

---

ISSN 2306-1561

**Automation and Control in Technical Systems (ACTS)**

2015, No 1, pp. 101-110.

DOI: 10.12731/2306-1561-2015-1-12

---



## **Mathematical Modeling of Technological Processes Produce Concrete Products**

### **Hein Htet Aung**

Republic of the Union of Myanmar, Postgraduate Student, Department of «Automated Control Systems».

State Technical University – MADI, 125319, Russian Federation, Moscow, Leningradsky prospekt, 64. Tel.: +7 (499) 151-64-12. <http://www.madi.ru>. [heinhtetaung.monywa@gmail.com](mailto:heinhtetaung.monywa@gmail.com)

### **Myo Lin Aung**

Republic of the Union of Myanmar, Postgraduate Student, Department of «Automated Control Systems».

State Technical University – MADI, 125319, Russian Federation, Moscow, Leningradsky prospekt, 64. Tel.: +7 (499) 151-64-12. <http://www.madi.ru>. [109miketee110@gmail.com](mailto:109miketee110@gmail.com)

### **Furkat Saifulloevich Pirov**

Republic of Tajikistan, Ph. D., Associate Professor, Department of «Automated Control Systems».

M.S. Osimi Tajik Technical University, 734042, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Prospectus of acad. Pajabov, 10, Tel.: (992 37) 221-35-11. <http://www.ttu.tj>. [p.f.s@mail.ru](mailto:p.f.s@mail.ru)

### **Ismoilov Muhammad Idiboevich**

Russian Federation, Ph. D., Associate Professor, Department of «Automated Control Systems».

State Technical University – MADI, 125319, Russian Federation, Moscow, Leningradsky prospekt, 64. Tel.: +7 (499) 151-64-12. <http://www.madi.ru>. [ismoilov\\_mi@mail.ru](mailto:ismoilov_mi@mail.ru)

**Abstract.** The object of the research in this article is the technological process of production quality control of concrete products. Paper, the mathematical model of the process of quality control of precast concrete, which can serve as the basis for developing a simulation model for quality control of products.

**Keywords:** quality control, mathematical model, materials, parameters, temperature.

---

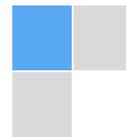
ISSN 2306-1561

**Автоматизация и управление в технических системах (АУТС)**

2015. – № 1. – С. 101-110.

DOI: 10.12731/2306-1561-2015-1-12

---



УДК 681.3

## **Математическое моделирование технологических процессов производства железобетонных изделий**

**Хеин Хтет Аунг**

Республика Союза Мьянма, аспирант кафедры «Автоматизированные системы управления».

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский проспект, д.64, Тел.: +7 (499) 151-64-12, <http://www.madi.ru>, [heinhtetaung.monywa@gmail.com](mailto:heinhtetaung.monywa@gmail.com)

**Мью Лин Аунг**

Республика Союза Мьянма, аспирант кафедры «Автоматизированные системы управления».

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский проспект, д.64, Тел.: +7 (499) 151-64-12, <http://www.madi.ru>, [109miketee110@gmail.com](mailto:109miketee110@gmail.com)

**Пиров Фуркат Сайфуллоевич**

Республика Таджикистан, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

«Таджикский технический университет имени М. Осими (ТТУ им. М. Осими)», 734042, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. акад. Ражабовых, 10, Тел.: (99237) 221-35-11, <http://www.ttu.tj>, [p.f.s@mail.ru](mailto:p.f.s@mail.ru)

**Исмоилов Мухамаджон Идибоевич**

Российская Федерация, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные системы управления».

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский проспект, д.64, Тел.: +7 (499) 151-64-12, <http://www.madi.ru>, [ismoilov\\_mi@mail.ru](mailto:ismoilov_mi@mail.ru)

**Аннотация.** Объектом исследования в данной статье является технологический процесс управления качеством производства железобетонных изделий. Исследуется математическая модель процесса управления качеством сборного железобетона,

которая может служить основой для разработки имитационной модели по контролю качества продукции.

**Ключевые слова:** контроль качества, математическая модель, материалы, параметры, температура.

## 1. Введение

Построение опытного образца(модели) технологического процесса производства железобетонных изделий для проведения экспериментов по управлению качеством продукции не представляется возможным из-за высокой стоимости оборудования и сложности исследований [1 – 20]. С другой стороны, невозможно изменить в производственной среде значения входных факторов в любом пространстве, потребуется много времени и ресурсов, имеется большая вероятность получения крупной партии дефектной продукции и т.п.

