

Визуализация пространства технологических параметров процесса формования керамической массы как объекта автоматизации производства кирпича

М.А. Назаров

Самарский государственный технический университет

ORCID: 0000-0001-8365-7208, nazarovm86@yandex.ru

Аннотация

Предложен подход к визуализации рабочей области пространства технологических параметров процесса формования керамической массы, осуществляемого в шнековом вакуумном прессе, при производстве кирпича, что является важным элементом анализа рассматриваемого этапа как объекта автоматизации. Определены векторы управляющих и возмущающих воздействий, вектор контролируемых координат, который составляют скорость сдвиговых деформаций и влажность керамической массы в формующем звене, величина разрежения в вакуумной камере шнекового пресса. Изучены известные экспериментальные данные по влиянию элементов вектора контролируемых координат на прочность готового керамического кирпича, а, следовательно, в соответствии с ГОСТ 530-2012 на его марку. Оценка этих зависимостей и ряд преобразований и манипуляций позволила представить искомое пространство технологических параметров процесса формования в виде структурной схемы, которая удобна в использовании при проведении вычислительных экспериментов, и в форме трехмерной графической конструкции, анализ которой позволяет определить оптимальные режимы работы шнекового вакуумного пресса при производстве кирпича требуемой марки.

Ключевые слова: керамический кирпич, шнековый вакуумный пресс, формование, объект автоматизации, скорость сдвига керамической массы, разрежение в вакуум-камере, влажность керамической массы, прочность кирпича.

Введение

Современные требования по рациональному расходованию сырьевых и топливно-энергетических ресурсов на промышленных предприятиях, включая заводы по изготовлению строительных материалов, требуют инновационного развития и модернизации их производственных мощностей. Несмотря на появление новых видов стеновых изделий популярность керамического кирпича остаётся на высоком уровне, а технологические комплексы по его выпуску составляют существенный процент предприятий строительной индустрии. В связи с этим актуальным является разработка и внедрение методов и средств управления технологическим процессом производства керамического кирпича, позволяющих обеспечить выпуск изделий требуемого качества в условиях минимально возможных в текущей ситуации удельных энергозатрат. Создание алгоритмов и систем управления, обладающих подобными свойствами требует предварительного анализа процессов производственного цикла, выбора и обоснования технологических параметров, которые в максимальной степени характеризуют качество кирпичей и определяют причины появления брака. Следует отметить, что графическое отображение зависимостей между технологическими переменными существенно упрощает формирование представлений о процессе и зачастую помогает выявить скрытые закономерности. В связи с этим, визуализация рабочей области пространства

технологических параметров процессов производства кирпича представляется важной задачей.

Изготовление керамического кирпича, осуществляемое чаще всего методом пластического формования, включает несколько основных этапов, на каждом из которых определенным образом изменяются механо-физико-химические свойства исходного сырья [1,2]: предварительная подготовка исходных материалов, формование, сушка и обжиг. Особенностью этой технологической цепочки является существенное влияние каждого передела на последующие стадии.

В настоящей работе решается задача визуализации данных, в определяющей степени характеризующих стадию формования керамической массы в шнековом вакуумном прессе, который осуществляет ее увлажнение, перемешивание, вакуумирование и собственно формование. Последующий анализ полученных графических изображений позволит определить наиболее эффективные подходы к управлению рассматриваемым технологическим переделом.

1. Анализ технологического процесса формования керамической массы в шнековом вакуумном прессе как объекта автоматизации

Формование керамической массы является одним из наиболее важных этапов производства кирпича, определяющих качество готового камня [3,4]. Сложность управления этим процессом обусловлена его существенной нелинейностью, нестационарностью механо-физико-химических свойств исходного сырья, невозможностью измерения некоторых технологических параметров, а также тем, что дефекты, обусловленные этапом формования, и отклонение прочности изделий от требуемого значения обнаруживаются лишь после сушки и обжига [4-6]. Несмотря на это к керамическому кирпичу предъявляются достаточно жесткие требования по прочности, отклонениям его геометрической формы, отсутствию дефектов во внутренней структуре (свилеобразные и s-образные трещины, расслаиваемость бруса и т.п.) [7].

Шнековый вакуумный пресс представляет собой агрегатированную установку, состоящую из глиносмесителя, вакуум-камеры и собственно пресса [8]. Исходное глинистое сырье, пройдя предварительную подготовку, с помощью ленточного питателя подается в загрузочное окно смесителя, в котором осуществляется увлажнение, паропрогрев и перемешивание. Затем керамическая масса поступает в вакуум-камеру для извлечения из нее воздуха, адсорбированного поверхностью глинистых частиц и приводящего к возникновению микротрещин в кирпиче. После вакуумирования керамическая масса с помощью шнека транспортируется к формующему звену, где она продавливается через его выходное отверстие заданной формы, в результате чего получают брус требуемого сечения.

Известно [4,6,9], что прочность R при сжатии готовых изделий существенно зависит от скорости сдвиговых деформаций $\dot{\gamma}$ и влажности w керамической массы в формующем звене, величины разрежения P_g в вакуумной камере шнекового пресса (рис. 1). Поэтому эти параметры составляют вектор контролируемых координат

$$\mathbf{Y}(t) = [\dot{\gamma}(t) \ P_g(t) \ w(t)]^T,$$

где t – время; T – знак транспонирования.

