

УДК 001.891.572

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ АВТОКЛАВА
В ПРОГРАММЕ ITHINK**

**SIMULATION MODEL OF AN AUTOCLAVE OPERATION
USING ITHINK SOFTWARE**

Е.А. Муравьева, С.А. Шокуров

**Уфимский государственный нефтяной технический университет,
филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация**

Elena A. Muravyova, Sergey A. Shokurov

**Ufa State Petroleum Technological University,
Branch, Sterlitamak, Russian Federation**

e-mail: muraveva_ea@mail.ru

Аннотация. В данной научной работе рассматривается имитационная модель работы автоклава и регулировка температуры в автоклаве, которые, в зависимости от ряда входных параметров, позволяют симитировать процесс работы автоклава, проанализировать динамику его работы по часам на основе графических данных, а также смоделировать взаимное влияние регулировочных контуров друг на друга.

При разработке модели использовались доступные материалы по изготовлению шлакоблоков в автоклаве из золошлаковых материалов теплоэлектростанций (ТЭЦ г. Кумертау). Учтено также взаимное влияние контуров регулирования в автоклаве.

Модель создана в программе имитационного моделирования iThink. Представлен анализ полученной модели, по которой можно судить об ее адекватности и работоспособности.

Abstract. In this scientific work, we consider a simulation model of the autoclave and temperature control in the autoclave, which, depending on a number of input parameters, allow you to simulate the process of the autoclave, analyze the dynamics of its operation by the clock based on graphic data, and also simulate the mutual influence of the control loops on friend.

When developing the model, we used available materials for the production of cinder blocks in an autoclave from ash and slag materials of cogeneration plants (Kumertau CHPP). The mutual influence of the control loops in the autoclave is also taken into account.

The model was created in the iThink simulation software. The analysis of the obtained model is presented, according to which it can be judged on its adequacy and performance.

Ключевые слова: автоклав; вентиль; трубопровод; температура; регулирование

Key words: autoclave; valve; pipeline; temperature; regulation

В реальных условиях проведение экспериментальных исследований затратно по времени и невыгодно по ресурсам, а также анализ влияния различных факторов в полном объеме может привести к аварийным ситуациям, ввиду этого подобные исследования проводятся в имитационной среде программного моделирования. Данный подход позволяет исследовать в полном объеме влияние различных факторов и уменьшает затраты времени и ресурсов.

Авторам было необходимо разработать имитационную модель автоклава, позволяющую, в зависимости от ряда входных параметров, имитировать процесс работы автоклава с графическим отображением динамики работы по часам и моделировать взаимное влияние друг на друга контуров регулирования.

При разработке модели использовались доступные материалы по изготовлению шлакоблоков в автоклаве из золошлаковых материалов теплоэлектростанций (ТЭС г. Кумертау). Также было учтено взаимное влияние контуров регулирования в автоклаве.

Модель создана в программе имитационного моделирования iThink. Представлен анализ полученной модели, по которому можно судить об ее адекватности и работоспособности.

1. Концептуальная модель автоклава для производства шлакоблоков

Анализ результатов экспериментальных исследований процесса производства шлакоблоков из золошлаковых материалов теплоэлектростанций (в том числе ТЭС г. Кумертау), использующих для топлива бурые угли, показывает, что существующие технологические аппараты и схемы не позволяют получить готовую продукцию необходимого качества.

Этому препятствуют *следующие основные причины:*

- широкий диапазон изменения содержания в золошлаковых материалах оксидов железа 3–27 %, следствием чего является случайный разброс оптимальной продолжительности стадий подъема и снижения давления и температуры в автоклаве, а также изотермической выдержки при постоянном давлении для технологических циклов автоклава;
- в существующих автоклавах [1] насыщенный пар подается по одной трубе, что не позволяет равномерно нагреть весь объем автоклава, и, как следствие, происходит увеличение объема брака в составе готовых шлакоблоков;
- в существующих технологических регламентах на производство шлакоблоков приемлемые периоды времени подъема и спада давления и температуры в автоклаве являются постоянными, среднестатистическими параметрами, не учитывающими изменяющийся от партии к партии

химический состав сырья. Как правило, их значения являются завышенными, что ведет к снижению производительности автоклава, качества шлакоблоков и к перерасходу энергоресурсов.

Для снижения доли брака в составе шлакоблоков, подвергнутых тепловлажностной обработке в автоклаве, предлагается пар в автоклав (с целью равномерного прогрева всего рабочего пространства автоклава) подавать одновременно по нескольким трубам. Очевидно, что чем больше таких труб, тем равномернее будет осуществляться прогрев, и будет меньше потерь тепловой энергии.

На рисунке 1 показаны зависимости объема брака (Bp) и затрат тепловой энергии (Q) от точек (n) подачи пара в автоклав.

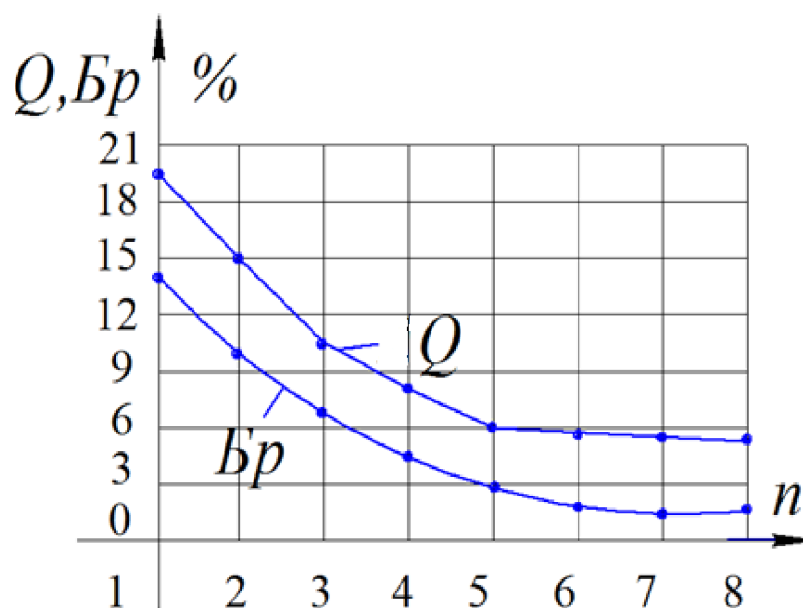


Рисунок 1. Зависимость объема брака (Bp) и затрат тепловой энергии (Q) от точек (n) подачи пара в автоклав

Из рисунка 1 следует, что снижение процента брака Bp в готовой продукции после тепловлажностной обработки шлакоблоков в автоклаве практически прекращается при $n > 6$, а затрат тепловой энергии – при $n > 5$. Поэтому с экономической точки зрения дальнейшее увеличение точек доступа пара в автоклав не имеет смысла и на этом основании принято решение подавать пар в автоклав по шести трубам [1–8].

Конструкция автоклава представлена на рисунке 2 (без указания элементов, не относящихся непосредственно к системе управления). Она представляет собой цилиндрический корпус 1, торцы которого после загрузки автоклава шлакоблоками герметично закрываются крышками 2.

Их закрытие контролируется путевыми датчиками GS₁–GS₄. Типовая дренажная система автоклава циклического действия состоит из труб 3, 4, 5 и вентиля 6 [1].

