



УДК 004.896

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ФОРМАЛИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН СЛАБОФОРМАЛИЗОВАННОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

SYSTEMS ANALYSIS AND FORMALIZATION OF INTERACTIONS BETWEEN TECHNOLOGICAL VARIABLES OF WEAKLY FORMALIZED CONTROL OBJECT

Р.А. Ващенко, А.Г. Бажанов, В.Г. Рубанов
R.A. Vashchenko, A.G. Bazhanov, V.G. Rubanov

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, 46*

Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov, 46 Kostyukov St., Belgorod, 308012, Russia

e-mail: madrid.59@mail.ru.ru, all_exe@mail.ru, vgrubanov@gmail.com

Аннотация. В данной статье приведены результаты исследований в области автоматизации вращающихся цементных печей, работающих по «мокрому способу». На основе ранее полученных моделей одиннадцати технологических величин в виде нечетких диаграмм поведения разработана модель процесса обжига клинкера. Модель синтезирована в результате изучения и анализа взаимодействия и влияния друг на друга технологических величин с учетом межузловых связей печного агрегата, а так же с применением продукционных правил конструкции «ЧТОБЫ-ПРИ-НУЖНО». Полученная конструкция, включающая в себя всю необходимую информацию о процессе обжига клинкера, будет использована при разработке логической структуры для создания советующей системы управления вращающейся печью.

Resume. This article presents the results of research in the field of automation for rotary kilns operating on "wet method". The clinker burning model was developed on the basis of previously acquired eleven models of technological variables in the form of fuzzy behavior charts. The model is synthesized as a result of research and analysis of the interaction and cross influence of technological values, taking into account the cross nodes connection in the kiln, and also with the design of production rules in form " TO – WITH – HAVE TO". The result construction includes all the necessary information about the process of clinker burning and will be used in the development of the logical framework for the creation of the advising control system for rotary kiln.

Ключевые слова: цементная печь, узел, нечеткая диаграмма поведения, продукционные правила, схема взаимодействия узлов.

Keywords: cement kiln, node, fuzzy behavior chart, production rules, scheme of interaction between nodes.

Введение

Управление технологическими процессами такими объектами как вращающаяся цементная печь с распределенными параметрами вызывает значительные трудности [Ицелев и др., 1978]. Комплекс процессов, происходящих во вращающихся печах под воздействием тепловой энергии, весьма обширен и сложен [Древицкий и др., 1990]. Вращающаяся печь представляет собой агрегат, в котором происходят разнохарактерные по своей природе процессы: горение топлива, перемещение материала вдоль печи, химические преобразования сырьевой смеси. Кроме того, на современных вращающихся печах отсутствует ряд датчиков, необходимых для контроля и управления процессом обжига. Это приводит к проблемам поддержания необходимых показателей и параметров технологического процесса.

Чтобы получить возможность проводить детальное изучение всех процессов, предлагается заменить непрерывное поведение технологической величины ее дискретным представлением в виде режимов, представляющих собой элементарную часть переходного процесса, происходящего с этой величиной в объекте [Магергут и др., 2013]. Такой подход является исследованием технологических процессов «снизу» и для его реализации строятся модели в виде нечетких диаграмм поведения узлов, которые служат основой для создания автоматизированной системы управления цементной печью [Магергут и др., 2013].

Основная часть

На сегодняшний день по результатам изучения и исследования процесса обжига клинкера, а также на основе специализированной литературы и мнений экспертов-технологов ЗАО «Осколцемент» (г. Старый Оскол), разработаны модели одиннадцати узлов цементной печи: «Ток нагрузки на главный привод печи – U_I », «Температура материала в зоне подогрева – U_{T_p} », «Разрежение в горячей головке печи – $U_{P_{гв}}$ », «Концентрация углекислого газа в отходящих газах – U_{CO_2} », «Температура готового клинкера – $U_{T_{гк}}$ », «Концентрация кислорода в отходящих газах – U_{O_2} », «Температура материала в зоне сушки – $U_{T_{сз}}$ », «Температура вторичного воздуха – $U_{T_{вв}}$ », «Температура отходящих газов – $U_{T_{от}}$ », «Температура аспирационного воздуха – $U_{T_{аб}}$ », «Гранулометрический состав клинкера – U_{Gran} ».

