

Л.А. Сугурова¹, Ж.А. Сугур², Ж.А. Исакулова¹

¹Таразский государственный университет имени М.Х. Дулати,
Республика Казахстан, Жамбылская область, Тараз, улица Желтоқсан, 71

²Евразийский университет имени Л.Н. Гумилева,
010000, Республика Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2

*e-mail: arman00796@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АГЛОМЕРИРУЮЩЕГО ОБЖИГА ФОСФОРИТОВОЙ МЕЛОЧИ КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация: Для обеспечения максимальной производительности агломашины служат системы автоматического контроля и управления процессом спекания, выполняющие операции подготовки шихты (увлажнения и окомкования), загрузки её на агломерационную машину, контроля теплового режима и оптимизации процесса спекания.

В работе определенное значение имеют также локальные схемы контроля и управления уровнем материалов в потоках и емкостях, а также системы управления отдельными механизмами агломерационной фабрики – дробилками, эксгаустерами, обжиговыми установками и др. Точность дозирования компонентов шихты влияет на качество готового агломерата и ход спекания на аглоленте. Постоянство химического состава шихты достигается дозировкой шихтовых материалов системой бункеров с питателями. Дозирование осуществляется по массе материалов с учетом их химического состава.

Ключевые слова: Агломерация, фосфоритовая мелочь, кокс, агломашина, шихта, объект управления.

Описание технологии процесса спекания

Процесс спекания агломерата начинается с зажигания верхнего слоя шихты, которое производится четырех горелочным камерным горном с торцевым расположением горелок, работающем на природном газе. Горн разделен на три секции: I секция – 4 горелки, II секция – 6 горелок и III секция – 4 горелки.

Шихта из бункера – воронки переносится барабанным питателем на наклонный лоток, с которого и укладывается на спекательные тележки. Высота слоя шихты регулируется положением шиберов от 330 до 400 мм, в зависимости от газопроницаемости. Если высоту слоя понизить, то понизится прочность агломерата, повысится удельный расход топлива и увеличится относительный выход возврата. Равномерное распределение шихты является одним из необходимых условий для нормального протекания процесса спекания [12].

Первая секция предназначена для зажигания шихты, остальные секции – для дополнительной подачи тепла, необходимого для зажигания последующих слоев и стабилизации процесса спекания.

В секциях установлены турбулентные горелки, работающие на природном газе. Воздух на горение подается вентилятором «ВМ 18А». Подача природного газа на секции горна осуществляется от межцехового газопровода через газорегуляторные установки, предназначенные для снижения давления газа до необходимого перед горелками и автоматического поддержания давления постоянным. Для исключения нагрева металлоконструкций горна смонтированы водяные холодильники.

Подача газа на горн допускается только при гарантии его воспламенения от пламени костра или от раскаленной поверхности шихты. Давление газа должно быть не ниже 300 мм. вод. ст. При падении давления газа ниже 300 мм. вод. ст. подача газа на горн прекращается и агломашина останавливается. В зоне зажигания путем регулирования подачи газа и воздуха следует поддерживать температуру в пределах 1300-1450⁰С. Для достижения такой температуры расход газа должен находиться в пределах 550-600 м³/ч, расход воздуха – 6500-7 000 м³/ч. Расход газа и воздуха контролируется приборами, а также по виду пламени: при избытке воздуха пламя становится синеватым, при недостатке воздуха пламя имеет светло-белый оттенок. Нормальное зажигание шихты достигается расходом необходимых

количеств газа и воздуха, необходимым распределением расхода газа и воздуха по горелкам, постоянством массовой доли влаги и углерода в шихте, равномерной загрузкой шихты на паллеты.

Процесс спекания агломерата ведется в соответствии с технологической картой, составленной исходя из состояния агломерационных машин, а также на основании нормативного расхода шихтовых материалов [13].

Скорость движения агломашин регулируется в основном скоростью фильтрации дымовых газов. Основные физико-химические превращения происходят в зоне плавления и интенсивного нагрева. Химические соединения, образующиеся при этих процессах, определяют как конечный состав агломерата.

Двуокись углерода образуется как за счет сгорания мелочи кокса (антрацита), так и в следствие декарбонизации фосфорита, которая достигает 95%. Полнота декарбонизации является одним из показателей качества агломерата, так как применение декарбонизированного сырья в фосфорных печах снижает расход электроэнергии, уменьшает количество печных газов, способствует улучшению качества фосфора.