Подвод пара в автоклав производится через трубу 7 и вентиль с ручным приводом F1, а также через регулируемый вентиль F2.

На регулируемые вентили F5–F7 пар подается через вентиль F3, а на регулируемые вентили F8–F10 – через вентиль F4. В верхнюю и нижнюю части автоклава пар подается соответственно через вентили (F5–F7) и (F8–F10). Контроль давления в автоклаве производится манометрами 8, а температура в шести точках измеряется датчиками (T5–T10). Пар из автоклава отводится через регулируемый вентиль F11 и трубу 9.

Для предотвращения избыточного давления в автоклаве на технологической стадии «Продувка» трубы 7 и 9 имеют одинаковое поперечное сечение, а у труб, отходящих от вентиля F₃ и F₄, оно в 2 раза меньше. По тем же соображениям поперечное сечение труб, подведенных к вентилям (F5–F10), составляет 1/6 поперечного сечения трубы 7.

Предложенная конструкция автоклава благодаря вводу пара и регулированию температуры в шести точках позволяет более равномерно и за меньшее время обеспечить необходимую температуру и давление в автоклаве.

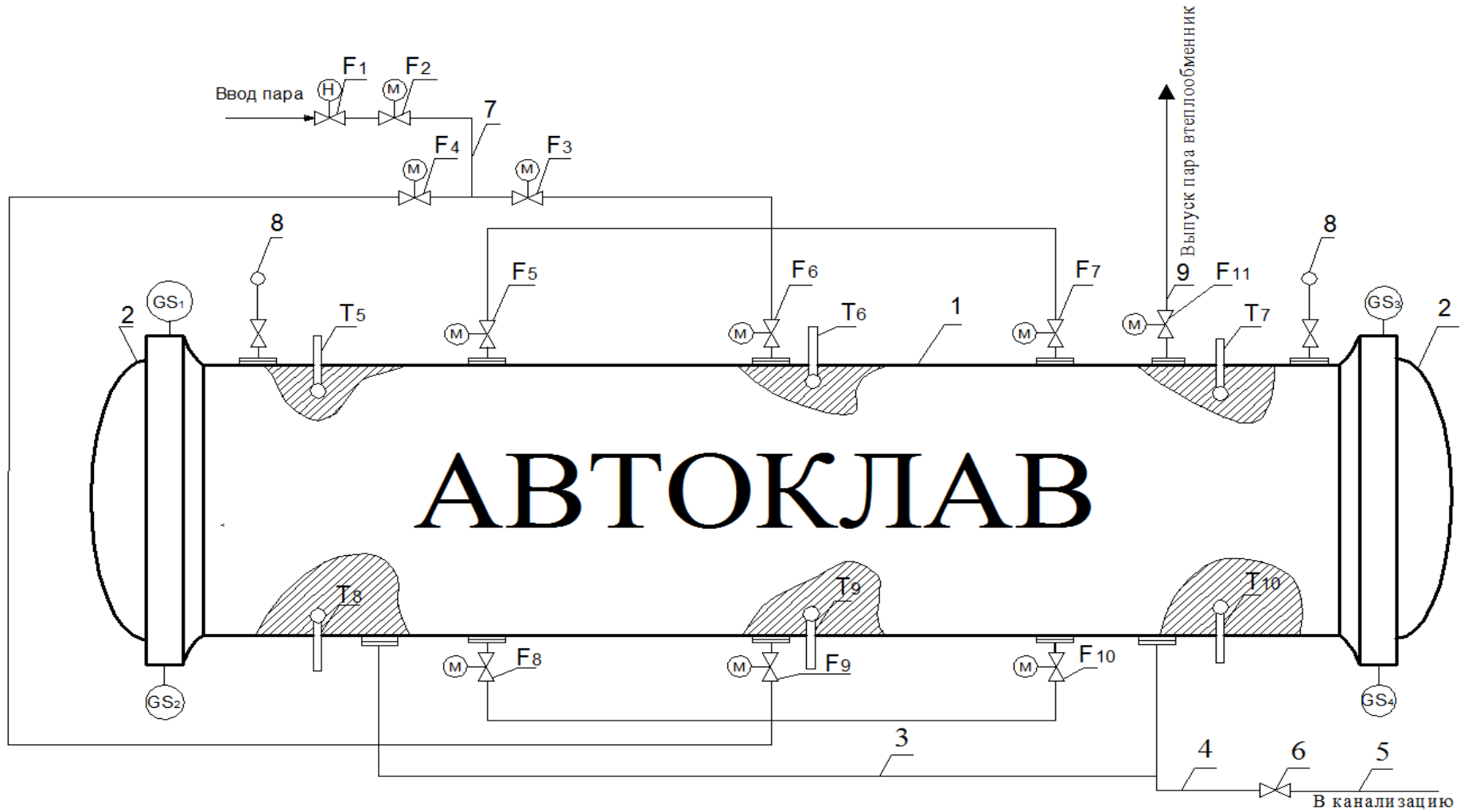


Рисунок 2. Схематическая конструкция автоклава для производства шлакоблоков из золошлаков

Такая конструкция позволяет производить оптимальную продолжительность подъема и спада давления и температуры в автоклаве не по априорно заданному постоянному интервалу времени, которая в подавляющем большинстве случаев не соответствует постоянно меняющемуся химическому составу сырья, а по равномерности прогрева шлакоблоков. Тем самым создаются принципиально новые возможности для снижения энергозатрат и повышения качества готовой продукции при производстве шлакоблоков из золошлаковых материалов ТЭЦ, использующих бурые угли.

2. Моделирование процесса производства шлакоблоков в автоклаве в среде iThink

Визуализация предметной области в iThink [9] осуществляется с помощью классических когнитивных карт. Модели в iThink представляются двумя иерархическими уровнями: уровень модели и уровень программного кода. В процессе моделирования в окне модели формируется структурная схема модели из встроенных строительных блоков (рисунок 3). Затем между ними устанавливаются взаимосвязи посредством стрелок-коннекторов; автоматически генерируется программный код. Оператору остается только ввести функциональные зависимости и числовые параметры, после этого модель готова к запуску. Задание формул и значений параметров осуществляется при помощи стандартных диалоговых окон пакета iThink. В модели использован тип структурных блоков, который изображается фигурой, состоящей из тепловыделяющего элемента и вентиля, называемый потоком. Поток – это процесс, протекающий непрерывно во времени, оценить который можно в физических или денежных единицах, соотнесенных с каким-либо временным интервалом (руб./мес., л/ч и т.д.) [10–19]. В данной модели использовано два потока: «трубопровод» и «выход».