Необходимо напомнить, что узел – это часть технологической структурной схемы аппарата, которая соответствует конкретной выходной технологической величине и включает все воздействующие на эту величину входные величины аппарата, направленные связи между ними с учетом всех промежуточных величин и параметров [Маергут и др., 1988].

На рисунке 1 представлена структура узла в виде «черного ящика» [Bazhanov et al., 2015], где g_1 – возмущающая технологическая величина 1; g_2 – возмущающая технологическая величина 2; g_n – возмущающая технологическая величина n; σ_1 – выходная технологическая величина; U_{σ_1} – условное обозначение узла.

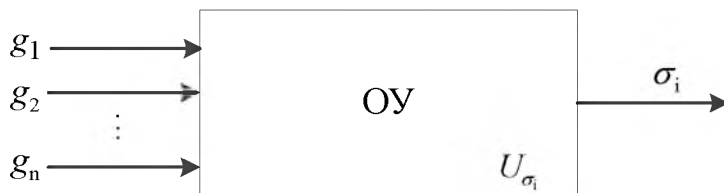


Рис. 1. Структура технологического узла в виде «черного ящика»
Fig. 1. The structure of the technological unit in the form of a "black box"

Для получения модели процесса обжига клинкера необходимо перейти от построенных моделей одиннадцати узлов к их единой совокупной структуре, включающей в себя межузловые связи и комплексную работу всех узлов. Однако поскольку реализация алгоритма совместной работы узлов для советующей системы заключается в получении производственных правил, которые позволяют советующей системе определить режим работы цементной печи и оценить состояние технологического процесса, то возникает проблема их большого количества [Vashchenko et al., 2016].

Каждому узлу соответствует условная выходная позиция P , в которой хранится информация о режиме функционирования конкретной технологической величины. Соответственно, чем больше рассматривается узлов, тем больше выходных позиций P , в которых содержится как минимум несколько значений режима работы технологической величины (рис. 2).

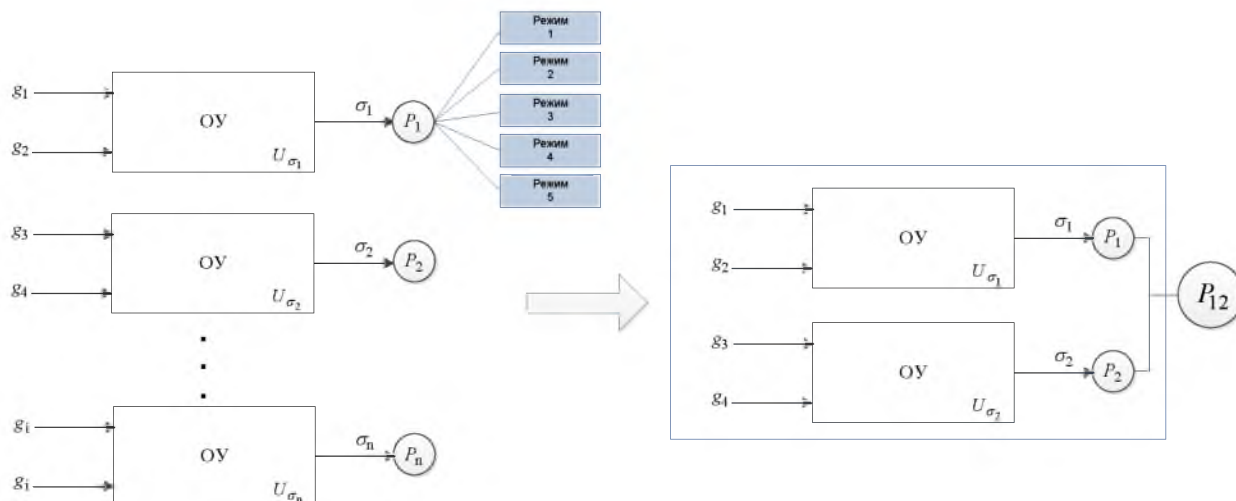


Рис. 2. Сокращение выходных позиций узлов
Fig. 2. Reducing the output nodes positions