Недопустима работа агломашин с недопеком шихты. В случае резкого увеличения количества топлива в шихте необходимо снизить скорость движения агломашины для пропекания слоя шихты.

Признаком, по которому можно судить о содержании углерода в шихте, является зона раскаленной поверхности спека после выхода из-под горна. При нормальном ходе процесса (при оптимальном содержании углерода в шихте, оптимальной скорости агломашины и пр.) спек должен быть на изломе равномерно пропечен по всей высоте и ширине пирога – не должно быть непропеченной шихты [7]. При избытке топлива спек получается сильно оплавленным, с большими порами и может частично привариваться к колосникам.

Температура отходящих газов является одним из основных показателей хода процесса спекания и зависит: от массовой доли топлива в шихте, от законченности процесса спекания, от количества вредных прососов воздуха, от высоты слоя.

Температура отходящих газов перед эксгаустером должна быть не ниже 75⁰С. Температура отходящих газов ниже указанной недопустима, т.к. ведет к возможности конденсации влаги, что способствует засорению тракта газоочистки и залипанию лопаток ротора эксгаустера. Оптимальное разрежение в зоне спекания составляет 800-100 мм. вод. ст., при этом разрежение по вакуум-камерам зоны спекания (кроме первой и последней) должно быть на 100-150 мм. вод. ст. ниже, чем в зоне спекания агломерата. Понижение разрежения в зоне спекания указывает на повышение газопроницаемости шихты или на увеличение вредных прососов в газоотводящих трактах [10, 11].

По мере движения тележек к хвостовой части машины горение коксика с верхнего слоя распространяется в нижние слои; этому способствует размещение под тележками вакуум-камер, в которых при помощи эксгаустера создается разрежение до 10000 Па.

Образовавшийся на агломашине спек с температурой не более 1000⁰С непрерывно поступает на одновалковую модернизированную зубчатую дробилку. После дробления агломерат крупностью не более 0,2 м через течку поступает на прямолинейный охладитель. На прямолинейном охладителе «ОП-4-315» происходит охлаждение агломерата до температуры не более 100 ⁰С. Охладитель представляет собой конвейер с полотном, состоящим из двух бесконечных цепей и колосниковых решеток с бортами между ними.

Охлажденный агломерат с охладителя поступает на самобалансный откатной грохот. Надрешетный продукт направляется в двухвалковую дробилку, а подрешетный продукт поступает на конвейера, которыми транспортируется в отделение грохочения агломерата.

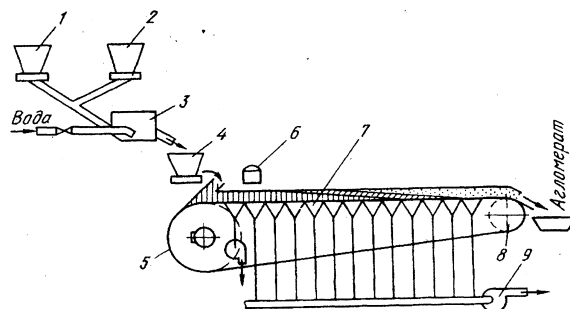
Годным является агломерат фракции 6-120 мм, обеспечивающий достаточную газопроницаемость и реакционную способность печной шихты. Образующийся при сортировке продукт фракции 0-6 мм представляет собой «холодный» возврат и используется в составе агломерационной шихты. Фракция агломерата 80-160 мм предусматривает возможность подачи агломерата для «постели» при спекании.

Продукты сгорания и воздух из вакуум-камер по коллектору поступают на очистку в циклоны и удаляют эксгаустером через трубу [6].

Характеристика и конструкция агломашин

Самым распространенным способом агломерации является спекание на ленточных агломерационных машинах непрерывного действия, при котором через слой спекаемых

материалов просасывается воздух. Именно такой тип агломерационной машины установлен на НДФЗ. Он представляет собой подвижную ленту, состоящую из каркаса, спекательных тележек, приводов, питателей шихты и «постели», зажигательного горна, вакуум-камер и системы смазки (рис. 1).



