

В. П. СТЯЖКИН, канд. техн. наук, ст. научн. сотр. ИЭД НАН Украины, Киев

П. П. ПОДЕЙКО, вед. инж. ИЭД НАН Украины, Киев

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ БАЗАЛЬТОГО СУПЕРТОНКОГО ВОЛОКНА

Введение. Применение базальтовых волокнистых материалов для теплоизоляции теплотехнического оборудования (печей, сушильных барабанов, циклонов), холодильных установок на объектах промышленной эксплуатации, ТЭС, АЭС позволяет значительно сократить тепловые потери, а значит непроизводительный расход топлива и электроэнергии. При этом все больше ужесточаются технические требования к теплоизоляционным волокнистым материалам. Так на АЭС, где температура изолируемой поверхности оборудования достигает 1000°C, предъявляются особые требования по надёжности материала и сроку его эксплуатации в связи с воздействием на них радиоактивного облучения. Базальтовые супертонкие волокна (БСТВ) по своим химико-технологическим свойствам наиболее подходящий теплоизоляционный материал для указанных производств. Технология производства таких материалов и изделий из них отработана и хорошо известна [1, 2], однако далека от совершенства.

Постановка задачи. Проблема оптимального управления технологической установкой по производству базальтовых супертонких волокон с целью повышения качества выпускаемой продукции, снижения удельных энергозатрат, повышение производительности установки является одной из важнейших задач при модернизации технологического процесса производства БСТВ. Чтобы достичь качественных сдвигов в совершенствовании технологического процесса получения БСТВ, необходима полная управляемость параметрами процесса и информационная обеспеченность (средства контроля и управления рядом важнейших параметров процесса). Решение указанной проблемы позволит повысить эффективность установок по производству БСТВ.

Материалы исследования. Последовательность технологических операций и параметров при производстве БСТВ отражена на рис. 1. Установка по производству БСТВ функционально показана на рис. 2.

Технологические операции производства БСТВ	Технологические параметры
Подготовка шихты (базальтовой крошки) – дробление, просеивание, промывание водой	
↓	
Загрузка шихты в печь механическим загрузчиком	Интервал включения сбрасывателя загрузчика – 15...45 с
↓	
Плавление шихты в плавильной печи и подготовка расплава в фидере к выработке	Температура в печи – 1360...1450 °C Уровень расплава – 15...30 мм
↓	
Формирование первичных грубых волокон фильерным питателем и их непрерывное вытягивание	190 фильер диаметром – 2...2,2 мм Температура питателя – 1300...1320 °C Ток перв. обм. трансформатора – 46...53 А Скорость вытягивания – 3,5...6,5 м/мин Диаметр первичного волокна – 120...300 мкм
↓	
Раздув первичных волокон на штапельное волокно в камере раздува	Скорость газового потока – 300 ± 30 м/с Температура потока – 1550...1750 °C Размер штапельного волокна – 0,5...3 мкм
↓	
Формирование волокнистого холста (по ширине, длине, толщине и плотности) на приемформирующем барабане или конвейере	Толщина холста – 100...150 мм Плотность холста – 15...30 кг/м ³