Следовательно, значительно увеличивается количество продукционных правил – конструкции типа: «Если ($P_1 is Z$) И ($P_2 is PS$) И ($P_3 is PB$) И ($P_4 is PB$) И ($P_n is PB$), то «Перевести на тихий ход». Поэтому применить данный способ получения продукционных правил, непосредственно перебирая все возможные комбинации, крайне затруднительно при работе с созданными одиннадцатью моделями узлов цементной печи. Количество правил в таком случае может достигать нескольких десятков тысяч. Данная проблема приводит к тому, что экспертам и специалистам крайне затруднительно оценить адекватность продукционных правил, правильность и возможность реального появления различных нештатных и аварийных ситуаций при протекании процесса обжига, что в свою очередь приводит к невозможности получения единого алгоритма управления печным агрегатом на основании совокупности работы узлов.

Однако учитывая, что технологические величины реального объекта достаточно тесно взаимодействуют друг с другом, то за счет выявления межузловых связей необходимо добиться снижения количества продукционных правил. Следовательно, целью является сокращение количества выходных позиций P .

Данную задачу можно решить путем агрегирования моделей на основе нечетких диаграмм поведения, то есть эквивалентного преобразования в более крупные модели. Суть данного преобразования показана на рисунке 3.

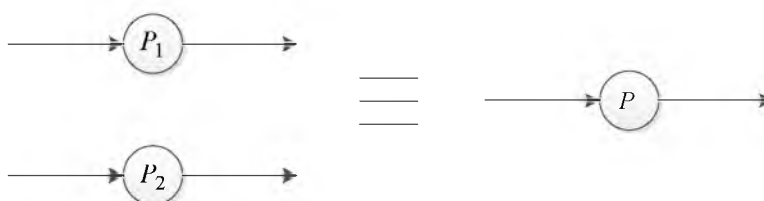


Рис. 3. Эквивалентное преобразование в более крупную модель
Fig. 3. The equal transformation into a larger model

Анализируя модели узлов вращающейся печи в виде нечетких диаграмм поведения, можно проследить тесную взаимосвязь выходных технологических величин, как прямое, так и косвенно влияние друг на друга. Это объясняется тем, что процессы внутри печного агрегата тесно связаны между собой. Необходимо использовать данные особенности протекания технологических процессов для осуществления преобразований по укрупнению моделей.

Рассмотрим более подробно основные конструкции, которые возможны при выявлении межузловых взаимосвязей.

На рисунке 4 показана схема взаимодействия, основанная на последовательном соединении двух узлов, когда выходная технологическая величина σ_1 узла U_{σ_1} является входным возмущающим воздействием (g_3) для другой выходной технологической величины σ_2 узла U_{σ_2} .

Можно заметить, что вместо двух выходных позиций P_1 и P_2 получаем одну выходную позицию P_2 , которая содержит всю необходимую информацию о двух узлах U_{σ_1} и U_{σ_2} .

