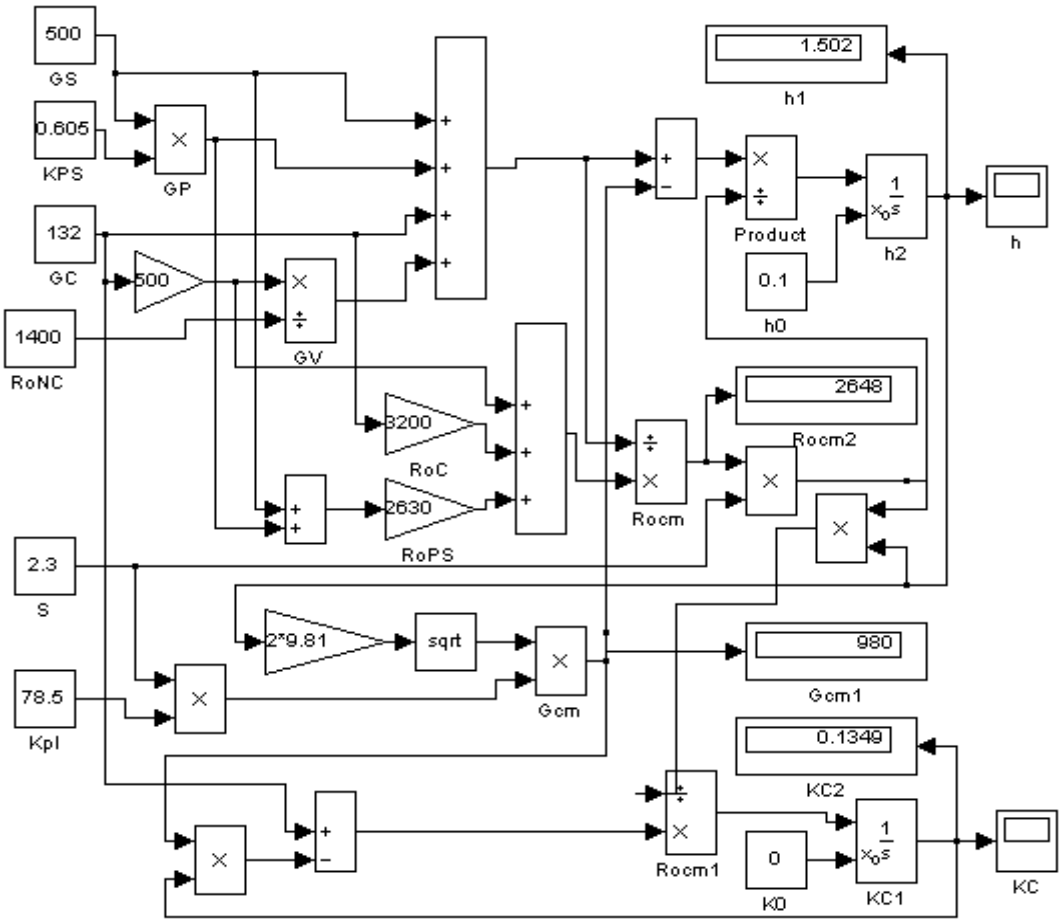

Рис. 3. Імітаційна модель приготування бетонної суміші.
Fig. 3. Simulation model of concrete mix preparation.