1, 2 – бункеры, 3 – барабанный смеситель, 4 – промежуточный бункер,
5 – ведущий барабан, приводится в движение двигателем постоянного тока, 6 – зажигательный горн,
7 – вакуум-камеры, 8 – ведомый барабан машины, 9 – эксгаустер

Рисунок 1 – Ленточная агломерационная машина непрерывного действия

Спекательная тележка (полета) представляет собой стальную раму, смонтированную на четырех роликоопорах, с боковыми бортами, внутри которой уложены колосники [4, 9].

Под процессом спекания понимают совокупность превращений при которых сжигаемое просасываемое воздухом твердое топливо в слое шихты обеспечивает развитие высоких температур в зоне горения и оплавление материалов. В результате получается спек, обладающий необходимыми физико-химическими свойствами. Основными параметрами, характеризующими процесс спекания являются температура поверхности зажженной шихты, высота слоя, скорость спекания, температура в зоне горения, время пребывания шихты на ленте (скорость ленты) и степень законченности спекания [5].

Начальной стадией спекания является зажигание шихты, при котором необходимо воспламенить частицы содержащегося в ней топлива и внести в слой количество тепла, обеспечивающее дальнейшее развитие горения. Наряду с обеспечением необходимых температуры и количества тепла следует иметь в зажигательном горне соответствующий состав продуктов сгорания с тем, чтобы в них содержалось достаточное количество кислорода, идущего на сжигание топлива в слое [7].

Чтобы в горн не подсасывался со стороны холодный воздух или не выбивалось из него пламя, особенно со стороны бортов тележек, необходимо поддерживать определенное давление, а для обеспечения перемещения зоны горения и просасывания газов через слой создавать в вакуум-камерах под горном соответствующее разрежение.

При зажигании шихты основными факторами являются температура поверхности и количество тепла, аккумулируемое в верхнем слое шихты. Определенное влияние на процесс зажигания оказывает величина разрежения под зажигаемым слоем. При слишком малом разрежении продукты горения просасываются медленно, что приводит к замедлению процесса зажигания, особенно скорости теплопередачи в нижние горизонты слоя, а также снижению скорости перемещения фронта горения твердого топлива. При повышенном разрежении теплопередача осуществляется слишком быстро, фронт горения отстает, концентрация тепла в зажигаемом слое снижается, в результате чего спек получается непрочным [13].

Спекание шихты ведется на колосниковой решетке паллет агломерационной машины методом просасывания воздуха. Просасываемый через слой шихты воздух образует зону горения высотой 15-35 мм с температурой 1400-1600°C, передвигающуюся вниз с вертикальной скоростью спекания $w_c = 0,15 \div 0,7$ мм/с. Спекаемая шихта перемещается от головной к хвостовой части машины со скоростью движения аглоленты $w_d = 60 \div 120$ мм/с. В таких условиях зона горения приобретает форму наклонного плоского слоя (рис. 2). В зоне длиной l_3 происходит зажигание сырой шихты 1; в зоне горения 2 осуществляется спекание шихты на участке длиной l_c ; готовый агломерат 4 образуется за зоной спекания. На участке

длиной l_o агломерат охлаждается просасываемым воздухом. Сырая шихта и агломерат размещается на постели 3.

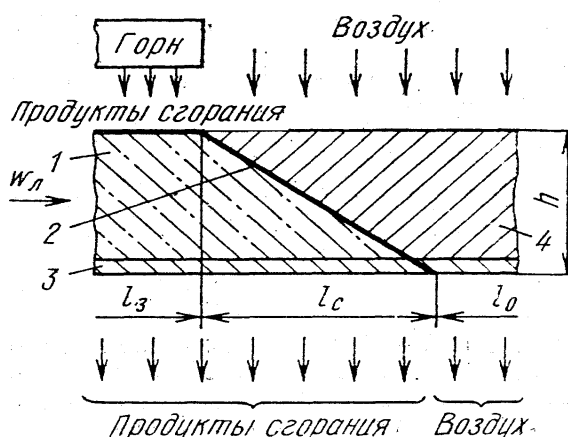


Рисунок 2 – Схема спекания шихты на агломашине

Основные параметры агломерационного процесса при установившемся режиме связаны соотношением:

$$\frac{l_c}{\varpi_l} = \frac{h}{\varpi_c} = \tau_c, \quad (1)$$

где h – высота слоя шихты; τ_c – время спекания

Скорость движения ϖ_l поддерживается такой, чтобы процесс спекания заканчивался на заданной длине спекания l_c . В зоне горения спекаемый материал сплавляется, образуя пористый агломерат.