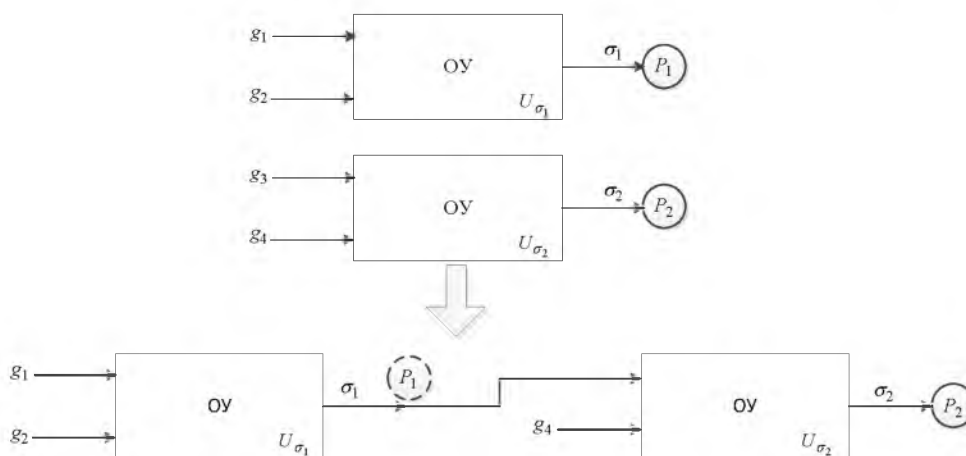


Рис. 4. Схема взаимодействия узлов U_{σ_1} и U_{σ_2}

Fig. 4. The interaction scheme of nodes U_{σ_1} and U_{σ_2}

Функционирование модели узла U_{σ_1} при этом никак не изменяется, а данные о режиме работы выходной технологической величины σ_1 поступают на вход узла U_{σ_2} вместо считывания этого параметра с датчика. Таким образом, узлы U_{σ_1} и U_{σ_2} рассматриваются не как отдельно функционирующие модели, а как одна, но более крупная модель, характеристики которой содержатся в одной выходной позиции P_2 .

Если несколько выходных технологических величин являются входными возмущающими воздействиями, то возможна конструкция, показанная на рисунке 5.

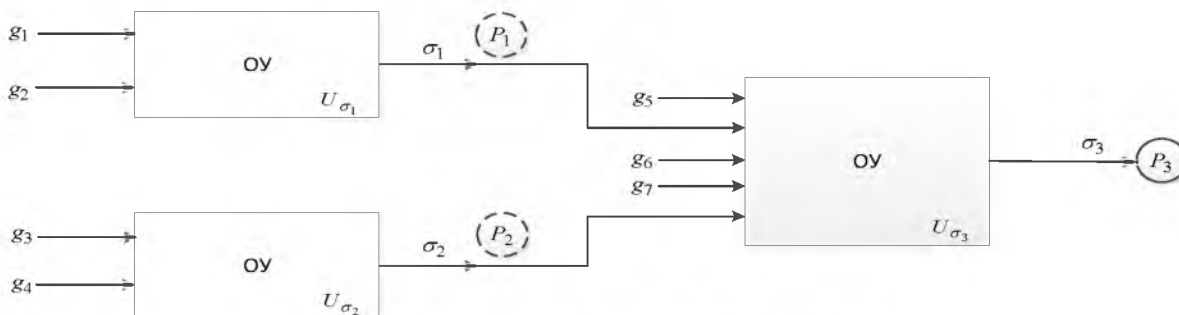


Рис. 5. Схема взаимодействия узлов $U_{\sigma_1}, U_{\sigma_2}, U_{\sigma_3}$

Fig. 5. The interaction scheme of nodes $U_{\sigma_1}, U_{\sigma_2}, U_{\sigma_3}$

В данном случае получаем вместо трех выходных позиций P_1, P_2, P_3 одну выходную позицию P_3 , которая характеризует функционирование трех моделей узлов $U_{\sigma_1}, U_{\sigma_2}, U_{\sigma_3}$.

При выполнении описанных выше условий возможна более сложная конструкция, показанная на рисунке 6.

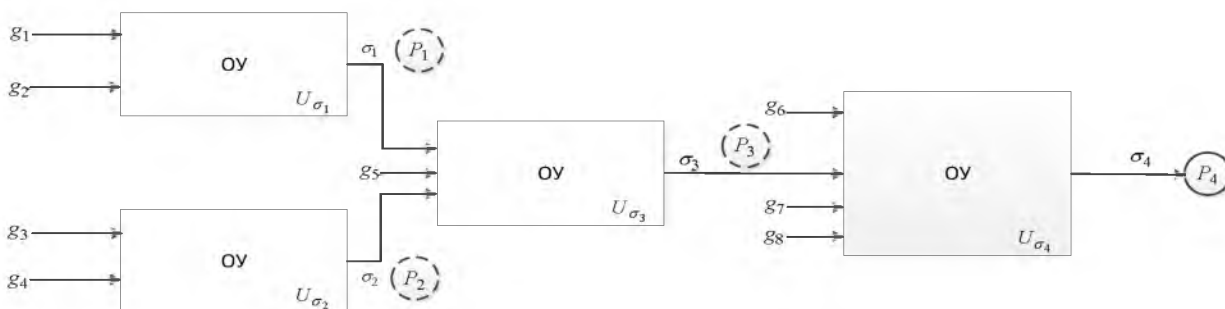


Рис. 6. Схема взаимодействия узлов $U_{\sigma_1}, U_{\sigma_2}, U_{\sigma_3}, U_{\sigma_4}$

Fig. 6. The interaction scheme of nodes $U_{\sigma_1}, U_{\sigma_2}, U_{\sigma_3}, U_{\sigma_4}$

Выходная позиция P_4 включает в себя информацию о работе сразу четырех узлов $U_{\sigma_1}, U_{\sigma_2}, U_{\sigma_3}, U_{\sigma_4}$. Применение такой укрупненной модели позволит существенно сократить количество выходных позиций P .