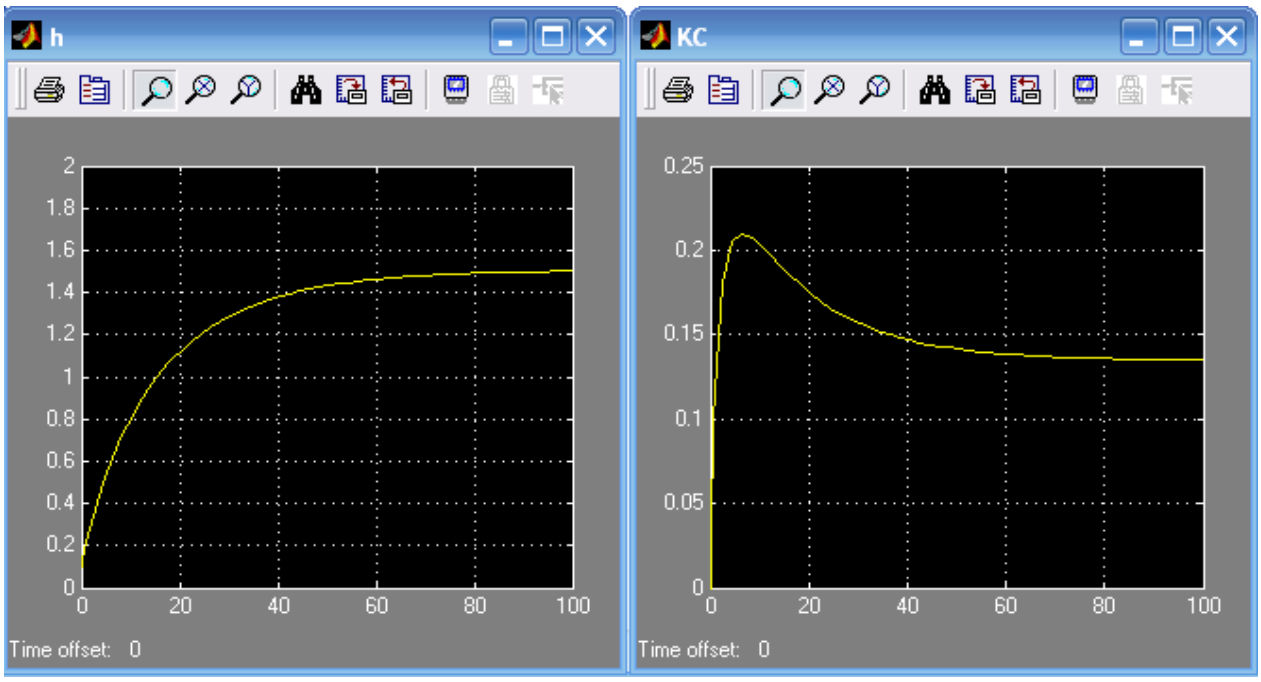

Рис. 4. Розгінні характеристики об'єкту регулювання по параметрах h і K_C.
Fig. 4. Accurate characteristics of the control object by parameters h and K_C.

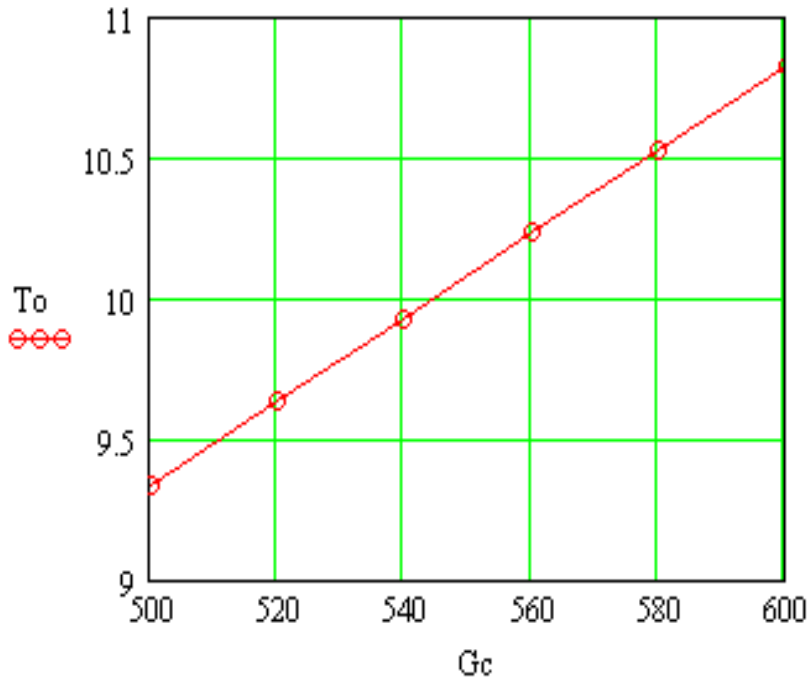

Рис. 5. Зміна постійної часу об'єкту від витрат щебеню.
Fig. 5. Change of object time constant from rubble loss.