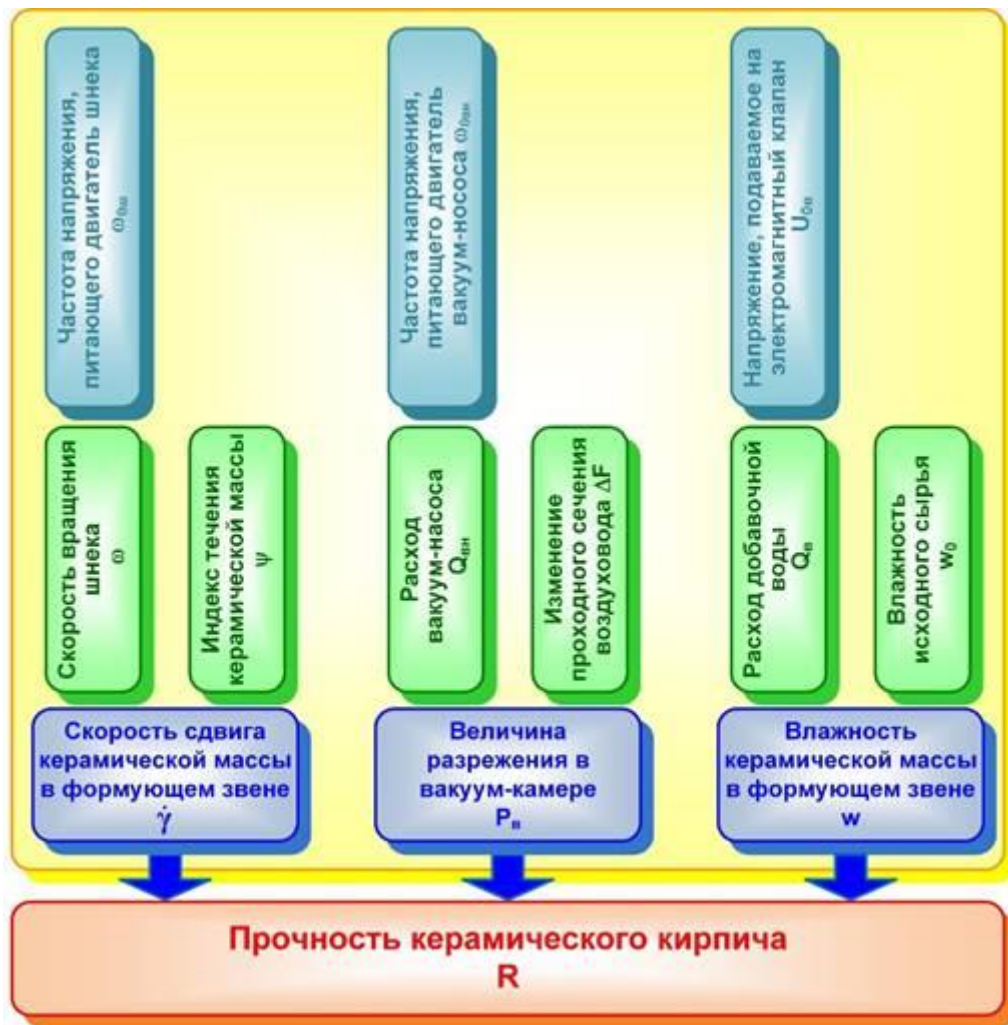


Рис. 1. Схема влияния технологических параметров процесса формования керамической массы на прочность R кирпича.

Скорость сдвига $\dot{\gamma}$ определяется скоростью вращения ω шнека и индексом течения ψ керамической массы [10,11]; P_v – в основном расходом $Q_{вн}$ вакуумного насоса и проходным сечением воздуховода, который может изменяться на величину ΔF ввиду запыленности и загрязненности среды в вакуум-камере [6,12]; w зависит от влажности w_0 поступающего в глиносмеситель сырья и расхода Q_v добавляемой в него при перемешивании воды [11,13,14]. В процессе работы установки существует возможность регулирования ω , $Q_{вн}$, Q_v путем вариации частоты $\omega_{ош}$ напряжения, питающего приводной двигатель шнека, частоты $\omega_{овн}$ напряжения, питающего приводной двигатель вакуум-насоса, напряжения $U_{ов}$, подаваемого на электромагнитный клапан дозирования воды, соответственно. В этом случае вектор управляющих воздействий будет иметь вид

$$\mathbf{U}(t) = [\omega_{ош}(t) \quad \omega_{овн}(t) \quad U_{ов}(t)]^T,$$

а вектор возмущений

$$\mathbf{H}(t) = [\psi(t) \quad \Delta F(t) \quad w_0(t)]^T.$$

Для принятия наиболее рациональных управленческих решений в условиях текущей технологической ситуации необходимо найти оптимальное положение рабочей точки в

пространстве $\langle \Pi \rangle$ технологических параметров процесса формования, координаты которого определяются элементами вектора \mathbf{Y} . Проще всего, на наш взгляд, такой подход возможно реализовать путем визуализации зависимости между контролируе-

мыми координатами процесса и дальнейшего анализа полученного графического представления.

2. Влияние технологических параметров формования на прочность керамического кирпича

Марка M кирпича по прочности является одной из его основных характеристик [7]. Исходя из анализа требований ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» можно сказать, что кирпичу присваивается та или иная марка M (при условии выполнения требований по прочности на изгиб) в соответствии со следующим логическим правилом:

$$M = \left\{ \begin{array}{l} 300, \quad R \geq 30 \text{ МПа}; \\ 250, \quad 25 \leq R < 30 \text{ МПа}; \\ 200, \quad 20 \leq R < 25 \text{ МПа}; \\ 175, \quad 17.5 \leq R < 20 \text{ МПа}; \\ 150, \quad 15 \leq R < 17.5 \text{ МПа}; \\ 125, \quad 12.5 \leq R < 15 \text{ МПа}; \\ 100, \quad 10 \leq R < 12.5 \text{ МПа}; \\ 75, \quad 7.5 \leq R < 10 \text{ МПа}; \\ 50, \quad 5 \leq R < 7.5 \text{ МПа}. \end{array} \right. \quad (1)$$

В работах [4,9] приводятся исследования по оценке влияния скорости сдвига $\dot{\gamma}$ в образцах, изготовленных из невакуумированной ($P_v = 0\%$) керамической массы, на их прочность R' при сжатии после сушки и обжига. Каждая кривая $R' = \Phi_1(\dot{\gamma})$ представленного семейства функциональных зависимостей, соответствующая некоторому фиксированному значению влажности w , имеет примерно одинаковую форму с явно выраженным экстремумом при $\dot{\gamma} = \dot{\gamma}_{R' \rightarrow \max}$. Допускаем, что эти кривые абсолютно совпадают по форме и располагаются на одном уровне относительно оси R' , а при изменении w сдвигаются лишь по оси $\dot{\gamma}$. Анализ представленных в [4,9] зависимостей позволяет описать перемещение экстремума при вариации влажности в технологически обоснованном диапазоне квадратичной функцией

$$\dot{\gamma}_{R' \rightarrow \max}(w) = k_1 \cdot w^2 - k_2 \cdot w + c_3, \quad (2)$$

где k_1, k_2, c_3 – константы.

На основании данных [4,9] для керамических образцов из кембрийской глины с учетом выражения (2) построим семейство кривых для пяти значений влажности (рис. 2).