Рис.1 Последовательность технологических операций и параметров производства БСТВ

© В.П. Стяжкин, П.П. Подейко, 2015

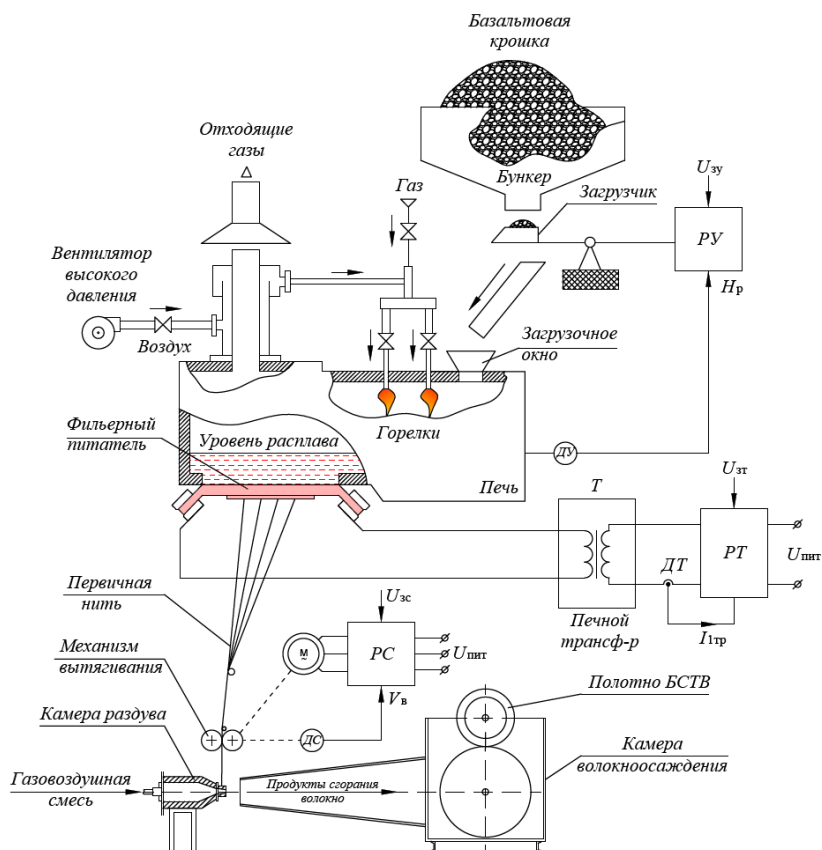


Рис.2 Функциональная схема установки по производству БСТВ

В производстве БСТВ до недавнего времени основными задачами усовершенствования технологического процесса считались повышение производительности установки и улучшение качества волокна, при этом уменьшению энергозатрат на производство единицы продукции отводилась второстепенная роль.

Уровень автоматизации технологического процесса производства БСТВ не позволяет пока обеспечить одномоментное эффективное решение этих задач. Это отчасти объясняется тем, что установка по производству БСТВ при кажущейся внешней простоте, как объект управления, представляет собой сложную нелинейную систему с перекрестными зависимостями технологических параметров, а формирование контуров регулирования этих параметров усложняет синтез САУ в ее классическом виде.

В данной работе предлагается один из путей формирования АСУ ТП производства БСТВ, выделяющий контуры регулирования технологических параметров с наибольшим весовым коэффициентом и связывающий эти параметры с электрическими переменными системы управления установкой по производству БСТВ.

Для определения этих контуров регулирования проведем анализ влияния основных технологических параметров на производительность установки, качество волокон и удельные интегральные энергозатраты при производстве БСТВ. При анализе не рассматриваем начальную и конечную технологические операции производства БСТВ, такие как подготовка шихты (базальтовой крошки) и формирование волокнистого холста. Их успешное выполнение зависит, в основном, от глубины проработок технологии изготовления БСТВ химиками-технологами и квалификации персонала производства БСТВ [3,4].

Формирование волокна БСТВ, в первую очередь, зависит от свойств (качества) расплава [1-4]:

- химической однородности (неоднородность по вязкости приводит к обрывности волокон);
- термической однородности (перегретые и переохлажденные участки в расплаве вызывают неоднородности по вязкости, так как температура и вязкость расплава взаимосвязаны);
- отсутствие твердых и газовых включений (пузырьки и твердые включения (камни) вызывают обрывность волокон и их ломкость);
- оптимальная вязкость (чем ниже температура, при которой достигается оптимальная вязкость, тем больше срок службы волоконообразующих узлов, экономичнее процесс волоконообразования);
- отсутствие кристаллизации (в интервалах температур, при которых достигается рабочая вязкость, не должна проходить кристаллизация расплава, так как это приводит к обрывности волокон).

Плавление шихты и образование расплава производится в плавильной печи (рис. 2), которая состоит из загрузочной, топочной, плавильной и выработочной частей, объединенных в один каркас [2,4].