Температура регулируется в ходе всего процесса спекания, т.к. от этого зависит качество спекаемой шихты. При нормальном ходе процесса спекания агломерат равномерно спечен и при выдаче с ленты раскален не более чем на 1/3 высоты «пирога». На незаконченность процесса спекания указывает низкая температура отходящих газов в последних вакуум-камерах и наличие не спекшейся шихты в изломе «пирога» у колосников паллет. Повышение температуры отходящих газов в коллекторе происходит вследствие замедления скорости движения паллет или кратковременной остановки агломерационной машины; повышения газопроницаемости шихты. Понижение температуры отходящих газов в коллекторе имеет место при: уменьшении содержания топлива в шихте по сравнению с оптимальным; переплавление поверхности слоя шихты из-за высокой температуры зажигания; наличие большого количества вредных прососов воздуха; завышение скорости движения паллет [8, 14].

Агломерационная машина является многопараметровым объектом, в котором две основные выходные величины – производительность агрегата и качество конечного продукта, при этом эти параметры существенно зависят от ряда входных воздействий: горизонтальной скорости движения агломерационной ленты, высоты спекаемого слоя, производительности эксгаустера, условий зажигания и физико-химических свойств шихты. Три последних входных величины можно заменить одним комплексным параметром – вертикальной скоростью спекания, а в качестве единого выходного параметра целесообразно принять активную длину агломерационной машины, в пределах которой завершается процесс спекания.

Процесс производства агломерата протекает в условиях возмущающих воздействий: изменения химико-минералогического и зернового состава компонентов спекаемой шихты, условий дозирования, транспортирования, смешения и увлажнения шихты, а также укладки шихты на агломерационную машину. Для устранения влияния возмущений на ход технологического процесса используют следующие основные управляющие воздействия: соотношение (дозирование) компонентов спекаемой шихты, содержание углерода (коксика)

в шихте, влажность шихты, скорость движения аглоленты, разрежение в вакуум камерах и др.

Характеристика технологического процесса как объекта управления

Особенности процесса спекания и агломашины как объекта автоматического управления можно сформулировать следующим образом:

- агломашина представляет собой систему, характеризующую многими входными и выходными параметрами;
- процесс непрерывный;
- работа агломашины подвержена резким возмущениям, связанным с произвольным изменением расхода шихты, запаздыванием системы и т.д.

Вывод

Агломерационный процесс в целом характеризуется наличием обратных связей. Так, при неравномерной укладке шихты на аглоленту при изменении газопроницаемости отдельного участка шихты воздушные потоки по всей длине аглоленты перераспределяются, что создает эффект внутренних обратных связей. Значительное влияние на ход процесса оказывает добавка в шихту возврата. Наличие обратных связей значительно усложняет и затрудняет исследование процесса и его оптимизацию.

Входные параметры: влажность шихты; газопроницаемость шихты; содержание углерода в шихте; высота слоя шихты; скорость движения аглоленты; производительность эксгаустера; условия зажигания – температура горна (температура среды в горне), температура зажигания (температура над поверхностью спекаемой шихты), обобщенная температура, измеряемая при помощи термопары, установленной в середине горна, температура поверхности аглошихты; расход топлива; расход воздуха; расход компрессорного воздуха; расход воды на газоочистку, на скрубберы; длина аглоленты [1-3].

Выходные параметры: скорость спекания; состав и температура отходящих газов; разрежения в вакуум-камерах; температуры в вакуум-камерах; время пребывания шихты на аглоленте.

Возмущающие воздействия: изменение состава шихты; изменение влажности шихты; изменение степени уплотнения шихты; изменение высоты слоя шихты; изменение скорости движения аглоленты; подсосы холодного воздуха; изменение разрежения над зажигаемым слоем; изменение соотношения топливо-воздух.

Наиболее распространенным управляющим воздействием в системе автоматического управления процессом спекания является изменение скорости аглоленты.