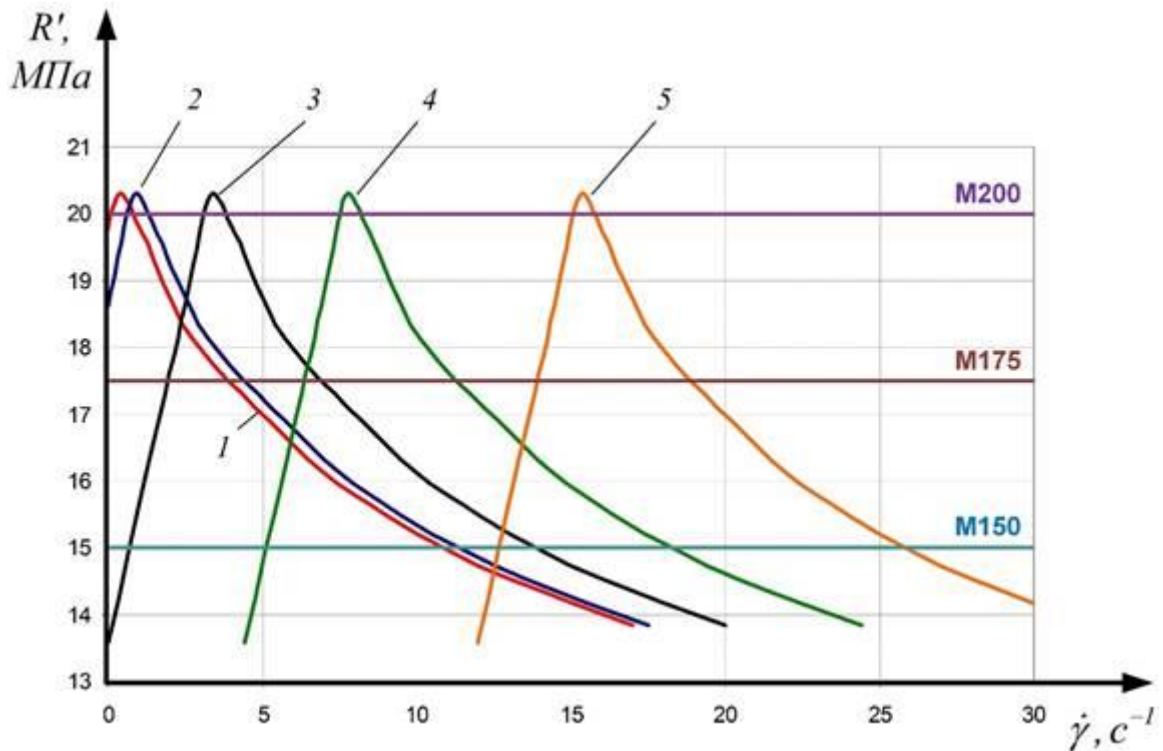


Рис. 2. Зависимость предела прочности на сжатие кирпича от скорости сдвига при формировании невакуумированной керамической массы:

1 – $w = 15.5\%$; 2 – $w = 17.1\%$; 3 – $w = 19.9\%$; 4 – $w = 22.5\%$;
5 – $w = 25.5\%$.

В рассматриваемом случае $k_1 = 0.1457 \text{ c}^{-1}$, $k_2 = 4.4815 \text{ c}^{-1}$, $c_3 = 34.778 \text{ c}^{-1}$.

Исследования [6] влияния вакуумирования формируемой керамической массы выявили, что при вакууме $40 \div 60\%$ повышения прочности R не наблюдалось, при $80 \div 90\%$ прочность повысилась на 70% . На основании этих выводов введем понятие коэффициента упрочнения $K_{уп}$ [12], который представляет собой отношение прочности R готового кирпича, полученного из вакуумированной, (причем R зависит от глубины вакуума) к прочности R' кирпича из невакуумированной массы

$$K_{уп}(P_v) = R(P_v)/R' \quad (3)$$

Построим зависимость коэффициента упрочнения $K_{уп}$ от глубины вакуума P_v (рис. 3), причем выделим область допустимой по условиям исключения брака по внешнему виду вариации величины разрежения, которая находится в диапазоне $\min P_v^{доп} \leq P_v^{доп} \leq \max P_v^{доп}$. На основании [6] – $\min P_v^{доп} = 70\%$, $\max P_v^{доп} = 100\%$, оптимальное значение $P_v^{опт} = 90\%$.

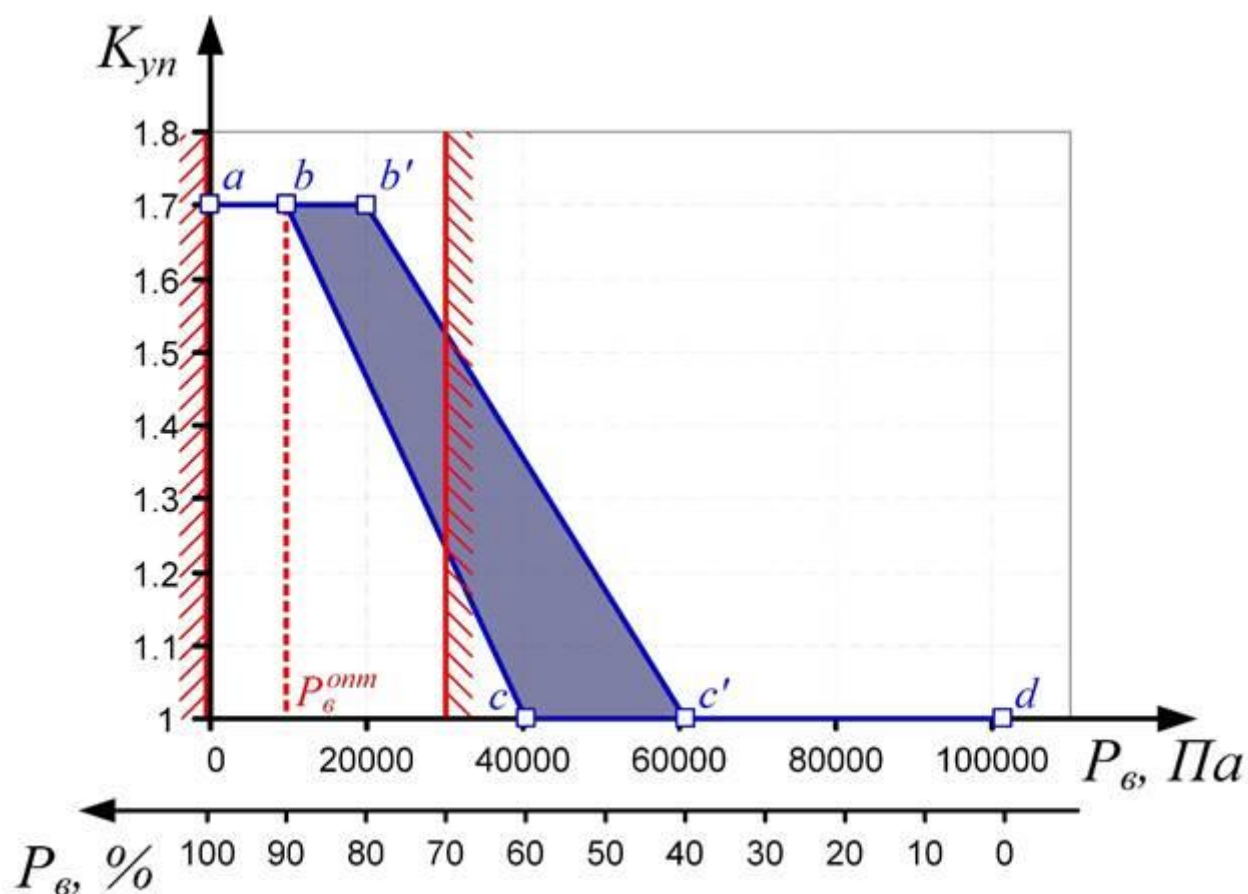


Рис. 3. Зависимость коэффициента упрочнения керамического кирпича от разрежения в вакуум-камере шнекового пресса.