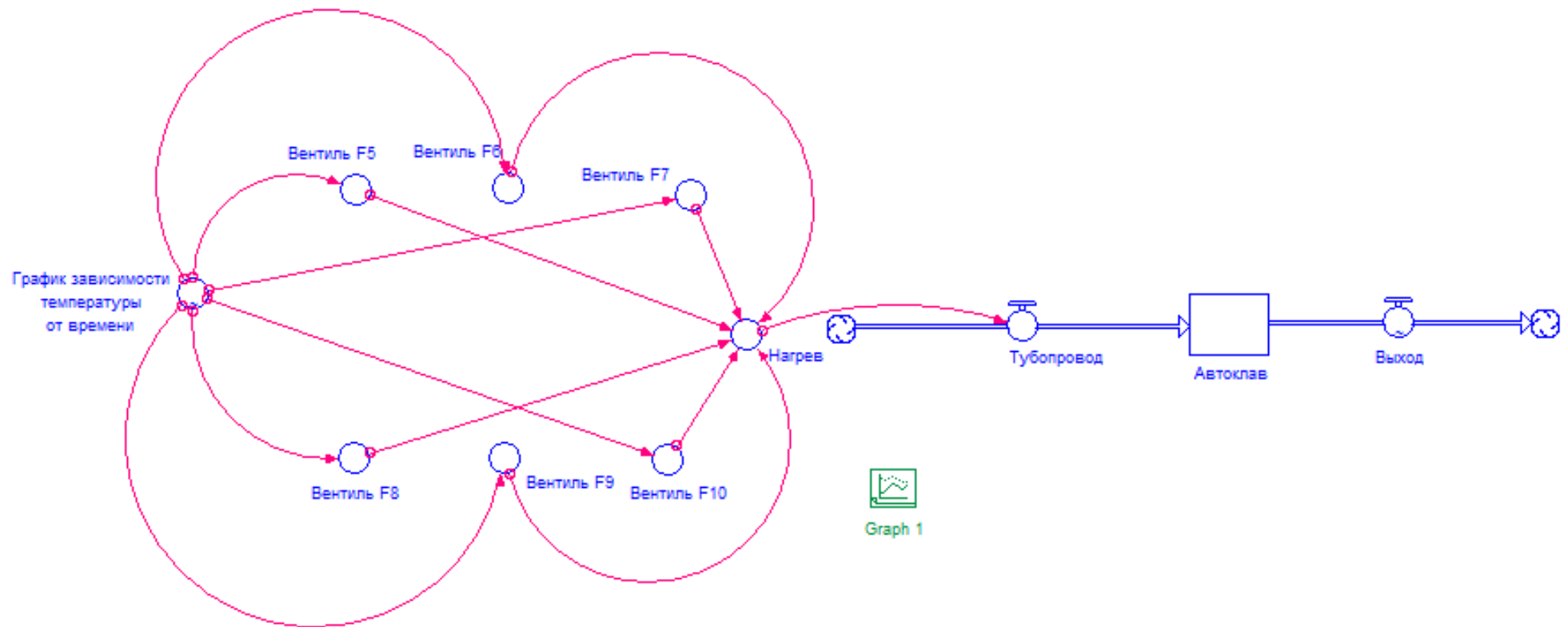


Рисунок 3. Общий вид модели работы автоклава во вкладке «Model»

3. Описание модели автоклава

При создании модели «Автоклав» была присвоена такая графическая функция, как «График зависимости температуры от времени» (рисунок 4).

В системе iThink она задается конвертерами, использующими графические функции, которые являются эскизами взаимосвязи между заданными входными и выходными параметрами. Входные и выходные параметры можно ввести непосредственно на самом графике, нарисовав экспериментальную кривую [2].

Конвертер «График зависимости температуры от времени» задает и регулирует температуру в течение 12 ч (рисунок 4). В ходе технологического процесса температура пара изменяется со временем. Из графика видно, что сначала происходит подъем температуры от 0 °С до максимального значения 190 °С, далее в течение 9 ч эта температура поддерживается. Затем происходит спад температуры до 60 °С, и конечным этапом работы автоклава является выгрузка продукта.

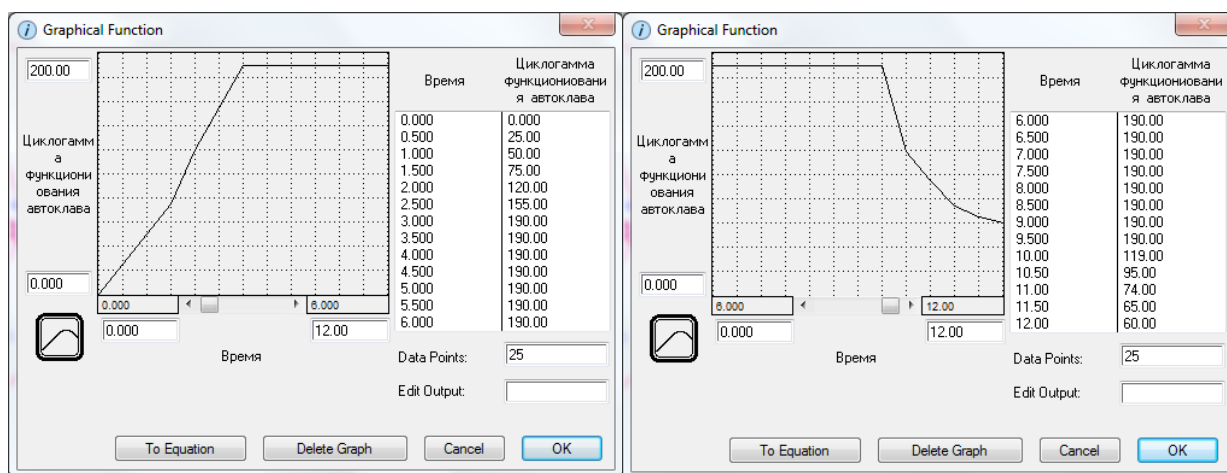


Рисунок 4. Окно «Graphical Function» конвертера «График зависимости температуры от времени»

От конвертера «График зависимости температуры от времени» происходит подача пара по трубопроводам, регулирование которых осуществляется вентилями F5, F6, F7 и F8, F9, F10 к конвертеру «Нагрев», как показано на рисунке 3. Этот конвертер предназначен для задания

температуры так, чтобы она не превышала максимального значения, которое равно 190 °С. На рисунке 5 произведена настройка данного конвертера.