В плавильной части печи формируется расплав (диапазон поддержания технологических параметров температуры и уровня расплава указаны на рис.1).

В выработочной части печи, совмещенной с фильерным питателем, готовится расплав к выработке, то есть формируется расплав до рабочей вязкости его истечения путем регулирования температуры разогрева фильер.

В загрузочной части обеспечивается равномерная загрузка печи шихтой для поддержания нормального процесса плавления и заданной непрерывной выработки (истечения) волокнистого материала. От его работы зависит стабильность температурного режима плавления и уровень расплава.

В топочной части печи обеспечивается непрерывная подача газа и воздуха, формируется факел пламени. Для улучшения условий теплопередачи применяется вертикальное направление факела, позволяющее увеличить конвективную составляющую теплообмена. Это позволяет при непрерывной бескучевой подаче шихты на поверхность расплава, увеличить удельный объем расплава и уменьшить удельный расход тепла. При этом интенсивное плавление происходит теплопередачей от пламени конвективным и лучистым теплом, а также от раскаленного расплава через развитую поверхность частиц шихты, попадающих в зону температурного максимума.

Жаростойкий фильерный питатель (рис.2) формирует непрерывные первичные волокна из расплава. Вторичный ток трансформатора (до 2000А), протекая по фильерам питателя, разогревает их до температуры 1300-1320°C, необходимой для непрерывного истечения расплава. Чем выше температура питателя, тем интенсивнее истечение расплава из фильер, но при этом усиливается явление смачиваемости расплавом поверхности фильер, делающее невозможным процесс образования первичных волокон. Даже при оптимальных температурах нагрева фильер и расплава происходит постепенное заплывание его расплавом, требующее периодической очистки [4].

Расплав выходит из фильерного питателя под действием собственного веса, поэтому вторым фактором стабильности процесса получения первичных волокон является уровень расплава. Свойства расплава базальта (высокая температура кристаллизации, малый интервал рабочих температур) делают процесс получения первичных волокон очень чувствительным к изменениям параметров режима, и поэтому уровень расплава имеет важнейшее значение. При малом уровне расплава может быть недостаточным гидростатический напор, и снижается дебит расплава через фильеры. При увеличении уровня дебит расплава увеличивается, но при этом нарастает вязкость расплава, возникает температурная неоднородность и кристаллизация [4,5].

Механизм вытягивания (рис.2) участвует в формировании первичных волокон и подает образованные на фильерном питателе волокна на раздув. Основным рабочим органом механизма вытягивания является пара обрешинных валиков, посредством которых равномерно распределенные по их длине первичные волокна направляются в сопло горелки раздува. От скорости вращения приводных валиков, правильности расположения их относительно входной щели сопла горелки раздува, а также от качества поверхности валиков зависит качество раздува волокна [4,5].

Производительность процесса формирования первичных волокон не зависит от скорости вращения валиков, а только от дебита расплава через фильеры под действием его веса. Но в зависимости от скорости вращения валиков из этого дебита можно получить первичное волокно большего или меньшего диаметра.

При производстве БСТВ основные энергозатраты: природный газ и сжатый воздух для плавления исходного сырья (базальтовой крошки) и для плавления первичных базальтовых нитей при получении элементарных волокон; электрическая энергия для подогрева фильерного питателя и приведения в действие электродвигателей узла вытягивания нитей и приемного барабана; технологическая вода для охлаждения отдельных узлов оборудования.

Оптимизируя технологический процесс производства БСТВ, разработчики-технологи чаще направляют свои действия на усовершенствование плавильной печи и фильерных питателей, их конструкций, замену материалов для изготовления фильерных питателей на дешевые жаростойкие материалы, усовершенствование горелок раздува, на новые методы и методики контроля и формирования составляющих процесса получения БСТВ [2,5,6]. Но мало кто обращал внимание на оптимизацию управления существующих установок по производству БСТВ, используя контроль и согласованное управление в рамках АСУТП наиболее значимых весомых технологических параметров, которые дают наибольший эффект при решении задач повышения производительности установки, улучшения качества волокна и уменьшения энергозатрат.