Можно заметить, что изменение коэффициента упрочнения K_{yn} может происходить между ломаными $abcc'd$ и $abb'c'd$ и по приведенным в [6] данным не представляется возможным выявить закономерность, более точно определяющую повышение прочности керамического кирпича при вакуумировании используемого для его производства сырья. Поэтому здесь при дальнейшем анализе будем использовать вариант, требующий обеспечения более высокого вакуума, то есть ломаную $abcc'd$, что повысит вероятность получения ожидаемого эффекта упрочнения. Ломаная $abcc'd$ представляет собой график нелинейной функции $K_{yn} = \Phi_2(P_в)$.

Представленные зависимости иллюстрируют влияние элементов вектора контролируемых координат \mathbf{Y} по отдельности, но не дают целостной картины и не позволяют определить оптимальные значения \dot{Y} , ω , $P_в$, обеспечивающих работу установки в наиболее рациональном для текущей технологической ситуации режиме. В связи с этим целесообразно создание обобщенного пространства $\langle \Pi \rangle = \Phi_3(\dot{Y}, P_в, \omega)$ технологических параметров процесса формования керамической массы.

3. Графический синтез пространства технологических параметров процесса формования керамической массы

Одним из вариантов представления пространства $\langle \Pi \rangle$ технологических параметров процесса формования керамической массы является его изображение в виде структурной схемы. Такой метод имеет смысл использовать, если пространство $\langle \Pi \rangle$ необходи-

мо внедрить в вычислительную модель процесса производства кирпича. В этом случае для сокращения количества манипуляций с массивами данных целесообразно в структурной схеме использовать только одну кривую семейства $R' = \Phi_1(\dot{\gamma})$ при некотором выбранном базовом значении влажности w_0 , а текущую величину скорости сдвига $\dot{\gamma}$ привести к эквивалентному значению $\dot{\gamma}'$ согласно выражению

$$\dot{\gamma}'(w) = \dot{\gamma} - \dot{\gamma}_n(w), \quad (4)$$

где $\dot{\gamma}_n$ – величина приведения скорости сдвига,

$$\dot{\gamma}_n(w) = \dot{\gamma}_{R' \rightarrow \max}(w) + \dot{\gamma}_{R' \rightarrow \max}|_{w=w_0} = k_1 \cdot w^2 - k_2 \cdot w + c_3 + \dot{\gamma}_{R' \rightarrow \max}|_{w=w_0}; \quad (5)$$

$\dot{\gamma}_{R' \rightarrow \max}|_{w=w_0}$ – экстремумом кривой $R' = \Phi_1(\dot{\gamma})$, соответствующей влажности w_0 .

Таким образом, появляется возможность при любой влажности керамической массы моделировать процесс формования, используя только одну кривую зависимости прочности кирпича от скорости сдвиговых деформаций.

Совокупность выражений (1) – (3) и нелинейных функциональных зависимостей Φ_1 и Φ_2 позволяет создать структурное представление пространства технологических параметров процесса формования керамической массы (рис. 4). Однако такая форма отображения, удобная для использования при проведении вычислительных экспериментов, не позволяет провести полноценный анализ этой трехмерной зависимости и выявить ее скрытые свойства. Поэтому, очевидно необходимо представить пространство $\langle \Pi \rangle$ в виде объемной графической конструкции в координатах технологических переменных – $\dot{\gamma}$, w , P_a . Решение этой задачи осуществим путем графического синтеза в несколько этапов.

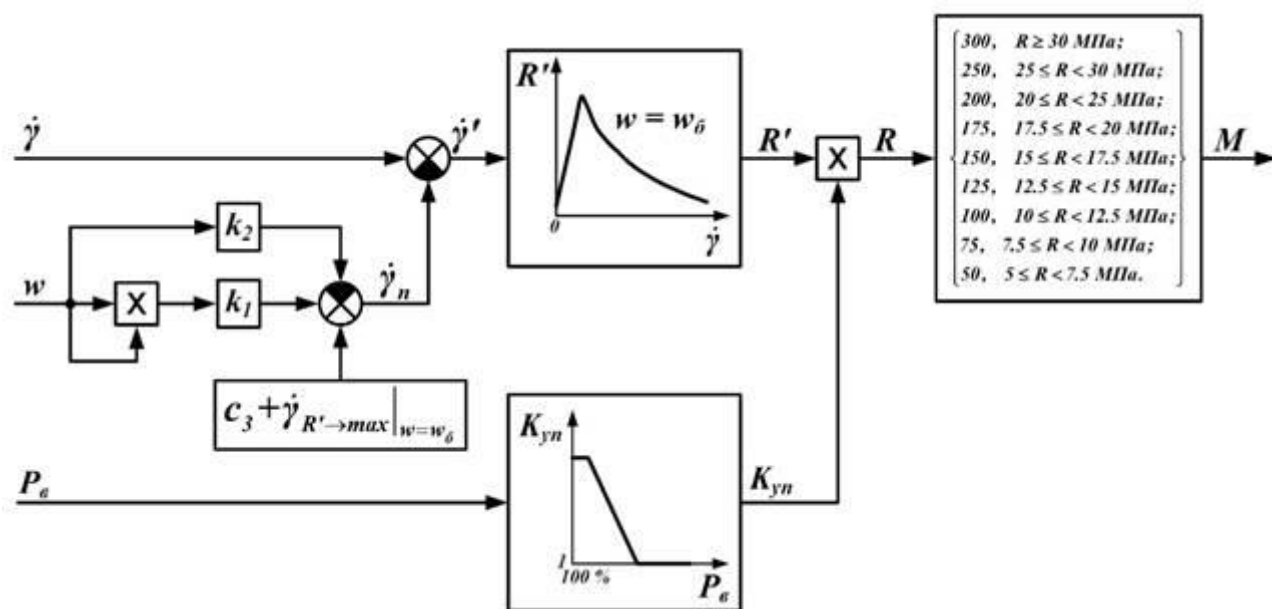


Рис. 4. Структурное представление пространства технологических параметров процесса формования керамической массы.