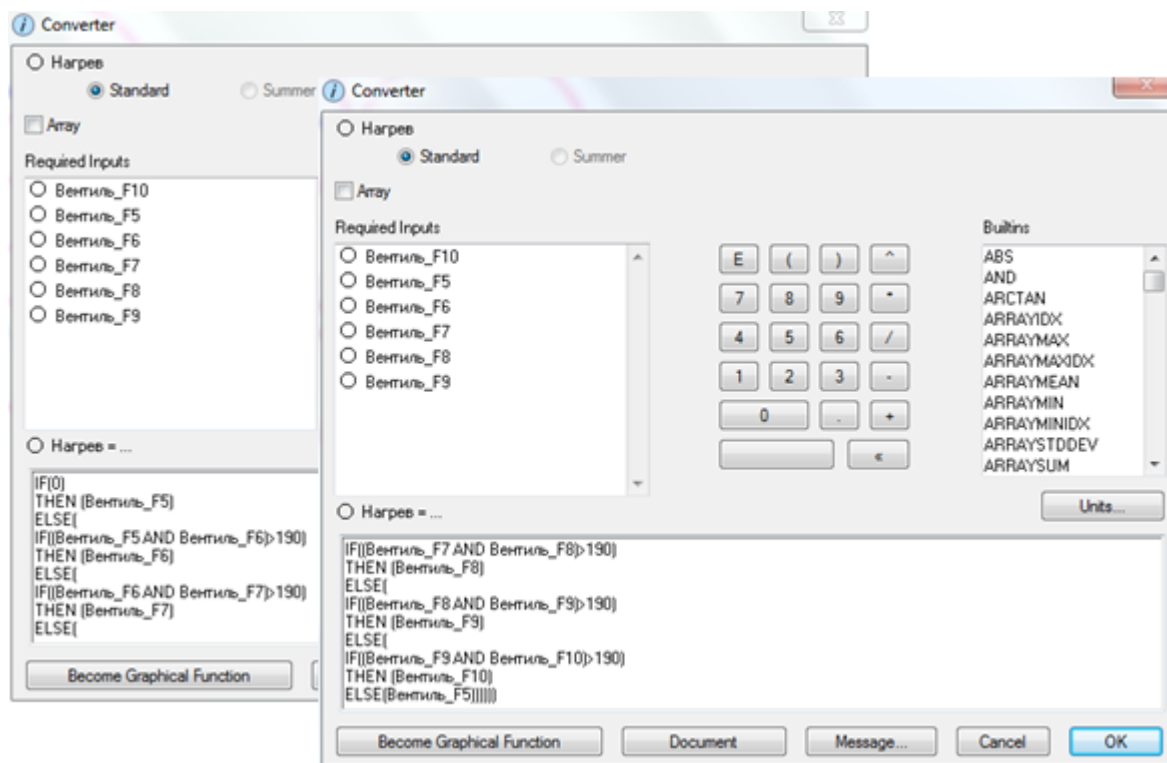


Рисунок 5. Окно настройки конвертера «Нагрев»

Конвертер «Нагрев» передает значение температуры подаваемого пара в поток «Трубопровод», изображенный как трубопровод с вентилем. Ниже приведена настройка данного потока:

Трубопровод = Нагрев.

Поток «Трубопровод» непрерывно во времени позволяет передавать в блок «Автоклав» температуру пара, полученную от конвертера «Нагрев». Блок «Автоклав» запоминает полученные значения температуры. Настройка блока произведена следующим образом:

INT Автоклав = Трубопровод.

Завершение процесса происходит при температуре ниже 50 °С. Автоклав передает данную температуру на поток «Выход».

Выход = 50.

Во вкладке «Equation» на уровне программного кода автоматически отображаются все сделанные настройки. Там же можно задать единицы измерения параметров, комментарии к параметрам и формулы для проведения моделирования (рисунок 6).

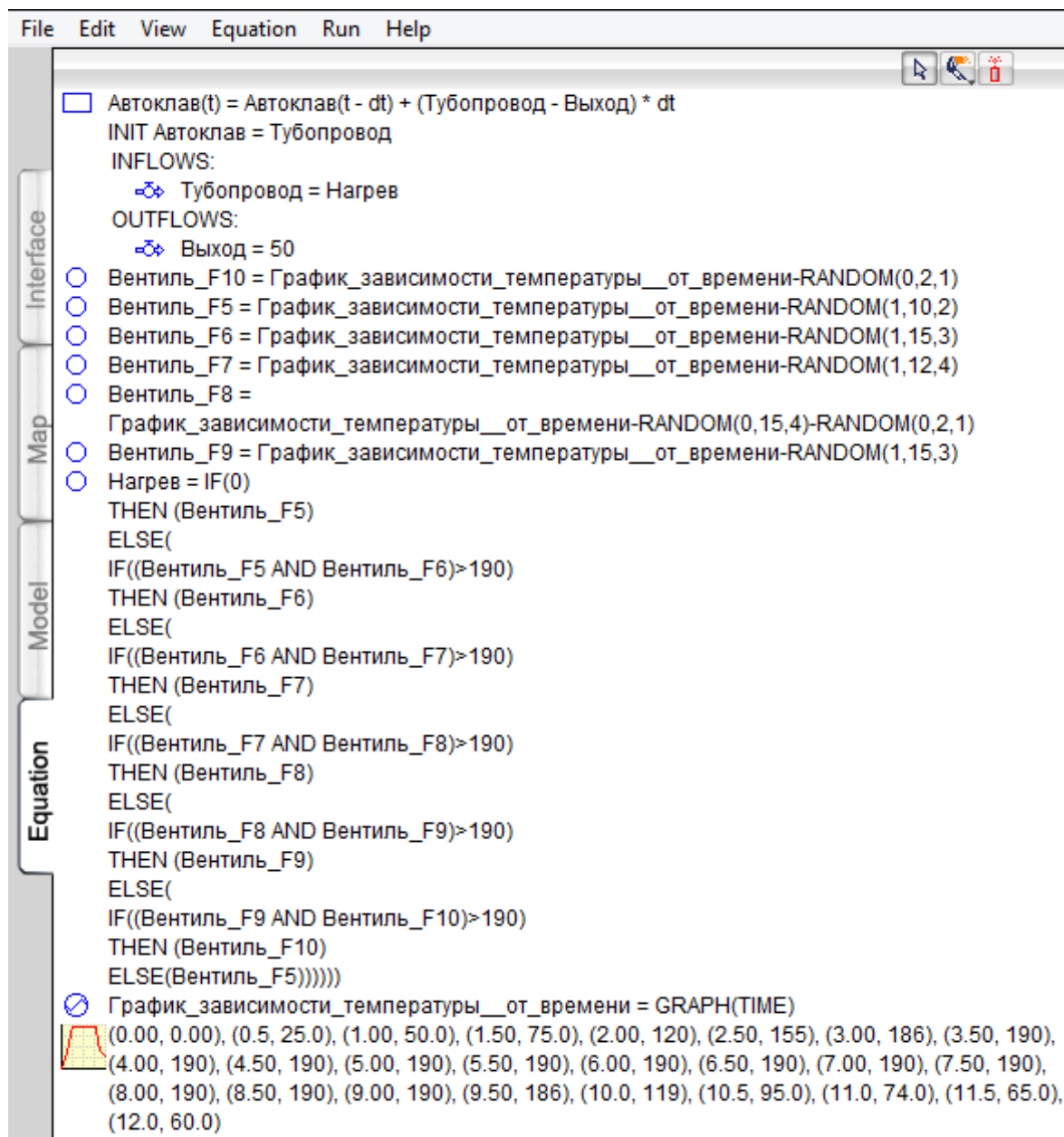


Рисунок 6. Вкладка «Equation»

После запуска процесса, по результатам моделирования, были получены следующие статистические данные, представленные на рисунке 7.

Данные (Температура) ?								
Время	Вентиль F5	Вентиль F6	Вентиль F7	Вентиль F8	Вентиль F9	Вентиль F10	Нагрев	Трубопровод
Initial	49.00	49.00	49.00	50.00	49.00	50.00	49.00	
1	118.41	110.62	117.56	116.97	110.62	118.93	118.41	66.44
2	181.77	184.47	177.11	173.88	184.47	184.64	181.77	142.60
3	183.04	182.10	185.44	183.48	182.10	188.34	183.04	182.92
4	185.92	188.81	181.47	178.39	188.81	188.66	185.92	186.98
5	181.49	185.47	181.63	179.12	185.47	189.17	181.49	186.17
6	182.77	181.46	184.77	182.54	181.46	188.31	182.77	183.94
7	181.51	185.53	181.70	179.21	185.53	189.17	181.51	186.21
8	184.28	177.98	188.45	188.73	177.98	189.48	184.28	183.20
9	115.61	105.43	112.16	109.78	105.43	117.73	115.61	174.19
10	68.55	62.62	62.13	58.68	62.62	73.51	68.55	94.77
11	56.27	45.64	52.33	49.61	45.64	58.70	56.27	61.32

Рисунок 7. Таблица параметров управления автоклавом

4. Анализ полученной модели

Значительное влияние на производство шлакоблоков оказывает температура в автоклаве, которая не должна превышать максимального значения 190 °С. При достижении максимальной температуры вентили, через которые подается пар, закрываются, и происходит снижение температуры. Во избежание брака производства шлакоблоков температура в автоклаве на стадии изотермической выдержки не должна быть ниже 175 °С, исходя из этого при достижении минимальной температуры вентили снова открываются.