Коефіцієнт передачі об'єкту буде рівним (14):
K_O = (0,1349 – 0,1432)/(132 – 142) = 0,00083.

Час запізнення при об'ємі труби для подачі цементу від дозатора V_T = 0,08 м^3 дорівнює (15), с:

$$\tau_O = \frac{\rho_{NC} \cdot V_T}{G_C} = \frac{1400 \cdot 0{,}08}{132} = 0{,}85.$$

Передатна функція об'єкту регулювання по каналу подачі цементу буде мати такий вигляд:

$$W_O(p) = \frac{K_O}{T_O \cdot p + 1} \cdot e^{-\tau_O p} = \frac{0{,}00083}{9{,}3p + 1} \cdot e^{-0{,}85p}.$$

Враховуючи формулу (13) визначено в моделі постійну часу об'єкта та досліджено вплив на T_O витрат щебеню, G_S, що наведено на графіку (рис. 5).

При цьому:

$$Gc = (500 \quad 520 \quad 540 \quad 560 \quad 580 \quad 600)^T,$$

$$To = (9{,}331 \quad 9{,}631 \quad 9{,}93 \quad 10{,}23 \quad 10{,}53 \quad 10{,}83)^T$$

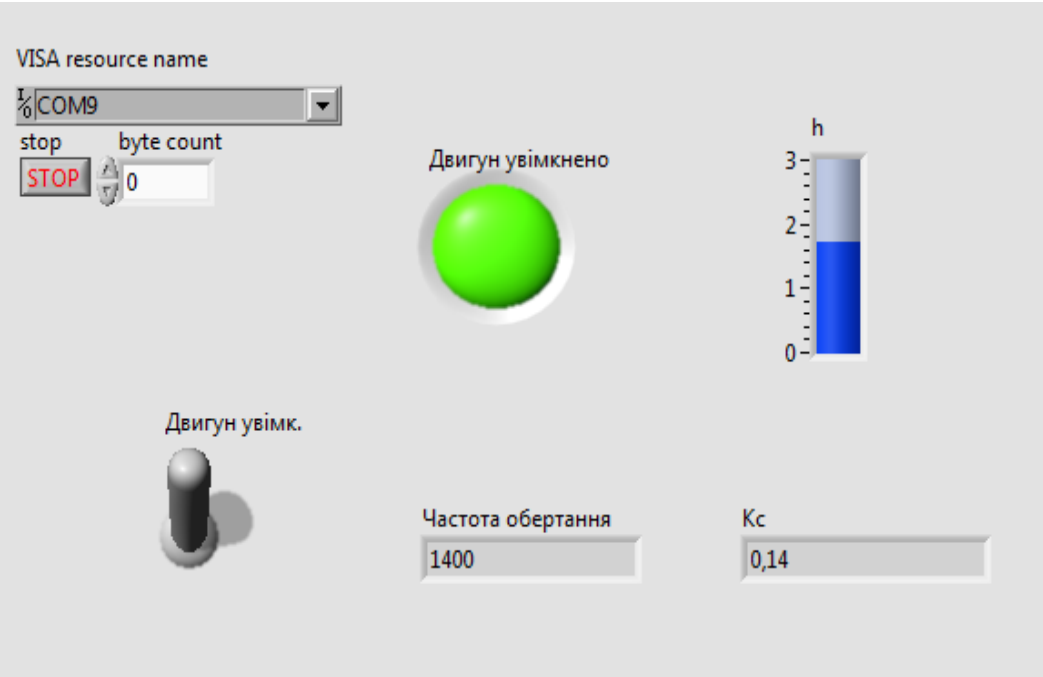

Рис. 6. Фронтальна панель проекту LabVIEW.
Fig. 6. LabVIEW project front panel.