Выходная технологическая величина σ_1 может являться входным возмущающим воздействием g_1 для нескольких узлов. Такие структуры показаны на рисунке 7.

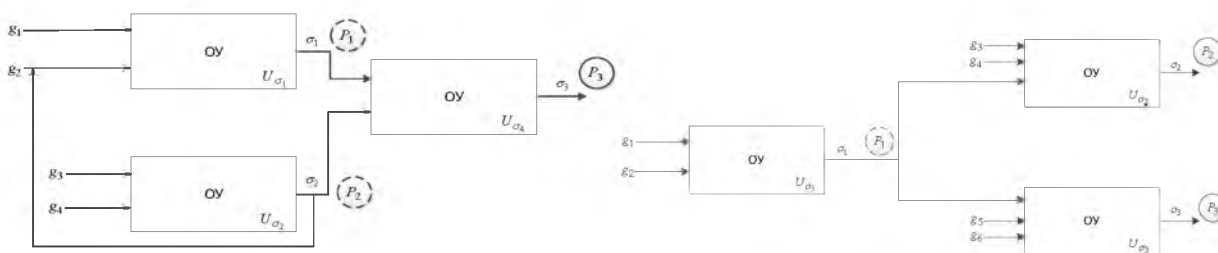


Рис. 7. Схема взаимодействия узлов $U_{\sigma_1}, U_{\sigma_2}, U_{\sigma_3}$

Fig. 7. The interaction scheme of nodes $U_{\sigma_1}, U_{\sigma_2}, U_{\sigma_3}$

Разработав модели одиннадцати технологических узлов с учетом выявленных взаимосвязей, дальнейшим этапом для создания советующей системы управления вращающейся цементной печью, работающей по «мокрому способу» производства, является синтез единой модели процесса обжига клинкера (рис. 8), где T – период обращения печи, $Q_{ш}$ – подача (расход) шлама в печь, H_m – высота подъема материала в печи, $L_{зс}$ – длина зоны спекания, $P_{оп}$ – разрежение за обрезом печи, Q_r – расход газа, $D_{цз}$ – износ цепной завесы, Q_a – расход аспирационного воздуха из холодильника, $Q_{од}$ – расход воздуха общего дутья, $Q_{од}$ – расход воздуха острого дутья, $Q_{од}$ – расход воздуха острого дутья, $T_{отг}$ – температура отходящих газов, $Gran$ – гранулометрический состав клинкера, H_k – высота слоя клинкера, $W_{ш}$ – влажность сырья, H_k – высота слоя материала в холодильнике, $T_{вв}$ – температура вторичного воздуха, HS – химический состав шлама.