В автоклаве при регулировании подачи пара через разные вентили происходит взаимное влияние контуров регулирования друг на друга. На основе полученной модели проведем анализ указанного взаимного влияния контуров регулирования друг на друга. Рассмотрим *5 различных режимов работы автоклава:*

- 1) подача пара через все вентили;
- 2) подача пара через вентили F5, F8;
- 3) подача пара через вентили F5, F6, F7;
- 4) подача пара через вентили F6, F9;
- 5) подача пара через вентили F5 и F10.

Рассмотрим 1-ый режим работы автоклава.

В данном случае пар подается через вентили F5, F6, F7, F8, F9 и F10. В этом режиме нагрев пространства автоклава происходит равномерно. Показание всех датчиков температуры T5, T6, T7, T8, T9 и T10 колеблется около 190 °С (рисунки 8, 9). Это – эталонный режим работы автоклава.

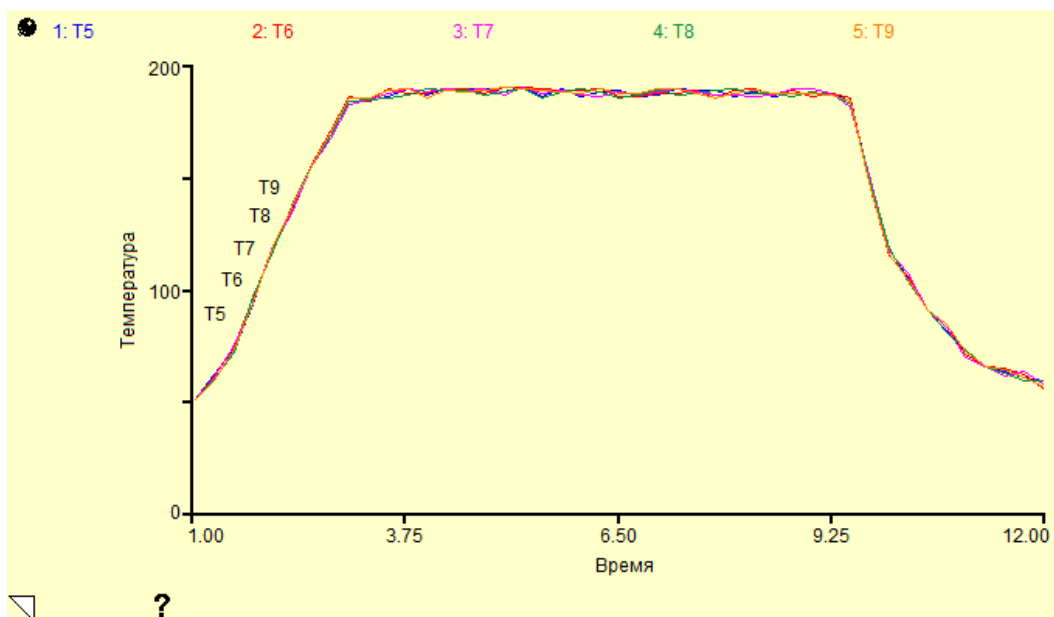


Рисунок 8. Режим работы автоклава при открытии вентилей F5–F9

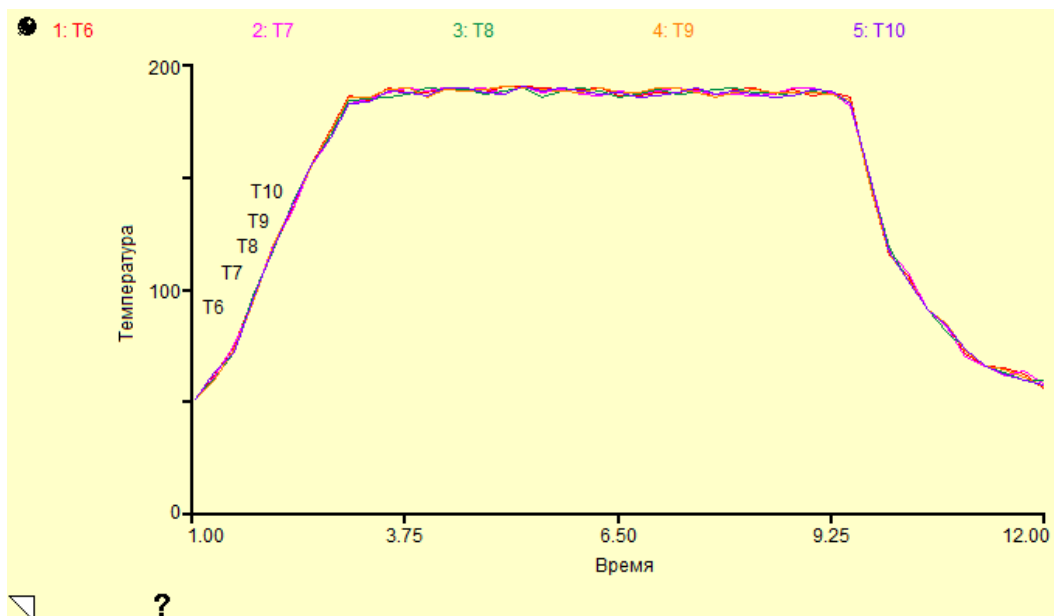


Рисунок 9. Режим работы автоклава при открытии вентилей F6–F10

Рассмотрим 2-ой режим работы автоклава, когда пар подается по трубопроводам через вентили F5 и F8, вентили F6, F7, F9 и F10 закрыты.

Подача пара происходит до тех пор, пока датчики T5 и T8 не покажут температуру, равную 190 °С. Пространство автоклава рядом с датчиками T6, T7, T9 и T10 будет нагреваться медленнее, чем пространство рядом с датчиками T5 и T8. При моделировании датчики температуры T6 и T9 показали температуру, равную 182 °С, а датчики T7 и T10 показали 179 °С. По истечении 2,5 ч температура во всем пространстве автоклава стала равной 190 °С (рисунок 10).