Для даного об'єкта створено програмне забезпечення в програмному середовищі LabVIEW, що також дозволяє відпрацьовувати створені проекти в діючих установках [8]. На фронтальній панелі передбачено візуалізацію роботи мішалки, що наведено на рис. 6.

Висновки

Розроблено імітаційну модель процесу отримання бетонної суміші заданої міцності із заданим коефіцієнтом співвідношення цемент/тверда фаза розчину при подачі цементу заданої марки та підтриманні необхідного рівня змішування. Отримано перехідні характеристики об'єкту керування по параметрах вміст цементу (міцність бетону) і рівень суміші в змішувачі. Зазначене дозволить використати зазначені результати в розробці алгоритму керування процесом. Показано реалізацію технологічного процесу отримання бетонної суміші в програмному середовищі LabVIEW, що дозволяє перевести проектування автоматизованих систем керування технологічними процесами на новий рівень.

Список літератури

1. *Солдатенко Л. В.* Введение в математическое моделирование строительно-технологических задач [Текст]: учебное пособие. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009, 161 с.

2. *Алабовский А. Н, Недужий И. А.* Техническая термодинамика и теплопередача, Москва: Выща школа, 1990, 255 с.

3. *Альянах И. Н.* Моделирование вычислительных систем. Леннинград, Машиностроий, 1998, 223 с.

4. *Кириченко І. Г., Єфименко О. В., Плугіна Т. В., Кириченко И. Г., Ефименко А. В., Плугина Т. В.* Комп'ютерне моделювання елементів технологічного процесу виготовлення цементобетону. 2014, Весник ХНАДУ, вип. 65–66, 2014, с. 75-78.

5. *Ємельянова І. А., Аніщенко А. І.*. Визначення основних показників роботи технологічного комплекту обладнання, що складається з бетонозмішувача гравітаційно-примусового дії та стрічково-скребкового живильника. Збірник наукових праць [Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка]. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво, 2012 (1), 28-34.

6. *Singh, K. L., & Panda, D.* Study on strength characteristics improvement of polyethylene modified bituminous concrete mixes. 9th International Conference on Advanced Materials Research, ICAMR 2019; Volume 803 KEM, 2019, Pages 216-221 doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.803.216

7. *Мартинцев В. С.* Оцінка та аналіз конструкцій і параметрів змішувачів примусової дії. Техніка будівництва, 2013, (31), 25-29.

8. *Лисенко В. П., Болбот І. М., Лендєл Т. І., Чернов І. І.* Програмно-апаратне забезпечення системи фітомоніторингу в теплиці, Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2014. Вип. 154. С. 42–45.

9. *Свиридюк, Д. Я.* Аналіз та оцінка конструктивно–технологічних параметрів бетонозмішувачів. Теорія і практика будівництва, 2011 (8), 11-14.

10. *Gálvez-Moreno, D., Feys, D., & Riding, K.* Characterization of air dissolution and reappearance under pressure in cement pastes by means of rheology. Frontiers in Materials, 2019, 6 doi:10.3389/fmats.2019.00073.

11. *Tazky, M., Osuska, L., & Bodnarova, L.* Influence of type and composition of aggregate on

mechanical parameters of concrete. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 549(1) doi:10.1088/1757-899X/549/1/012048.

References

1. *Soldatenko L.* (2009). Introduction to mathematical modeling of construction and technological problems [Text]: a textbook. Orenburg: GOU OSU, 161.

2. *Alabovsky A., Neduzhii I. A.* (1990). Technical thermodynamics and heat transfer, Moscow: Higher School, 255.

3. *Alianakh I.* (1998). Modeling of Computing Systems, Leningrad, Mechanical Engineering, 223.