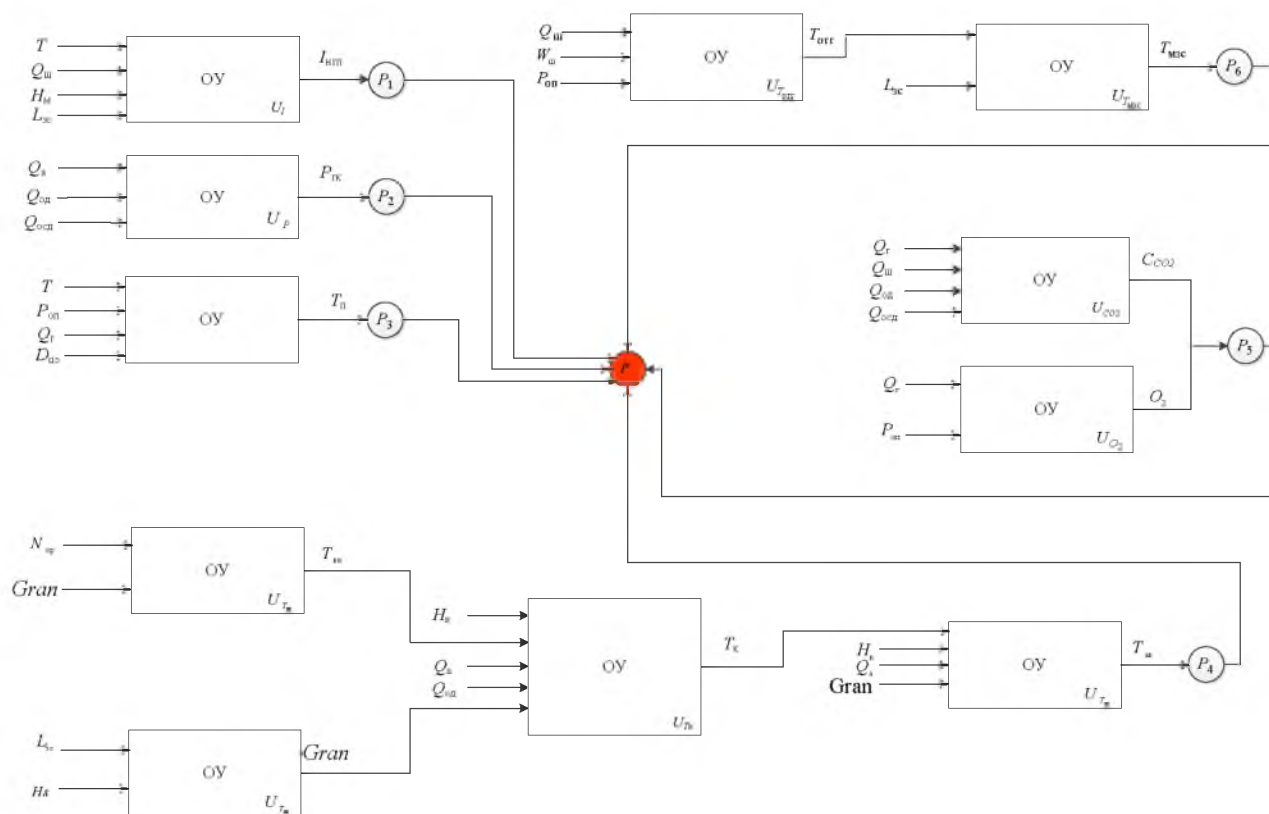


Рис. 8. Модель процесса обжига клинкера на основе совокупности технологических узлов
 Fig. 8. Model of clinker burning process on the basis of technological units set

Тем не менее, не всегда есть возможность установить прямую взаимосвязь узлов цементной печи между собой. Следовательно, это приводит к невозможности процедуры агрегирования и получения более крупных моделей. В таком случае необходимо воспользоваться еще одним способом сокращения выходных позиций в общей структуре управления.

Для этого рассмотрим особенность нечетких диаграмм поведения, которая заключается в том, что они позволяют сформулировать производственные правила двумя способами [Бажанов и др., 2014]:

1. Традиционного в виде конструкции типа «ЕСЛИ – ТО». При таком способе правила можно формулировать следующим образом: «ЕСЛИ имеется то или иное условие, ТО необходимо совершить действие, И тогда достигается цель». При такой формулировке производственных правил ЦЕЛЬ в явном виде не фигурирует, то есть правила записываются фактически так: «ЕСЛИ имеется то или иное условие, ТО необходимо совершить действие»;

2. В виде конструкции «ЧТОБЫ – ПРИ – НУЖНО», отражающей целеполагание правил, то есть «ЧТОБЫ j -я выходная технологическая величина находилась в заданных пределах ПРИ соответствующих технологических условиях, возмущающих воздействиях НУЖНО совершить необходимое управляющее воздействие». Соответственно, при применении связки «ЧТОБЫ – ПРИ – НУЖНО» получаем производственные правила по достижению ЦЕЛИ при определенных УСЛОВИЯХ путем совершения ДЕЙСТВИЙ посредством управляющих воздействий и технологических условий.