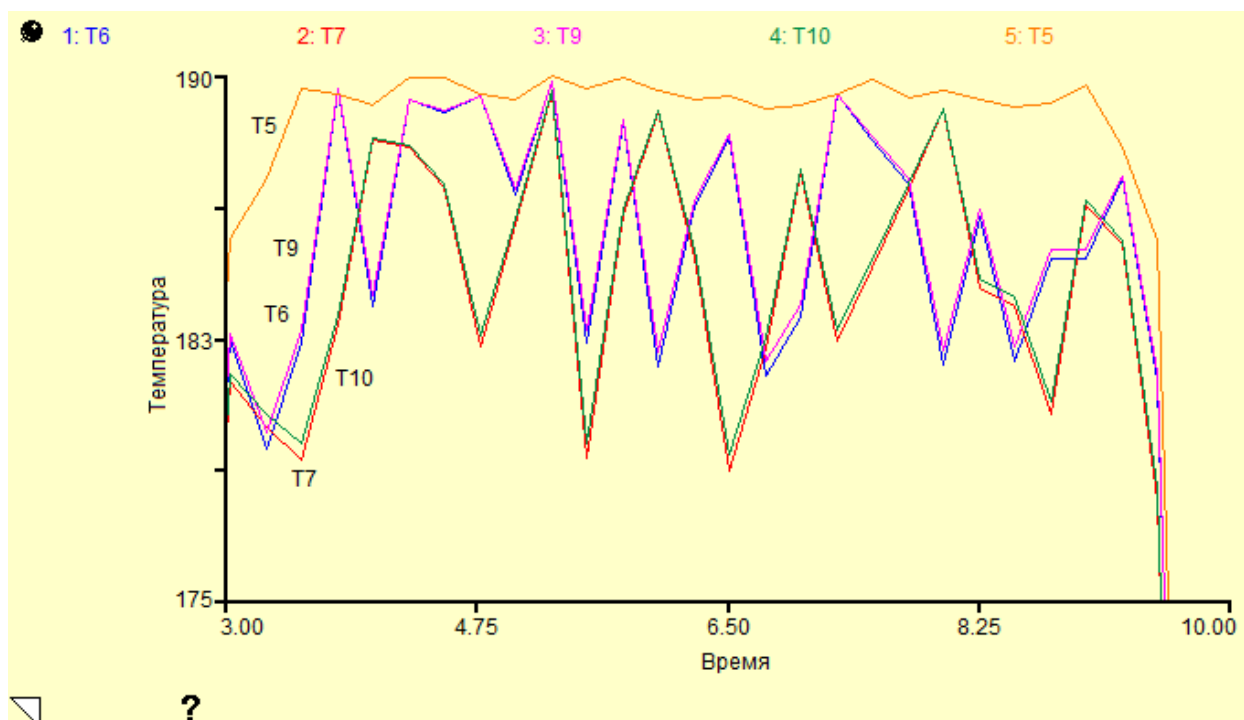


Рисунок 10. Режим работы автоклава при открытии вентилей F5 и F8

Рассмотрим 3-ий режим работы автоклава.

Пар в данном режиме подается по трубопроводам через вентили F5, F6 и F7, вентили F8, F9 и F10 закрыты. В данном режиме пар подается в верхнюю часть автоклава до достижения температуры, равной 190 °С, которая регистрируется датчиками T5, T6 и T7. Пространство автоклава с датчиками T8, T9 и T10 будет нагреваться медленнее, чем пространство рядом с датчиками T5, T6 и T7. При моделировании датчики температуры T8, T9 и T10 показали температуру, равную 188 °С. По истечении 1 ч

температура во всем пространстве автоклава стала равной 190 °С (рисунок 11).

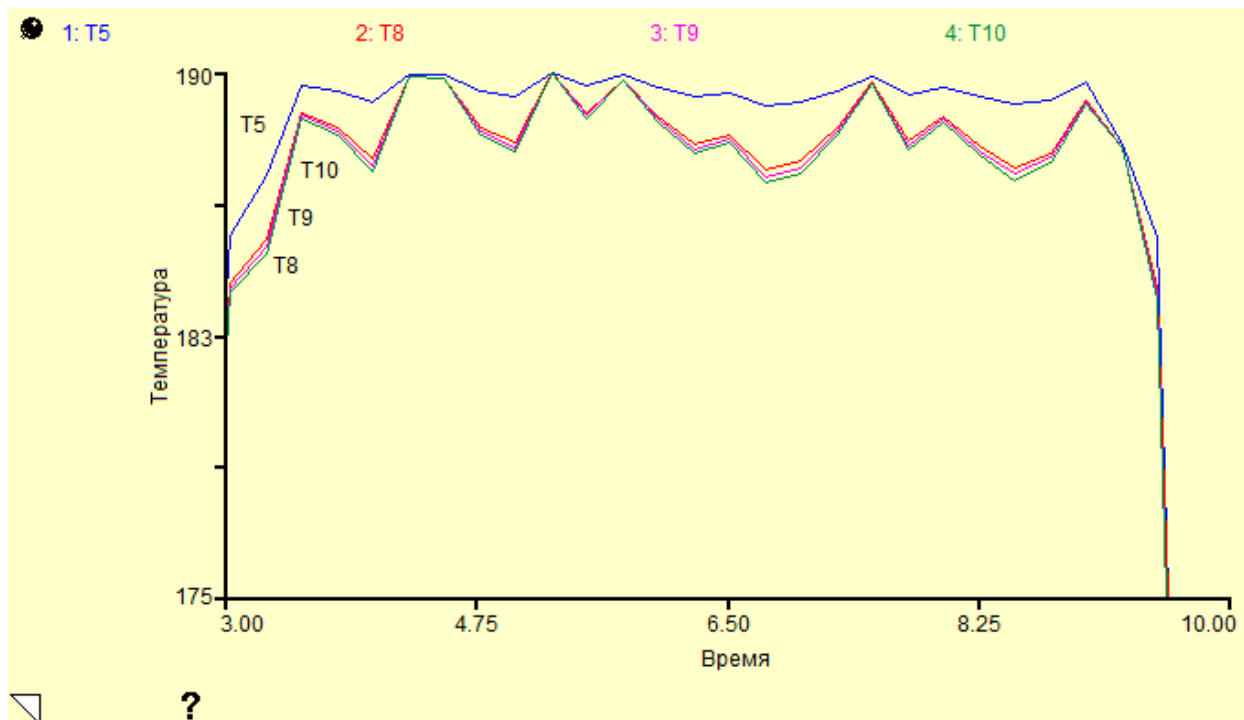


Рисунок 11. Режим работы автоклава при открытии вентилей F5, F6 и F7

Рассмотрим 4-ый режим работы автоклава.

В данном режиме пар подается по двум трубопроводам через вентили F6 и F9; вентили F5, F7, F8 и F10 закрыты. Пар подается в среднюю часть автоклава до тех пор, пока датчики T6 и T9 не покажут температуру, близкую к максимальному значению 190 °С. Пространство автоклава с датчиками T5, T7, T8 и T10 будет нагреваться медленнее, чем пространство рядом с датчиками T6 и T9. При моделировании датчики температуры T5 и T8 показали температуру, равную 185 °С, а датчики T7 и T10 показали 184 °С. По истечении 1,5 ч температура во всем пространстве автоклава стала равной 190 °С (рисунок 12).