4. *Kirichenko, I., Efimenko, O., Plugina, T., Kirichenko, I., Efimenko, A., Plugina, T.* (2014). Computer simulation of technological process elements production of cement concrete. 2014, VNADU Bulletin, vol. 65–66, 75-78.

5. *Yemelyanova, I., Anischenko, A.* (2012). Determination of the main parameters of the technological set of equipment consisting of a gravity-forced concrete mixer and a tape-scraper feeder. Collection of scientific works [Poltava National Technical University. Y. Kondratyuk]. Ser .: Mechanical Engineering, Construction, (1), 28-34.

6. *Singh, K. L., & Panda, D.* (2019). Study on strength characteristics improvement of polyethylene modified bituminous concrete mixes. 9th International Conference on Advanced Materials Research, ICAMR 2019; Volume 803 KEM, Pages 216-221 doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.803.216.

7. *Martintsev, V.* (2013). Evaluation and analysis of designs and parameters of forced-action mixers. Construction Engineering, (31), 25-29.

8. *Lysenko V., Bolbot I., Lendel T., Chernov I.* (2014). Software and hardware for phytomonitoring system in a greenhouse, Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture.. Vip. 154. 42–45.

9. *Sviridyuk, D.* (2011). Analysis and evaluation of structural and technological parameters of concrete mixers. Construction Theory and Practice, (8), 11-14.

10. *Gálvez-Moreno, D., Feys, D., & Riding, K.* (2019). Characterization of air dissolution and reappearance under pressure in cement pastes by means of rheology. Frontiers in Materials, 6 doi:10.3389/fmats.2019.00073.

11. *Tazky, M., Osuska, L., & Bodnarova, L.* (2019). Influence of type and composition of aggregate on mechanical parameters of concrete. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 549(1) doi:10.1088/1757-899X/549/1/012048.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ БЕТОННОЙ СМЕСИ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

В. А. Мирошник, Т. И. Лендел

Аннотация. На базе математической модели устройства по изготовлению бетонных смесей разработана имитационная модель устройства, где исследовано влияние внешних возмущений на указанный технологический процесс. Создан параметрическую схему смесителя бетонной смеси и указаны параметры вошли в математическую модель.

В реализованной математической модели учтено действия внешних и внутренних возмущений на процесс получения бетонной смеси с заданными параметрами прочности и заданный уровень раствора в смесителе. Регулировка уровня раствора в смесителе выполнен за счет изменения затрат щебня, а прочность бетона, которая зависит в первую очередь от концентрации цемента в растворе, от расхода цемента.

В результате проведения экспериментальных и теоретических исследований получены передаточную функцию объекта управления по каналу концентрации смеси, что позволит разработать алгоритмы управления процессом, а также систему управления в целом.

Получено разгонные характеристики объекта регулирования по параметрам

Ключевые слова: технологический процесс, имитационная модель, исследования, концентрация, бетонная смесь, система управления.

RESEARCH OF CONCRETE MIXTURE MIXING SYSTEM IN AN IMITATION MODEL

V. O. Miroshnik, T. I. Lendiel

Abstract. Based on the mathematical model of the device for the production of concrete mixtures, a simulation model of the device is developed, where the influence of external disturbances on the specified technological process is investigated. A parametric diagram of the concrete mixer has been created and the parameters indicated are included in the mathematical model.

The implemented mathematical model takes into account the effects of external and internal perturbations on the process of obtaining concrete mix with specified strength parameters and a given level of solution in the mixer. The level of the solution in the mixer was adjusted by changing the cost of crushed stone, and the strength of concrete, which depends primarily on the concentration of cement in the solution, on the consumption of cement.

As a result of experimental and theoretical studies, the transfer function of the control object along the mixture concentration channel is obtained, which will allow developing process control algorithms, as well as the control system as a whole.

Acceleration characteristics of the regulatory object in terms of parameters

Key words: technological process, simulation model, research, concentration, concrete mix, control system.

В. О. Мірошник ORCID: 0000-0001-5329-0337.
Т. І. Лендєл ORCID: 0000-0002-6356-1230.