Проецирование графиков функции $R' = \Phi_1(\dot{\gamma})$ (рис. 2), где также обозначены границы марок M кирпича по прочности в соответствии с выражением (1), на плоскость $\dot{\gamma} - w$ дает возможность получить группу кривых $\dot{\gamma} = \Phi_4(w)$, каждая из которых соот-

ветствует конкретному значению R' . Далее используем лишь некоторые из этих кривых, которые будут являться граничными с точки зрения разделения плоскости $\dot{\gamma} - w$ на марочные области. Учтем также, что для кембрийской глины оптимальная формовочная влажность w_ϕ составляет около 23.5 % [5], а в качестве допустимого диапазона ее колебаний примем $\Delta w_\phi = \pm 1\%$ [15]. Принимая во внимание указанные ограничения, получим совокупность областей работы (по величинам $\dot{\gamma}$ и w) шнекового пресса (рис. 5), в границах которых возможно обеспечить выпуск кирпича определенной марки из невакуумированной керамической массы. По сути сформированное изображение представляет собой сечение пространства $\langle \Pi \rangle$ при $P_v = 0\%$ – $\langle \Pi \rangle|_{P_v=0\%}$.

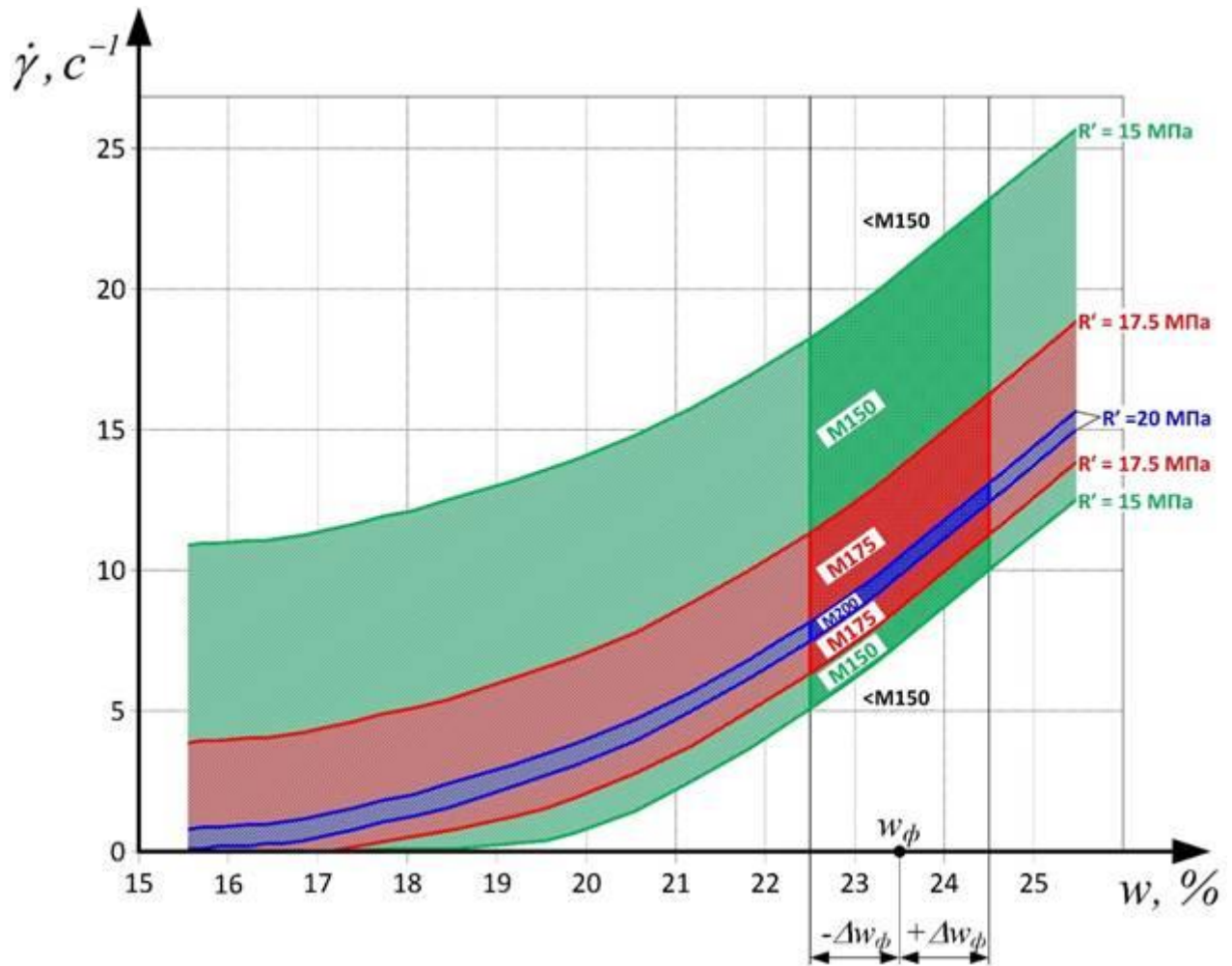


Рис. 5. Сечения пространства технологических параметров процесса формирования керамической массы в плоскости $\dot{\gamma} - w$.

Искомое пространство $\langle \Pi \rangle$ найдем путем умножения элементов множества $\langle \Pi \rangle|_{P_v=0\%}$ на коэффициент упрочнения, который лежит в диапазоне $\min K_{ym} \leq K_{ym} \leq \max K_{ym}$. По приведенным выше данным $\min K_{ym} = 1$, $\max K_{ym} = 1.7$. Таким образом, учитывая выражение (3) синтезируем трехмерное изображение пространства:

$$\langle \Pi \rangle = K_{\text{уп}}(P_{\text{в}}) \cdot \langle \Pi \rangle \Big|_{P_{\text{в}}=0\%}$$

$\langle \Pi \rangle$ представим в виде набора поверхностей $\langle \Pi \rangle \Big|_{P_{\text{в}}=P_{\text{в},i}}$ ($i \in 1, 2, \dots, n$) (рис. 6), ограничившись рассмотрением четырех значений $P_{\text{в},i}$ из допустимого диапазона изменения величины разрежения в вакуум-камере шнекового прессы при формовании керамической массы на кирпичном производстве: $P_{\text{в},1} = \min P_{\text{в}}^{\text{доп}} = 70\%$, $P_{\text{в},2} = 80\%$, $P_{\text{в},3} = P_{\text{в}}^{\text{опт}} = 90\%$, $P_{\text{в},4} = \max P_{\text{в}}^{\text{доп}} = 100\%$. Этот ряд величин определяет значения коэффициента упрочнения $K_{\text{уп},i} - K_{\text{уп},1} = 1.23$, $K_{\text{уп},2} = 1.47$, $K_{\text{уп},3} = K_{\text{уп},4} = \max K_{\text{уп}} = 1.7$. Применение такого рода визуализации наглядно показывает области постоянных значений марок кирпича по прочности в пространстве $\langle \Pi \rangle = \Phi_3(\dot{\gamma}, P_{\text{в}}, w)$ (рис. 6).