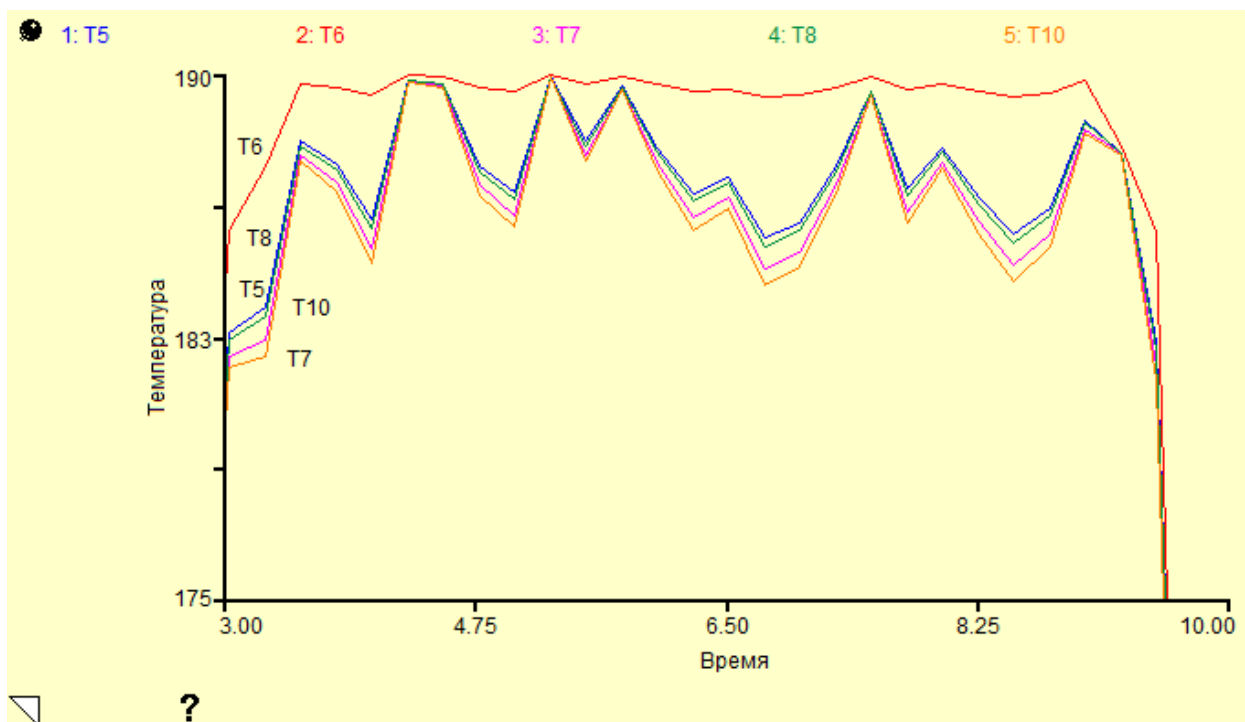


Рисунок 12. Режим работы автоклава при открытии вентилей F6 и F9

Рассмотрим 5-ый режим работы автоклава.

В данном режиме пар подается по двум трубопроводам через вентили F5 и F10; вентили F6, F7, F8 и F9 закрыты. Пар подается в левую верхнюю и правую нижнюю части автоклава до тех пор, пока датчики T5 и T10 не покажут температуру, равную максимальному значению 190 °С. Пространство автоклава с датчиками T6, T7, T8 и T9 будет нагреваться медленнее, чем пространство рядом с датчиками T5 и T10. При моделировании датчики температуры T6 и T8 показали температуру, равную 182 °С, а датчики T7 и T9 показали 183 °С. По истечении 2 ч температура во всем пространстве автоклава стала равной 190 °С (рисунок 13).

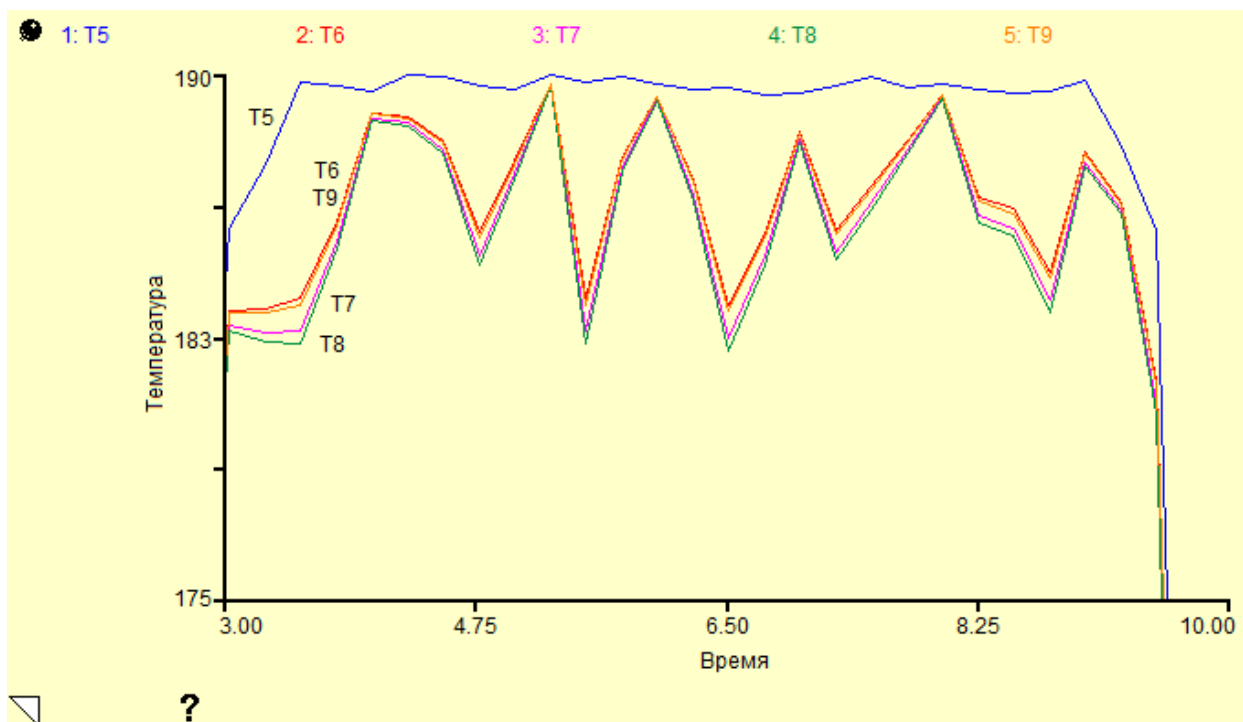


Рисунок 13. Режим работы автоклава при открытии вентилей F5 и F10

Проанализировав все режимы работы автоклава выявлено, что первый режим работы автоклава является наиболее эффективным, так как пар подается через все вентили, и нагрев автоклава происходит равномернее и быстрее.

Третий режим работы автоклава является менее эффективным чем первый, так как задействовано три трубопровода. Исходя из того, что в третьем режиме пар подается в верхнюю часть автоклава, нагрев будет происходить равномернее, чем во втором, четвертом и пятом режимах.

При четвертом режиме подача пара происходит по двум трубопроводам в среднюю часть автоклава, постепенно нагревая левую и правую части, тем самым разница в значениях температуры между правой и левой частями автоклава не будет существенной.

Пятый режим работы автоклава также является менее эффективным, так как пар подается в левую верхнюю и правую нижнюю части автоклава. При такой подаче пара разогрев всего пространства автоклава будет происходить очень медленно.

Наихудшим является второй режим работы, так как в данном случае пар подается в левую часть, автоклав нагревается довольно медленно и неравномерно, происходят большие отклонения температуры: в левой части датчики показывают температуру, равную 190 °С, а в правой – 179 °С.

Выводы

Разработана имитационная модель работы автоклава с учетом регулировки температуры в автоклаве, которая, в зависимости от ряда входных параметров, позволяет симитировать процесс работы автоклава, проанализировать динамику его работы по часам на основе графических данных, а также смоделировать взаимное влияние регулировочных контуров друг на друга.