Для решения вышеназванных проблем создаются имитационные компьютерные модели по управлению качеством продукции. Имитационная модель, соответствующая реальному процессу производства ЖБИ [1, 2, 6, 7, 13, 19, 20], строится на основе математической модели и позволяет провести неограниченное количество имитационных экспериментов независимо от времени и пространства.

## 2. Управление качеством на заводе железобетонных изделий

При производстве железобетонных изделий необходимо своевременная, точная и адекватная информация о качестве материалов и продукции на всех стадиях технологического процесса. Схема управления качеством на заводе ЖБИ представлена на рисунке 1.

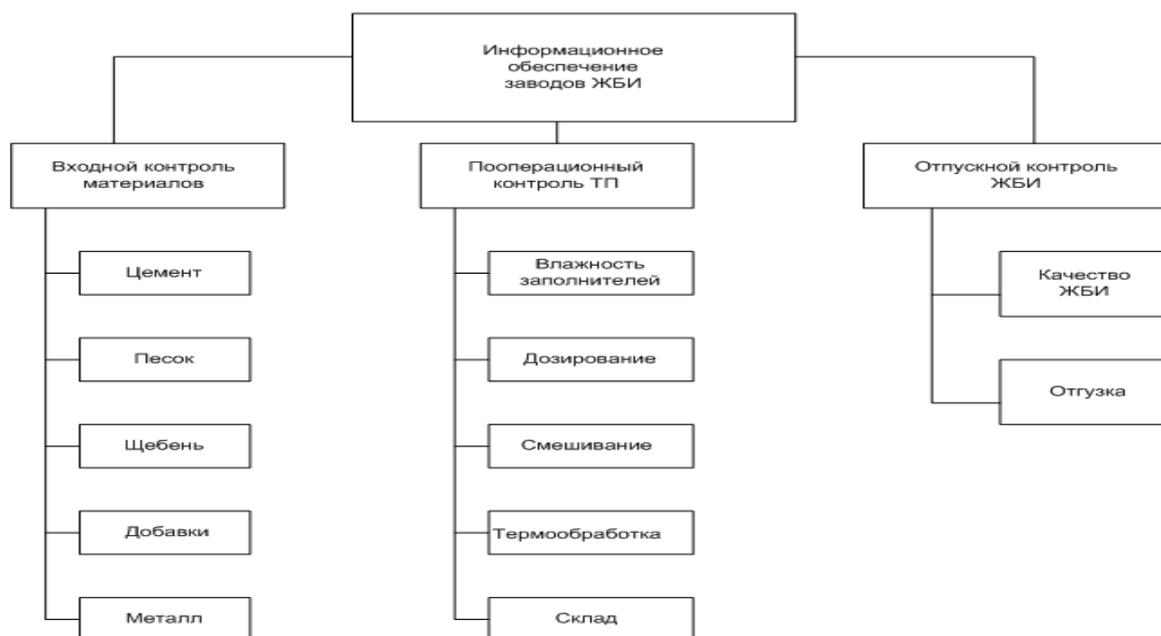


Рисунок 1 – Управление качеством на заводе ЖБИ

Входной контроль производится для контроля качества материалов железобетонных изделий. Эта операция осуществляется в лаборатории завода в соответствии с требованиями стандартов качества. Некоторая информация может быть получена от поставщиков компонентов в виде сертификатов качества.

Пооперационный контроль обеспечивает технологический процесс мониторинга. Этот контроль также проводится силами заводской лаборатории в соответствии с требованиями стандартов. Кроме того, позволяет своевременно выявлять сбои в технологическом оборудовании и их решения.

Отпускной контроль обеспечивает контроль качества готовых железобетонных изделий на выходе завода. Этот контроль осуществляется заводской лаборатории в соответствии с требованиями стандартов.

### 3. Математическая модель управления качеством железобетона

Управление качеством железобетона связано с поиском оптимального значения  $U(t)_{opt}$  в среде допустимых управлений:

$$U(t)_{opt} = \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \\ \dots \dots \\ u_n(t) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $u_i(t)$  - элементы вектора управления.

На элементы вектора управления наложены ограничения:

$$(u_i)_{min} \leq u_i(t) \leq (u_i)_{max}, \quad (2)$$

На таблице 1 представлена технологическая схема сбора информации о поведении системы в случае трехфакторной ситуации с контролем выходного значения, как при наблюдении, так и при проведении экспериментов.