Сечения $\langle \Pi \rangle$ в плоскости $P_{\text{в}} - \dot{\gamma}$ (рис. 7) фиксируют области работы установки, которые обеспечивают получение кирпича определенной марки при фиксированных значениях w .

На основании анализа полученных поверхностей (рис. 6, 7) в [11] предложен вариант структуры системы автоматического управления шнековым вакуумным прессом (САУ ШВП) для производства керамических камней, которая состоит из трех сепаратных каналов и включает в себя многомерный объект управления, под которым понимается совокупность гидродинамических и электромеханических процессов при подготовке глиняного сырья и формовании бруса и последующих процессов сушки и обжига. Состояние объекта определяется вектором \mathbf{Y} . В качестве преобразовательных элементов используются: в канале управления скоростью сдвига $\dot{\gamma}$ – преобразователь частоты для питания привода шнека; в канале управления величиной $P_{\text{в}}$ – преобразователь частоты для двигателя вакуум-насоса; в канале управления влажностью w – широтно-импульсные модуляторы для питания катушек электромагнитных клапанов подачи воды и пара в глиносмеситель прессы.

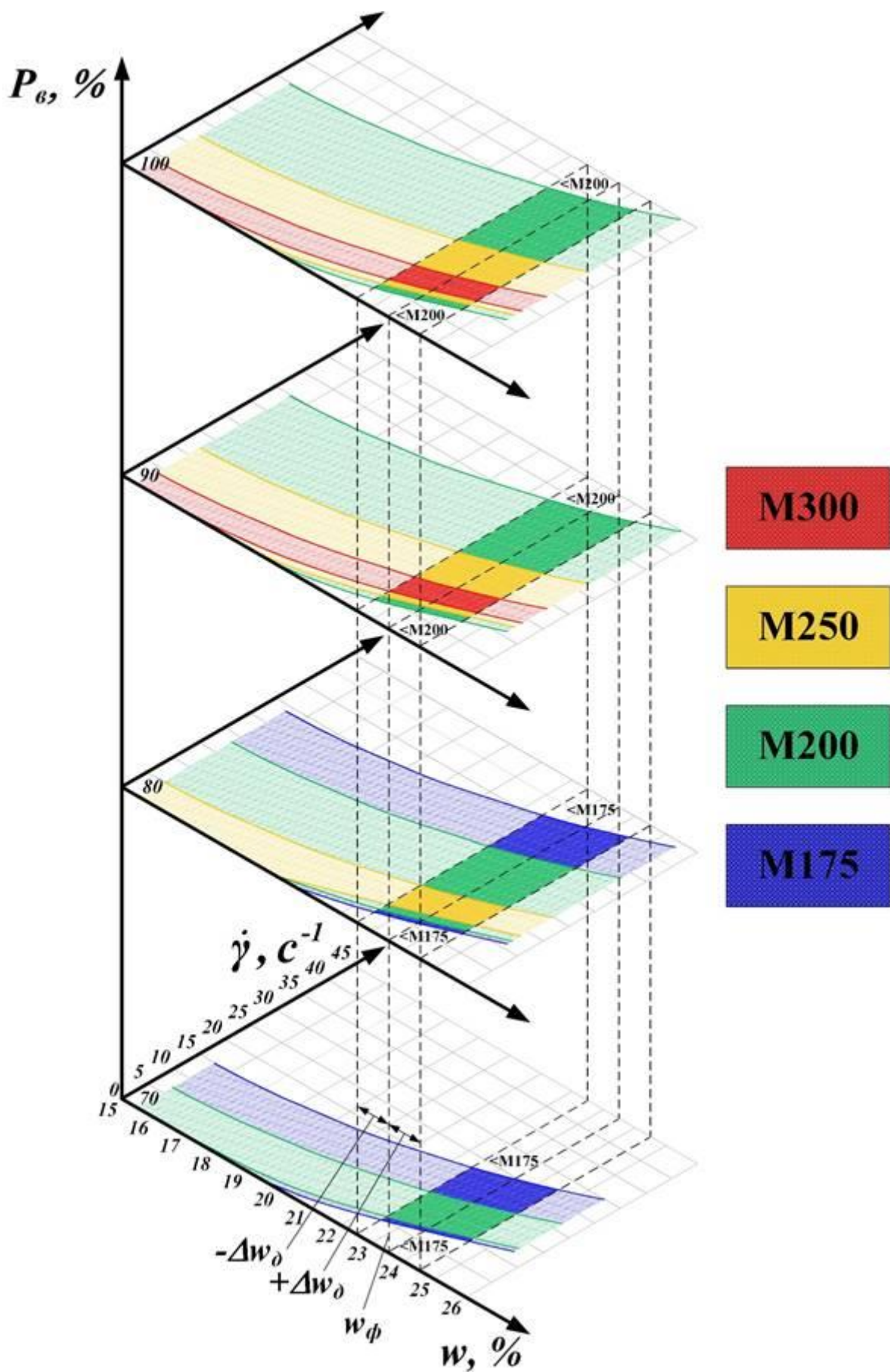


Рис. 6. Трехмерная визуализация пространства технологических параметров процесса формования керамической массы.