Список литературы

1. Сулейменов Б.А. Интеллектуальные и гибридные системы управления технологическими процессами. – Алматы: Шикүла, 2009. – 298 с.
2. Титов А.Р., Коркушев Д.Н., Широков А.В. Разработка и внедрение интеллектуальной системы диагностики мощных силовых трансформаторов. – Казань: Сетевая компания. – 2006. – 138 с.
3. Андрейченков А.В.. Интеллектуальные информационные системы. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 424 с.
4. Сулейменов Б.А., Мутанов Г.М., Сулейменов А.Б. Интеллектуальные системы управления: теория, методы, средства – Алматы: Казак университеті. – 2012. – 223 с.
5. Suleimenov B.A., Sugurova L.A., Suleimenov A. B. Intelligent and Hybrid Systems of Process Control: Theory, Methods, Applications// Mediterranean Journal of Social Sciences. – 2015, January – Vol 6, № 2.
6. Suleimenov B.A., Sugurova L.A., Turynbetov N., Suleimenov A.B., “Concept of developing an intelligent system for control and operational diagnostics of technological equipment condition”, Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Ęrodowiska – 2014. – №1. – P. 279.
7. Savchuk Tamara, Kozachuk Andriy, Gromaszek Konrad, Sugurova Laura. Identification of technogenic emergency situations in railway // PrzeglĘd elektrotechniczny. – 2014. – Vol.90, № 11. – P. 177-184.
8. Savchuk Tamara, Kozachuk Andriy, Gromaszek Konrad, Sugurova Laura. Forecasting the state of technogenic emergency situation on the railway transport using data mining technologies // PrzeglĘd elektrotechniczny. – 2014. – Vol.90, № 1. – P. 50-54.

9. Batyrbek Suleimenov, Laura Sugurova, Aituar Suleimenov, Alibek Suleimenov// Neuro Fuzzy Model For Equipment Health Management in Yellow Phosphorus Production Process// Journal of Engineering and Applied Sciences Year: 2017, Volume: 12 Issue: 26. Page No.: 7889-7896.
10. Batyrbek Suleimenov, Laura Sugurova, Aituar Suleimenov, Alibek Suleimenov. Intelligent Systems for Equipment Health Management and Optimum Control in Phosphate Production// Journal of Engineering and Applied Sciences Year: 2018 | Volume: 13 | Issue: 3 | Page No.: 607-618 DOI: 10.3923/jeasci.2018.
11. Batyrbek Suleimenov, Laura Sugurova, Aituar Suleimenov, Alibek Suleimenov Oxana Zhirnova. Synthesis of the equipment health management system of the 3 turbine units' of thermal power stations// Mechanics & Industry Vol, No (2018) © AFM, EDP Sciences 2018 <https://doi.org/10.1051/meca/2017056>
12. Технологический регламент цеха по производству желтого фосфора для ТОО «Казфосфат» НДФЗ. – Л.: Лен НИИ Гипрохим, 1987. – 187 с.
13. Ершов В.А. Исследование процесса электротермической переработки фосфоритов Каратау. – Л.: ЛТИ им. Ленсовета, 1973. – 236 с.
14. Патрушев Д.А. Некоторые вопросы взаимосвязи между физико-химическими и электрическими явлениями в фосфорной печи. – Свердловск: УПИ имени С.М. Кирова, 1958. – 224 с.

Л.А. Сугурова¹, Ж.А. Сугур², Ж.А. Исакулова¹

¹М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті,
Қазақстан Республикасы, Жамбыл облысы, Тараз, Желтоқсан көшесі, 71

²Л.Н. Гумилев атындағы Евразия университеті,
010000, Қазақстан Республикасы, Нұр-сұлтан Қ., Сәтбаев к-сі, 2

*e-mail: arman00796@mail.ru

БАСҚАРУ ОБЪЕКТІСІ РЕТІНДЕ ФОСФОРИТТІ ҰСАҚ ЗАТТАРДЫ АГЛОМЕРАЦИЯЛАЙТЫН КҮЙДІРУ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа: Агломерашиндердің ең жоғары өнімділігін қамтамасыз ету үшін Шихтаны дайындау (ылғалдандыру және майсыздандыру), оны агломерациялық машинаға жүктеу, жылу режимін бақылау және күйдіру процесін оңтайландыру операцияларын орындайтын күйдіру процесін автоматты бақылау және басқару жүйелері қызмет етеді.