**Таблица 1 – Технологическая система сбора информации**

Номер опыта	Значения факторов			Число параллельных измерений	Выход
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>		
1	X <sub>11</sub>	X <sub>21</sub>	X <sub>31</sub>	m <sub>1</sub>	y <sub>1</sub>
2	X <sub>12</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>32</sub>	m <sub>2</sub>	y <sub>2</sub>
---	---	---	---	---	---
u	X <sub>1u</sub>	X <sub>2u</sub>	X <sub>3u</sub>	m <sub>u</sub>	y <sub>u</sub>
---	---	---	---	---	---
N	X <sub>1N</sub>	X <sub>2N</sub>	X <sub>3N</sub>	m <sub>N</sub>	y <sub>N</sub>

Влияние отдельных управляющих воздействий на прочность бетона можно представить уравнением:

$$dRu_i(t) = k_i * du_i(t), \quad (3)$$

где  $dRu_i(t)$  – приращение прочности бетона, вызванное  $i$ -ым управлением;

$k_i$  – коэффициент связи  $i$ -го управления с прочностью;

$du_i(t)$  – изменение  $i$ -го управления.

Значения коэффициентов  $k_i$  определяются с некоторой ошибкой. Если

$$k_i - k_{i\phi} = const, \quad (4)$$

где  $k_{i\phi}$  – фактическое значение коэффициента влияния  $i$ -го управления на прочность бетона, эта ошибка не имеет никакого влияния на динамические характеристики управления. Если

$$k_i - k_{i\phi} = var, \quad (5)$$

тогда ошибка будет влиять не только на статические характеристики возмущения, но и оценить его динамику.

Прочность бетона зависит от ряда факторов: активность цемента, содержание цемента, отношение воды к цементу по массе (В/Ц), качество заполнителей, качество перемешивания и степень уплотнения, возраст и условия твердения бетона, повторное вибрирование [1, 2, 3].

Прочность и активность цемента связаны линейной зависимостью  $R_b = f(R_{II})$ , т.е. более прочные бетоны получаются на цементах повышенной активности.

С повышением содержания цемента в бетоне его прочность растет до определенного предела. Затем она растет незначительно, другие же свойства бетона ухудшаются. Увеличивается усадка, ползучесть. Поэтому не рекомендуется вводить на 1 м<sup>3</sup> бетона более 600 кг цемента.

Прочность бетона сильно зависит от  $B/C$ . С уменьшением В/Ц она повышается, с увеличением – уменьшается. Это определяется физической сущностью формирования структуры бетона. При твердении бетона с цементом взаимодействует 15-25% воды. Для получения же удобоукладываемой бетонной смеси вводится обычно 40-70% воды ( $B/C = - 0,4...0,7$ ). Избыточная вода образует поры в бетоне, которые снижают его прочность.

В настоящее время широко используется зависимость:

$$R_b = A * R_u (C/B + C), \quad (6)$$

где

$R_b$  – прочность бетона на сжатие в возрасте 28 дней при нормальных условиях твердения (температура твердения 15...20°C, относительная влажность окружающего воздуха 90... 100%);

$R_u$  – активность цемента;

$C$  – коэффициент цементно-водного отношения  $C/B$ , и принимаемый равным - 0,5 при  $C/B < 2,5$  и - +0,5 при  $C/B > 2,5$ ;

$A$  – коэффициент качества исходных материалов, и принимается в соответствии с таблицей 2.

**Таблица 2 – Коэффициент исходных материалов**

Материалы для бетона	A при $C/B \leq 2,5$	A при $C/B > 2,5$
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,6	0,4
Пониженного качества	0,55	0,37

Формула (6) справедлива для бетонов из умеренно жестких и влажных бетонных смесей, уложенных установленной при коэффициенте виброуплотнения не менее 0,98.

В самом деле, существует не одна строгая зависимость  $R_b = t(R_u, C/B)$ , а некоторая трубка, в которую вписываются в большинство эмпирических результатов воздействия других факторов. В некоторых случаях фактическая прочность бетона может отличаться от расчетной в 1,3...1,5 раза. Такое положение наблюдается и с другими технологическими зависимостями, которые связывают показатели качества компонентов бетонной смеси и режимы технологии с показателями качества бетона. Точность и возможность использования доступных технологических зависимостей в различных условиях эксплуатации весьма ограничена. Таким образом, существует проблема идентификации уравнения связи отдельных параметров в процессе функционирования системы управления. Зависимости, имеющиеся в технологии бетона, могут быть использованы для установки начального значения.