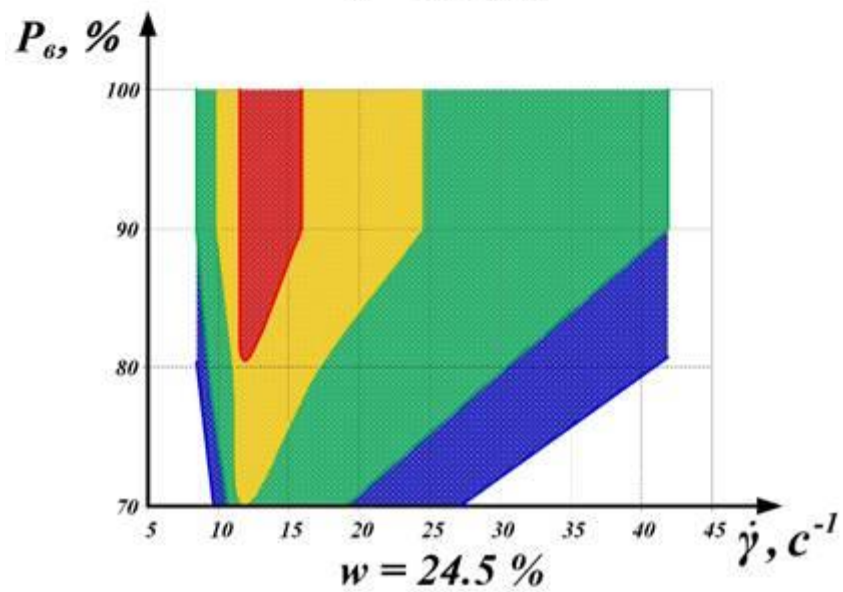
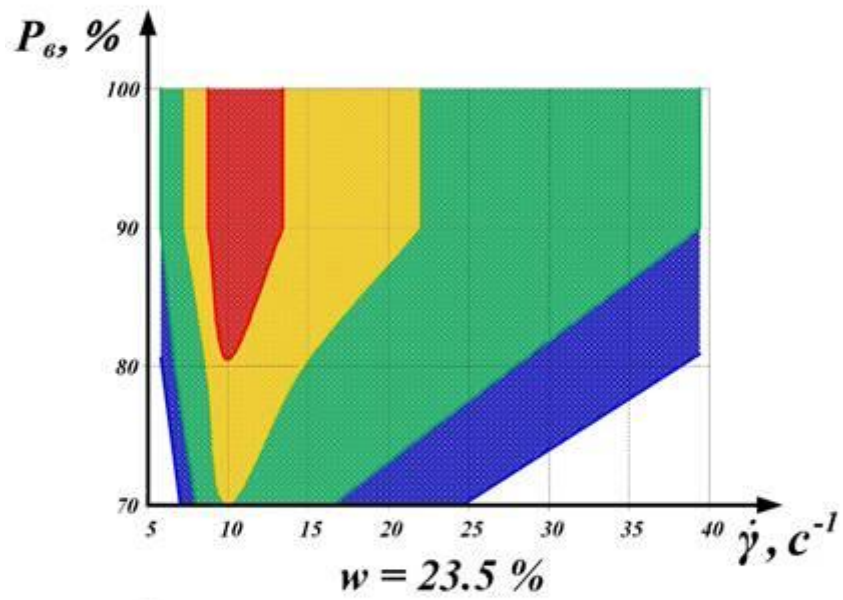
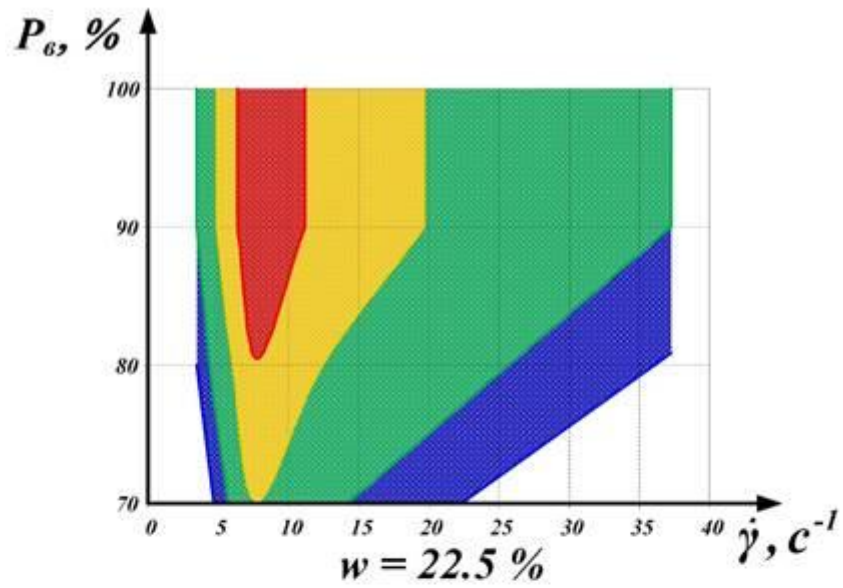


Рис. 7. Сечения пространства технологических параметров процесса формования керамической массы в плоскости $P_6 - \dot{\gamma}$.

Синтезированное пространство $\langle \Pi \rangle$ технологических параметров процесса формирования керамической массы заложено в формирователь вектора задающих сигналов САУ ШВП и может корректироваться в зависимости от получаемых непосредственно на производстве данных. Создание и внедрение такой системы автоматизации позволяет осуществить конкурентоспособное производство кирпича, обеспечить повышение производительности и снизить удельные энергозатраты в условиях стабилизации прочности кирпича, соответствующей заданной марки.

Заключение

В работе описана методика, позволяющая осуществить визуализацию пространства технологических параметров процесса формирования керамической массы. На первом этапе данная стадия была рассмотрена с использованием подходов системного анализа, идентификации объектов управления и теории автоматического управления, что позволило выделить векторы управляющих и возмущающих воздействий, вектор контролируемых переменных, элементы которого были приняты в качестве координат многомерного пространства параметров процесса формирования.

Проведен анализ результатов немногочисленных и разрозненных исследований по оценке влияния основных параметров, в наибольшей мере характеризующих эффективность работы шнекового вакуумного пресса (скорость сдвига и влажность керамической массы в формующем звене и степень разрежения в вакуум-камере) на качество готового изделия, и в первую очередь на его прочность. Это позволило представить искомое пространство в форме трехмерной графической конструкции, в которой наглядно отображены изообласти марок кирпича в координатах, соответствующих элементам вектора контролируемых переменных. Также необходимо отметить, что получено структурное представление многомерной зависимости между скоростью сдвига, влажностью керамической массы, степенью разрежения и маркой по прочности, что имеет существенное значение при подготовке и проведении вычислительных экспериментов.

Исследование сечений найденного пространства технологических параметров существенно облегчило создание структуры системы автоматизации шнекового вакуумного пресса и алгоритмов ее рациональной работы.

Выполненные изыскания отражают результаты одного из этапов научно-исследовательской работы по синтезу структуры и формированию математического обеспечения цифровой системы автоматического управления производством керамического кирпича.

Список литературы

1. Химическая технология керамики / под ред. И.Я. Гузмана. М.: Стройматериалы, 2003. 496 с.
2. Золотарский А.З., Шейнман Е.Ш. Производство керамического кирпича. М.: Высшая школа, 1989. 264 с.
3. Толкачёв В.Я. Технология качественной экструзии изделий из глин. Красноярск: Компьютерные технологии, 2009. 220 с.
4. Барабанщиков Ю.Г. Влияние скорости формирования на прочность строительных изделий // Научно-технические ведомости СПбГПУ. № 6-1. 2006. С. 170-175.
5. Августиник А.И. Керамика. Л.: Стройиздат (Ленингр. отд-ние), 1975. 592 с.
6. Третьяков И.М., Голубович С.Р. Шнековые вакуум-прессы и вакуумные установки М.: Государственное издательство литературы по строительным материалам, 1953. 92 с.
7. ГОСТ 530-2012 Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2012. 39 с.
8. Handle F. Extrusion in Ceramics. Berlin: Springer, 2007. 468 p.