Жұмыста ағындар мен ыдыстардағы материалдардың деңгейін бақылау мен басқарудың жергілікті схемалары, сондай-ақ агломерациялық фабриканың жеке механизмдерін-ұнтақтағыштарды, эксгаустерлерді, күйдіру қондырғыларын және т.б. басқару жүйелері белгілі бір мәнге ие. Шикіқұрамның химиялық құрамының тұрақтылығына қоректендіргіші бар бункерлер жүйесімен шикіқұрам материалдарын мөлшерлеу арқылы қол жеткізіледі. Мөлшерлеу материалдардың массасы бойынша олардың химиялық құрамын ескере отырып жүзеге асырылады.

Түйін сөздер: агломерация, фосфоритті ұсақ-түйек, кокс, агломерашина, шихта, басқару объектісі.

L. Sugurova¹, Zh. Sugur², Zh. Issakulova¹

¹Taraz State University named after M.H. Dulati,
Republic of Kazakhstan, Zhambyl region, Taraz, Zheltoksan Street, 71

²The Eurasian University named after L.N. Gumilyov,
010000, Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan, Satpayev str., 2

*e-mail: arman00796@mail.ru

STUDY OF THE PROCESS OF SINTERING PHOSPHORITE WITH AGGLOMERATION OF SMALL SUBSTANCES AS A CONTROL OBJECT

Abstract: To ensure the highest productivity of agglomerashins, Automatic Control and control systems of the annealing process are used, which perform the operations of preparing the charge (humidification and degreasing), loading it into the agglomeration machine, monitoring the thermal regime and optimizing the annealing process.

Local schemes for monitoring and controlling the level of materials in streams and vessels, as well as control systems of individual mechanisms of the agglomeration factory – crushers, exhalators, firing units, etc., have a certain significance in the work. The stability of the chemical composition of the charge is achieved by dosing the charge materials with a system of bunkers with feeders. Dosing is carried out by mass of materials taking into account their chemical composition.

Key words: Agglomeration, phosphorite small – scale, Coke, agglomerate, charge, management object.

Сведения об авторах

Лаура Алхайдаровна Сугурова – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телекоммуникация», Таразский государственный университет имени М.Х. Дулати, Республика Казахстан. ORCID: 0000-0003-4784-9952.

Жарқынай Алхайдаровна Сугур – старший преподаватель кафедры «Системный анализ и управление», Евразийский университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан.

Жанат Абдибекқызы Исакулова – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телекоммуникация», Таразский государственный университет имени М.Х. Дулати, Республика Казахстан. e-mail: iszhan@mail.ru.

Авторлар туралы мәліметтер

Лаура Алхайдаровна Сугурова – «Автоматика және телекоммуникация» кафедрасының аға оқытушысы, М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Қазақстан Республикасы. ORCID: 0000-0003-4784-9952.

Жарқынай Алхайдарқызы Сүгір – «жүйелік талдау және басқару» кафедрасының аға оқытушысы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия университеті, Қазақстан Республикасы.

Жанат Әбдібекқызы Исакулова – «Автоматика және телекоммуникация» кафедрасының аға оқытушысы, М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Қазақстан Республикасы. e-mail: iszhan@mail.ru.

Information about the authors

Laura Alkhaidarovna Sugurova – Senior Lecturer of the Department of Automation and Telecommunications, M.H. Dulati Taraz State University, Republic of Kazakhstan. ORCID: 0000-0003-4784-9952.

Zharkynai Alkhaydarovna Sugur – Senior Lecturer of the Department of "System Analysis and Management", L.N. Gumilev Eurasian University, Republic of Kazakhstan.

Zhanat Abdibekkyzy Isakulova – Senior Lecturer of the Department of Automation and Telecommunications, M.H. Dulati Taraz State University, Republic of Kazakhstan. e-mail: iszhan@mail.ru.

Материал поступил в редакцию 17.02.2021 г.

МРНТИ: 50.43.19

Л.А. Сугурова¹, Ж.А. Сугур², Ж.А. Исакулова¹

¹Таразский государственный университет имени М.Х. Дулати, Республика Казахстан, Жамбылская область, Тараз, улица Желтоқсан, 71

²Евразийский университет имени Л.Н. Гумилева, 010000, Республика Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2

*e-mail: arman00796@mail.ru

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПФЭ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

Аннотация: Матрица ПФЭ реализует все возможные неповторяющиеся комбинации уровней K независимых факторов, каждый из которых может варьироваться