В установках БСТВ предусмотрены обычно следующие основные системы ручного управления и визуального контроля технологических параметров: давление газа и воздуха, поступающих в плавильный агрегат; температура и уровень расплава в печи; ток первичной обмотки печного трансформатора нагрева фильерной пластины и связанная с ним температура фильеры; скорость вращения вытяжных валков; давление газа и воздуха камеры раздува. Если по параметрам потоков газа и воздуха в плавильном агрегате и камере раздува установить современные датчики и регулирующие механизмы, то можно на базе специализированных контроллеров соотношения газ-воздух эффективно решить задачу уменьшения энергозатрат.

Проведенный анализ показывает, что наиболее весомыми параметрами технологии производства БСТВ являются температура и уровень расплава, температура фильерных пластин и скорость вращения вытяжных валков. Поэтому можно формировать ядро АСУТП с соответствующими контурами регулирования и FUZZY LOGIC контроллером, реализующим оптимальное управление установкой по производству БСТВ по выбранным критериям – производительности установки и качеству волокна. Очевидно, что физические величины технологических параметров должны быть преобразованы в электрические сигналы, их связи - формализованы в виде таблиц значений или функциональных графиков, а критерии оптимальности иметь четкую числовую ха-

рактическую. Пример формирования ядра АСУТП производства БСТВ показан на рис. 3.

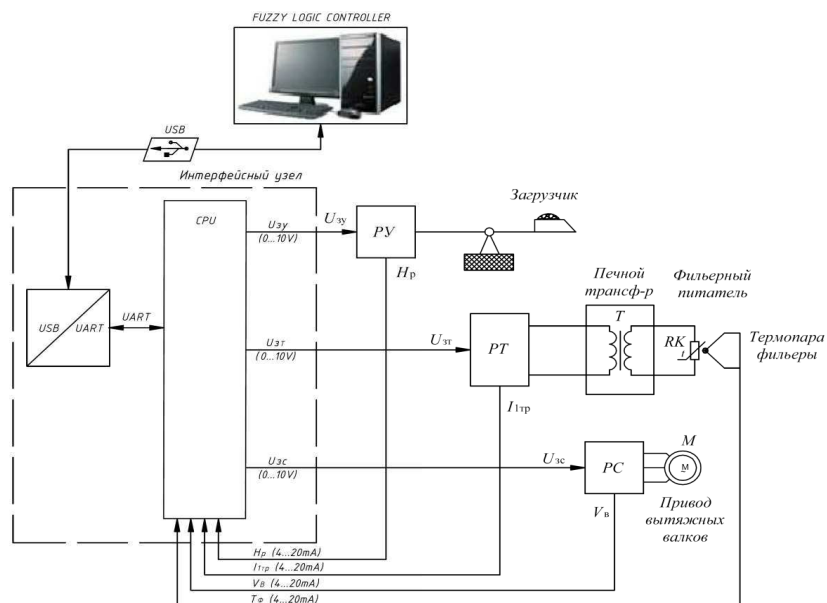


Рис. 3 Пример функциональной схемы формирования ядра АСУТП производства БСТВ

Анализ также показывает, что процессу производства БСТВ присущ существенный отрицательный, с точки зрения теории управления, фактор – нестационарность описания объекта, взаимное влияние управляемых переменных состояния, задействованных в разных независимых контурах регулирования (например, контур нагрева фильерной пластины и механизм вытягивания первичных волокон связаны с нагревом базальтового расплава и его уровнем в печи).

Эта проблема решается как программно-аппаратными средствами ядра АСУТП, так и применением простых средств ограничения взаимного влияния параметров. Формирование токовой системы питания фильерного питателя нивелирует отрицательное действие изменений сопротивления фильеры вследствие флуктуаций, возникающих при формировании расплава и изменений характеристик питающей электрической сети [7,8].