В возрасте 7 дней или более, зависимость  $R_b = t(C/B)$  имеет вид аналогичный зависимости, то есть влияние  $C/B$  показан здесь таким же образом, и прочность бетона определяется темпом твердения цемента.

$$R_{bn} = k_{un} * R_{28} = k_{un} * (A + C_1) * R_u (C/B + C_2), \quad (7)$$

где

$R_{\text{цп}}$  - прочность бетона на сжатие в возрасте  $n$  суток при нормальных условиях твердения ( $n > 7$ );

$k_{\text{цп}}$  - поправочный коэффициент времени и условий твердения и качества материалов.

Коэффициент  $k_{\text{цп}}$  или обобщенный коэффициент  $k_n = k_{\text{цп}} A$  можно определить по результатам экспериментов по формулам:

$$\begin{aligned} k_n &= a + b * \lg n \\ k_{\text{цп}} &= a_1 + b_1 * \lg n, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $a_1, b_1$  – постоянные величины, определяемые опытным путем для конкретного цемента и заполнителя, использованных в бетоне, а также для данных условий твердения.

Заметное влияние на температуру твердения бетона оказывают даже сравнительно небольшие колебания температуры воздуха. Например, для  $t=5^\circ\text{C}$   $k_{\text{цп}5}=0,06+0,44 \lg n$ , для  $t=10^\circ\text{C}$   $k_{\text{цп}10}=0,1+0,54 \lg n$ , для  $t=20^\circ\text{C}$   $k_{\text{цп}20}=0,16+0,6 \lg n$ , для  $t=30^\circ\text{C}$   $k_{\text{цп}30}=0,2+0,64 \lg n$ .

В действительности изменения температуры не происходят мгновенно. Интенсивность нагрева и остывания зависит от перепада температур, свойств бетона, массивности конструкции, тепловыделения цемента и других факторов, и как правило, ее расчет весьма трудоемок. Таким образом, для приближенных расчетов можно предположить, резкое изменение температуры, тем более что на прочность бетона, твердевшего при разных температурах, влияют и многие другие факторы, такие как минералогический состав цемента,  $C/B$  и др. Поэтому более точные результаты получают при использовании фактического прочностного бетона кривых роста при различных температурах, полученных для конкретной бетонной композиции в соответствии с результатами предварительных экспериментов.

Логарифмический закон роста прочности бетона устанавливается после формирования исходной структуры, то есть после приобретения некоторого начального прочностного бетона.

Прочность бетона в возрасте  $n$  суток может быть определена, если известна его прочность в возрасте  $k$  и 28 суток (или  $k$  и  $n$  суток):

$$R_n = R_k + (R_{28} - R_k) \frac{\lg n - \lg k}{\lg 28 - \lg k} \quad (9)$$

Эта формула позволяет более полно учитывать влияние различных факторов на упрочнение бетона. Расчет должен учитывать, что при длительном хранении цемента, есть некоторое снижение прочностного цемента:

$$dR_u = - (1,49(1 - e^{-0,963t}) + 0,0706t), \quad (10)$$

где  $t$  – время хранения цемента, сутки.

Для ускорения твердения бетона используют различные способы: механические – повышение удельной поверхности цемента или активация бетонной смеси; химические – введение добавок, ускоряющих твердение; тепловые – пропаривание и электропрогрев. Рассмотрим тепловые способы, получившие наибольшее распространение в производстве железобетонных изделий.

Нагревание ускоряет химические реакции. Повышение температуры бетона включает в себя взаимодействие воды и цемента и ускоряет твердение бетона. При этом фазовый состав продуктов гидратации цемента, твердеющего при разных температурах, практически остается одинаковым. При тепловлажностной обработке, изменение прочности осуществляется по следующей зависимости;

$$\begin{aligned} dR &= 0,03 * dG_t \text{ при } G_t < 500 \\ dR &= 0,005 * dG_t \text{ при } G_t > 500, \end{aligned} \quad (11)$$

где

$dR$  – изменение прочности при тепловлажностной обработке;

$dG_t$  – изменение зрелости бетона

$$dG_t = \sum_{i=0}^{i=k} [T_i * (t(i+1) - t_i)], \quad (12)$$

где

$T_i$  – температура на  $i$ -ом периоде цикла тепловлажностной обработки;

$t(i+1) - t_i$  – время  $i$ -го периода цикла тепловлажностной обработки.

$$dR = A(\lg t - \lg t_0), \quad (13)$$

где

$A$  – параметр, характеризующий поведение цемента при пропаривании в принятых условиях испытания;

$t$  – время тепловой обработки;

$t_0$  – индукционный период твердения, ч.