9. Барабанщиков Ю.Г. Формирование структуры и прочности строительных материалов при трении водосодержащих сырьевых смесей: дис. ... д-ра техн. наук. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, СПб, 2006. 292 с.
10. Силенок С.Г. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / С.Г. Силенок, А.А. Борщевский, М.Н. Горбовец. М.: Машиностроение, 1990. 416 с.
11. Galitskov S.Ya., Nazarov M.A., Galitskov K.S. Structure of Intelligent Control System of Auger Vacuum Extruder for Ceramic Bricks' Manufacturing // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Volume 10, Number 20. Pp. 40846-40852.
12. Назаров М.А., Канцева А.М. Математическое описание процесса вакуумирования керамической массы при производстве кирпича как объекта управления // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей / СГАСУ. Самара, 2016. С. 455-460.
13. Галицкий С.Я., Иванов К.А., Назаров М.А., Сабанов П.А., Пименов Е.К. Математическое описание процесса подготовки керамической массы в двухвальном глиносмесителе как объекта управления // Научное обозрение. 2014. № 6. С. 84-89.
14. Leisenberg W. Moisture measurement on ceramic raw materials // Zigelindustrie International. 2000. № 8. Pp. 25-32.
15. Ничипоренко С.П. Основные вопросы теории процессов обработки и формования керамических масс. Киев: Издательство академии наук Украинской ССР, 1960. 112 с.

Visualization of the space of technological parameters of ceramic mixture shaping process as an object of bricks production automation

M.A. Nazarov

Samara State Technical University

ORCID: 0000-0001-8365-7208, nazarovm86@yandex.ru

Abstract

An approach is proposed to visualize the working area of the technological parameters of the process of shaping the ceramic mixture, carried out in an auger vacuum extruder, in the production of bricks, which is an important element of the analysis of the stage under consideration as object of automation. The vectors of control and disturbing influences, the vector of controlled coordinates, which make up the shear strain rate and the moisture content of the ceramic mixture in the pressure head, the amount of vacuum in the vacuum chamber of the auger extruder are determined. The well-known experimental data on the influence of the elements of the vector of controlled coordinates on the strength of the finished ceramic brick, and, therefore, in accordance with GOST 530 2012 on its mark, have been studied. Evaluation of these dependencies and a number of transformations and manipulations allowed us to represent the sought space of technological parameters of the shaping process in the form of a structural diagram, which is convenient to use when conducting computational experiments, and in the form of a three-dimensional graphic design, the analysis of which allows us to determine the optimum operating modes of an auger vacuum extruder in brick production required brand.

Keywords: ceramic brick, auger vacuum extruder, shaping, object of automation, shear rate of ceramic mixture, vacuum in vacuum chamber, moisture of ceramic mixture, brick strength.

References

1. Khimicheskaya tekhnologiya keramiki [Chemical technology of ceramics] / edited by I.Ya. Guzman. Moscow, Stroymaterialy, 2003. 496 p. [in Russian].
2. Zolotarskiy A.Z., Sheynman E.Sh. Proizvodstvo keramicheskogo kirpicha [Ceramic brick production]. Moscow, Vysshaya shkola, 1989. 264 p. [in Russian].
3. Tolkachev V.Ya. Tekhnologiya kachestvennoy ekstruzii izdeliy iz glin [Technology of high-quality extrusion of clay products]. Krasnoyarsk, Kompyuternyye tekhnologii, 2009. 220 p. [in Russian].
4. Barabanshchikov Yu.G. Vliyaniye skorosti formovaniya na prochnost stroitelnykh izdeliy [The effect of shaping speed on the strength of building products] // Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU, № 6-1, 2006, pp. 170-175. [in Russian].
5. Avgustinik A.I. Keramika [Ceramics]. Leningrad, Stroyizdat (Leningr. otd-niye), 1975. 592 p. [in Russian].
6. Tretiakov I.M., Golubovich S.R. Shnekovyye vakuumpressy i vakuumpye ustanovki [Auger vacuum extruders and vacuum systems]. Moscow, Gosudarstvennoye izdatelstvo literatury po stroitelnyim materialam, 1953. 92 p. [in Russian].
7. GOST 530-2012 Kirpich i kamen keramicheskkiye. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya [Ceramic brick and stone. General technical conditions]. Moscow, Standartinform, 2012. 39 p. [in Russian].
8. Handle F. Extrusion in Ceramics. Berlin, Springer, 2007. 468 p.

9. Barabanshchikov Yu.G. Formirovaniye struktury i prochnosti stroitelnykh materialov pri trenii vodosoderzhashchikh syryevykh smesey [Formation of structure and strength of the building materials in friction raw water containing mixtures]. Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy politekhnicheskiiy universitet, Saint-Petersburg, 2006. 292 p. [in Russian].
10. Silenok S.G. Mekhanicheskoe oborudovanie predpriyatiy stroitelnykh materialov, izdeliy i konstruktsiy [Mechanical equipment of enterprises of building materials, products and structures] / S.G. Silenok, A.A. Borschevskiy, M.N. Gorbovets. Moscow, Mashinostroenie, 1990. 416 p. [in Russian].
11. Galitskov S.Ya., Nazarov M.A., Galitskov K.S. Structure of Intelligent Control System of Auger Vacuum Extruder for Ceramic Bricks' Manufacturing // International Journal of Applied Engineering Research, 2015, Volume 10, Number 20, pp. 40846-40852.
12. Nazarov M.A., Kantseva A.M. Matematicheskoye opisaniye protsessa vakuumirovaniya keramicheskoy massy pri proizvodstve kirpicha kak obyekta upravleniya [Mathematical description of vacuuming ceramic paste process in bricks production as an object of control] // Traditsii i innovatsii v stroitelstve i arkhitekture. Stroitelnyye tekhnologii: sbornik statey / SGASU, Samara, 2016, pp. 455-460. [in Russian].
13. Galitskov S.Ya., Ivanov K.A., Nazarov M.A., Sabanov P.A., Pimenov E.K. Matematicheskoye opisaniye protsessa podgotovki keramicheskoy massy v dvukhvalnom glinosmesitele kak obyekta upravleniya [Mathematical description of ceramic paste preparing process in a two-shaft clay mixer as an object of control] // Nauchnoye obozreniye, 2014, № 6, pp. 84-89. [in Russian].
14. Leisenberg W. Moisture measurement on ceramic raw materials // Zigelindustrie International, 2000, № 8, pp. 25-32.
15. Nichiporenko S.P. Osnovnyye voprosy teorii protsessov obrabotki i formovaniya keramicheskikh mass [The main issues of the theory of processing and shaping ceramic pastes]. Kiyev, Izdatelstvo akademii nauk Ukrainskoy SSR, 1960. 112 p. [in Russian].