Список литературы: 1. *Волынский А.К.* Основы технологии получения базальтовых волокон и их свойства / *А.К. Волынский и др.* – К.: Научная мысль, 1980. – С.54-81. 2. *Полевой П.П.* Исследования процесса плавления и раздува первичных волокон высокотемпературным газовым потоком / *П.П. Полевой, В.И. Родионов, Б.И. Кирх* // ИЭД НАН Украины. – 1981. – 28 с. 3. *Новицкий А.Г.* Базальтовое сырьё. Технология выбора для производства волокон различного назначения / *А.Г. Новицкий, В. Л. Мазур* // Хімічна промисловість України. – 2003. – №2. – С.47-52. 4. Короткий курс навчання операторів, налагоджувальників, майстрів виробництва базальтових супертонких штапельних волокон (БСТВ) / Система управління якістю. Інструкція // ВКП «Чернівецький завод теплоізоляційних матеріалів», 2014. – 47 с. 5. *Федоткин И.М.* Влияние технологических параметров на диаметр и качество базальтового волокна / *И.М.Федоткин и др.* // Химическое машиностроение. – 1987. – №46. – С. 33-39. 6. *Шиляев А.И.* Методика контроля процесса получения базальтового волокна дуплекс-способом / *А.И. Шиляев, К.П. Широков* // Интеллектуальные системы в производстве. – 2010. – №2(16). – С. 77-81. 7. *Стяжкин В.П., Подейко П.П.* Тиристорные регуляторы тока в электротермических установках плавления и модификации материалов// Праці ІЕД НАН України. – Київ, 2008. – № 20. – С.59. 8. *Стяжкин В.П., Подейко П.П.* Адаптивная система регулирования тока трансформатора в электротермических установках плавления // Технічна електродинаміка/ Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність». – Київ, 2009. – Частина 5. – С. 109-110.

Bibliography (transliterated): 1. Volynskiy A.K. "Osnovy tekhnologii polucheniya bazal'tovykh volokon i ikh svoystva." Kiev: Nauchnaya mysl', 1980. 54-81. Print. 2. A. G. Novitskiy., V. L. Mazur. "Bazal'tovoe syr'ye. Tekhnologiya vybora dlya proizvodstva volokon razlichnogo naznacheniya." Khimichna promislivost' Ukrainy. No 2. 2003. 47-52. Print. 3. "Korotkyy kurs navchannya operatoriv, nalagodzhuvальників, майстрів виробництва базальтових супертонких штапельних волокон (БСТВ). Sistema upravlinnya yakistyu." Instruktziya VKP Chernivets'kyi zavod teploizolyatsiynykh materialiv. 2014. 47. Print. 4. Polevoy P.P. and V.I. Rodionov, B.I. Kirkh "Issledovaniya protsessu plavleniya i razduva pervichnykh volokon vysokotemperaturnym gazovym potokom / IED NAN Ukrainy 1981. 28. Print. 5. Fedotkin I.M. "Vliyaniye tekhnologicheskikh parametrov na diametr i kachestvo bazal'tovogo volokna." Khimicheskoe mashinostroenie. No 46. 1987. 33-39. Print. 6. Shilyaev A.I. and K.P. Shirokov. "Metodika kontrolya protsessu polucheniya bazal'tovogo volokna dupleks-sposobom." Intellektual'nye sistemy v proizvodstve. No2(16). 2010. 77-81. Print. 7. Styazhkin V.P., Podayko P.P. "Tiristornye regulatory toka v elektrottermicheskikh ustanovkakh plavleniya i modifikatsii materialov". Pratsi IED NAN Ukrainy. Kyiv. No 20. 2008. 59. Print. 8. Styazhkin V.P., Podayko P.P. "Adaptivnaya sistema regulirovaniya toka transformatora v elektrottermicheskikh ustanovkakh plavleniya." Tekhnichna elektrodynamika. Tematichnyy vypusk "Sylovaelektronika ta enerhoefektyvnist'". Kyiv. Chastyna 5. 2009. 109-110. Print.

Поступила (received)