#### 4. Заключение

Рассмотренные математические модели представляют перечень исходных данных, необходимых для моделирования технологического процесса управления качеством при производстве сборного железобетона. Необходимо отметить, что

представленные модели могут использоваться для разработки компьютерной имитационной модели и проведении имитационных экспериментов с целью улучшения качества продукции.

### **Список информационных источников**

- [1] Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий: Учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1984. – 672 с.
- [2] Горшков В.А. Параметрическая система управления прочностью бетона. // Автоматический контроль и управление технологическими процессами в строительном производстве: Сб. научн.тр. // МАДИ. – М., 1987. – С. 4-11.
- [3] ГОСТ 13015.0-83. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Общие технические требования.
- [4] Корнилов Ю.В. Возмущения в модели производства бетона. Интегрированные технологии автоматизированного управления: Сб.научн.тр. // МАДИ(ГТУ). М., 2005. – С. 92-95.
- [5] Лебедев А.Н. Моделирование в научно-технических исследованиях. – М.: Радио и связь, 1989. – 224 с.
- [6] Кабир М.Р., Исмоилов М.И., Остроух А.В. Автоматизированная система управления бетонным заводом // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – № 3 (11). – С. 178-190. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-3-17.
- [7] Кабир М.Р., Исмоилов М.И., Остроух А.В. Системный подход к проектированию АСУ ТП процессом приготовления бетонной смеси // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – № 3 (11). – С. 191-200. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-3-18.
- [8] Джха П., Остроух А.В. Автоматизированная система управления складом железобетонных изделий // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 4.1. – С. 51-56. DOI: 10.12731/2306-1561-2013-4-9.
- [9] Вэй П.А., Мью Л.А., Остроух А.В., Исмоилов М.И. Обзор современного состояния развития автоматизации производства сухих строительных смесей // В мире научных открытий. – 2012. – №12 (36). – С.12-19.
- [10] Вэй П.А., Остроух А.В. АСУТП производства сухих строительных смесей // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 1. – С. 26-29.
- [11] Остроух А.В., Тянь Ю. Современные методы и подходы к построению систем управления производственно-технологической деятельностью промышленных предприятий // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 1. – С. 29-31.
- [12] Остроух А.В. Мониторинг процесса производства сухих строительных смесей / А.В. Остроух, Вэй Пью Аунг, Юань Тянь // Наука и образование в XXI веке: Теоретические и прикладные вопросы науки и образования: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. – практ. конф. 30 сентября 2013 г.: Часть 1. – Тамбов: ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. – С. 138-140.
- [13] Остроух А.В., Вэй П.А. Оптимизация параметров процесса смешивания сухих строительных смесей в горизонтальном барабанном смесителе непрерывного действия методом имитационного моделирования // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – №2 (10). – С. 21-28. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-2-3.

- [14] Ostroukh A.V., Tian Yu. Development of the information and analytical monitoring system of technological processes of the automobile industry enterprise // *In the World of Scientific Discoveries, Series B*. 2014. Vol. 2. No 1. pp. 92-102.
- [15] Остроух А.В., Вэй П.А., Суркова Н.Е. Анализ современного состояния автоматизации процесса производства сухих строительных смесей // *Механизация строительства*. – 2014. – №7. – С. 59-63.
- [16] Остроух А.В., Вэй П., Мьо Л.А., Суркова Н.Е. Имитационное моделирование неоднородности строительной смеси в горизонтальном барабанном смесителе // *В мире научных открытий*. – 2014. – №12.2 (60). – С. 766-778.
- [17] Остроух А.В., Гимадетдинов М.К., Воробьева А.В., Вэй Пью Аунг, Мьо Лин Аунг. Разработка математических моделей и методов оптимального управления автоматизированным дробильно-сортировочным производством // *Промышленные АСУ и контроллеры*. – 2015. – №1. – С. 9-16.
- [18] Гимадетдинов М.К., Остроух А.В. Определение перечня и последовательности решения задач автоматизированного дробильно-сортировочного производства // *Автоматизация и управление в технических системах*. – 2014. – №4 (12). – С. 55-61. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-4-6.
- [19] Ostroukh A.V., Wai Ph.A. Optimization of parameters dry construction mixtures in the horizontal drum mixer // *International Journal of Advanced Studies (iJAS)*. 2014. Vol. 4. No 2. pp. 38-44. DOI: 10.12731/2227-930X-2014-2-2.
- [20] Wai Ph.A., Ostroukh A.V. Development of simulation model mixed system in the AnyLogic software // *International Journal of Advanced Studies (iJAS)*. 2014. Vol. 4. No 4. pp. 48-53. DOI: 10.12731/2227-930X-2014-4-2.