Ситуация, в которой между узлами U_{O_2} и U_{CO_2} отсутствует прямая взаимосвязь, но изменение одной выходной технологической величины может приводить к изменению другой,



показана на рисунке 8. Именно конструкцию «ЧТОБЫ-ПРИ-НУЖНО» возможно использовать в данном случае с целью сокращения выходных позиций. Получаем одну выходную позицию P_5 , содержащаяся информация в которой позволит учитывать режимы работы двух узлов U_{O_2} и U_{CO_2} в совокупном алгоритме управления цементной печью.

Заключение

Основные преимущества при осуществлении агрегирования моделей на основе взаимосвязи узлов: уменьшение выходных позиций P , снижение количества производственных правил, сокращение числа подсетей в единой структуре управления, более точная и быстрая оценка функционирования моделей узлов. На основе разработанных моделей одиннадцати технологических узлов с учетом выявленных взаимосвязей, получена модель процесса обжига клинкера для советующей системы управления вращающейся цементной печью, работающей по «мокрому способу» производства клинкера.

Исследования выполнены при финансовой поддержке в рамках проекта госзадания 2.1396.2017/ПЧ.

Список литературы References

- Бажанов А.Г., Ващенко Р.А., Магергут В.З., 2014. Развитие аппарата производственных правил управления объектами с использованием диаграмм поведения узлов. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, 9: 35-41.
- Bazhanov A.G., Vashchenko R.A., Magergut V.Z., 2014. Development unit of production rules manipulate objects using diagrams behavior nodes. Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika [Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics], 9: 35-41. (in Russian)
- Древицкий Е.Г., Добровольский А.Г., Коробок А.А., 1990. Повышение эффективности работы вращающихся печей. М., Стройиздат, 224.
- Drevickij E.G., Dobrovol'skij A.G., Korobok A.A., 1990. Improving the efficiency of rotary kilns. Moscow, Strojizdat, 224. (in Russian)
- Ицелев Р.И., Кацман А.Д., Шидлович В.И., 1978. Автоматизированное управление обжигом при производстве цемента. Л., Стройиздат, 152.
- Iceleev R.I., Kacman A.D., Shidlovich V.I., 1978. Automated control of burning in cement production. Leningrad, Strojizdat, 152. (in Russian)
- Магергут В.З., Игнатенко В.А., Бажанов А.Г., Шаптала В.Г., 2013. Подходы к построению дискретных моделей непрерывных технологических процессов для синтеза управляющих автоматов. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, 2: 100-102.
- Magergut V.Z., Ignatenko V.A., Bazhanov A.G., Shaptala V.G., 2013. Approaches to the construction of discrete models of continuous processes for the synthesis of automatic control. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova [The Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov], 2: 100-102. (in Russian)
- Магергут В.З., Юдин Д.А., Бажанов А.Г., Порхало В.А., Копылов А.С., Степовой А.А., Ващенко Р.А., 2013. Интеллектуальная советующая система управления цементными вращающимися печами с применением технического зрения. Мир цемента, 2: 51-59.
- Magergut V.Z., Yudin D.A., Bazhanov A.G., Porhalo V.A., Kopylov A.S., Stepovoj A.A., Vashchenko R.A., 2013. Intelligent management tips system cement rotary kilns with machine vision. Mir cementa [Cement world], 2: 51-59. (in Russian)
- Магергут В.З., Юдицкий С.А., Перов В.Л., 1988. Построение логических моделей химико-технологических объектов (первичные и исходные модели). М., МХТИ им. Д.И. Менделеева, 80.
- Magergut V.Z., Yudickij S.A., Perov V.L., 1988. Building of a logical models for chemical and technological facilities (primary and original model). Moscow, MHTI im. D.I. Mendeleeva, 80. (in Russian)
- Bazhanov A.G., Magergut V.Z., Vashchenko R.A., 2015. Operation model of the cement kiln node "Material temperature in the drying zone" as a fuzzy behavior chart. Proceedings of The International Conference on Information and Digital Technologies IEEE Xplore, 35-38.
- Vashchenko R.A., Stepovoy A.A., Bazhanov A.G., Magergut V.Z., 2016. Application of the model based on fuzzy behavior charts in the advising control system of rotary cement kiln. Proceedings of The International Conference on Information and Digital Technologies IEEE Xplore.