Модель создана в программе имитационного моделирования iThink. Представлен анализ полученной модели, по которой можно судить об ее адекватности и работоспособности.

В результате анализа полученной модели установлено, что при подаче пара равномерно во все пространство автоклава нагрев происходит равномернее и быстрее, что позволяет снизить долю брака в составе шлакоблоков.

Список используемых источников

1. ГОСТ 10037-83. Автоклавы для строительной индустрии. Технические условия. М: Издательство стандартов, 1983. 33 с.
2. Кузнецов Ю.А., Перова В.И. Применение пакетов имитационного моделирования для анализа математических моделей экономических систем. Нижний Новгород: ННГУ, 2007. 98 с.

3. Сазонова Т.В., Полякова Л.Ю., Каяшев А.И., Муравьева Е.А. Компенсация взаимного влияния температуры и давления в автоклаве для производства газозолосиликатных шлакоблоков // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 3. С. 133-137.
4. Пат. 118566 РФ, МПК В 01 J 3/04. Автоклав / Т.В. Сазонова, Е.А. Муравьева, Ф.К. Яппаров. 2012107087/05, Заявлено 27.02.2012; Опубл. 27.07.2012. Бюл. 21.
5. Программа для ЭВМ 2012614723 РФ. Двумерный четкий логический регулятор температуры и давления в автоклаве для производства шлакоблоков / Т.В. Сазонова, Е.А. Муравьева. 2012612668, Дата поступления 06.04.2012; Дата регистр. 28.05.2012.
6. Muravyova E.A., Sagdatullin A.M., Emekeev A.A. Intellectual Control of Oil and Gas Transportation System by Multidimensional Fuzzy Controllers with Precise Terms // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 756. P. 633-639. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.756.655 .
7. Muravyova E.A., Bondarev A.V., Kadyrov R.R., Rahman P.A. The Analysis of Opportunities of Construction and Use of Avionic Systems Based on Cots-Modules // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol. 11. No. 1. P. 78-92.
8. Muravyova E.A., Solovev K.A., Soloveva O.I., Sultanov R.G., Charikov P.N. Simulation of Multidimensional Non-Linear Processes Based on the Second Order Fuzzy Controller // Key Engineering Materials. 2016. Vol. 685. P. 816-822. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.685.816.
9. Шебеко Ю.А. Пособие по аналитическому пакету iThink. URL: <http://www.tora-centre.ru/library/reing/ta.htm> (дата обращения: 15.05.2019).
10. Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: ИНФРА-М, 2014. 254 с.
11. Оценка качества имитационной модели. URL: http://life-prog.ru/1_995_otsenka-kachestva-imitatsionnoy-modeli.html (дата обращения: 15.05.2019).

12. Мичасова О.В. Имитационное моделирование экономических систем. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. 186 с.

13. Шарипов М.И., Муравьева Е.А., Каяшев А.И., Багров К.А. Нечеткие когнитивные модели с представлением характеристик концептов совокупностью аргументов двузначной логики // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений: тр. второй междунар. конф. Уфа: УГАТУ, 2014. С. 18-21.

14. Шарипов М.И., Муравьева Е.А., Багров К.А., Каяшев А.И. Когнитивное моделирование с интерпретацией параметров концептов совокупностью термов с прямоугольной формой функции принадлежности // Интеллектуальные системы: труды одиннадцатого междунар. симпоз. / Отв. ред. К.А. Пупкова. М.: РУДН, 2014. С. 304-309.

15. Каяшев А.И., Шарипов М.И., Муравьева Е.А., Багров К.А. Когнитивные карты с интерпретацией концептов и связей между ними совокупностью аргументов двузначной логики // Матер. XII Всеросс. совещания по проблемам управления ВСПУ-2014. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. С. 4126-4131.

16. Гузаиров М.Б., Муравьева Е.А. Управление технологическими процессами, реализованное на четких логических регуляторах. М.: Машиностроение, 2012. 305 с.

17. Rahman P.A., Muraveva E.A., Sharipov M.I. Reliability Model of Fault-Tolerant Dual-Disk Redundant Array // Key Engineering Materials. 2016. Vol. 685. P. 805-810. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.685.805.

18. Muravyova E.A., Bondarev A.V., Kadyrov R.R., Shulaeva E.A. The Questions of Circuitry Design when Forming the Switching Functions of the Control System of the Matrix Frequency Converter // Indian Journal of Science and Technology. 2015. Vol. 8. Special Issue 10. P. 1-8. DOI: 10.17485/ijst/2015/v8is(10)/85424.

19. Muravyova E., Sagdatullin A., Sharipov M. Modelling of Fuzzy Control Modes for the Automated Pumping Station of the Oil and Gas Transportation System // *Materials Science and Engineering: IOP Conference Series*. Tomsk, Russia. 2016. Vol. 132. P. 012028. DOI: 10.1088/1757-899X/132/1/012028.

References

1. *GOST 10037-83. Avtoklavy dlya stroitel'noi industrii. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 10037-83. Autoclaves for Building Industry. Specifications]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1983. 33 p. [in Russian].

2. Kuznetsov Yu.A., Perova V.I. *Primenenie paketov imitatsionnogo modelirovaniya dlya analiza matematicheskikh modelei ekonomicheskikh sistem* [Application of Simulation Packages for Analysis of Mathematical Models of Economic Systems]. Nizhny Novgorod, NNGU Publ., 2007. 98 p. [in Russian].

3. Sazonova T.V., Polyakova L.Yu., Kayashev A.I., Murav'eva E.A. Kompensatsiya vzaimnogo vliyaniya temperatury i davleniya v avtoklave dlya proizvodstva gazozolositkatnykh shlakoblokov [Indemnification of Mutual Influence of Temperature and Pressure in the Autoclave for Manufacture Products Blocks from Asheslag]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya – Scientific and Technical Volga Region Bulletin*, 2011, No. 3, pp. 133-137. [in Russian].

4. Sazonova T.V., Muraveva E.A., Yapparov F.K. *Avtoklav* [Autoclave]. Patent RF, No. 118566, 2012. [in Russian].

5. Sazonova T.V., Muraveva E.A. *Dvumernyi chetkii logicheskii regulyator temperatury i davleniya v avtoklave dlya proizvodstva shlakoblokov* [A Clear Two-Dimensional Logic Controller of Temperature and Pressure in the Autoclave for the Production of Cinder Blocks]. Computer Software RF, No. 2012614723, 2012. [in Russian].

6. Muravyova E.A., Sagdatullin A.M., Emekeev A.A. Intellectual Control of Oil and Gas Transportation System by Multidimensional Fuzzy Controllers with Precise Terms. *Applied Mechanics and Materials*, 2015, Vol. 756, pp. 633-639. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.756.655 .

7. Muravyova E.A., Bondarev A.V., Kadyrov R.R., Rahman P.A. The Analysis of Opportunities of Construction and Use of Avionic Systems Based on Cots-Modules. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2016, Vol. 11, No. 1, pp. 78-92.

8. Muravyova E.A., Solovev K.A., Soloveva O.I., Sultanov R.G., Charikov P.N. Simulation of Multidimensional Non-Linear Processes Based on the Second Order Fuzzy Controller. *Key Engineering Materials*, 2016, Vol. 685, pp. 816-822. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.685.816.

9. Shebeko Yu.A. *Posobie po analiticheskomu paketu iThink* [IThink Analytic Tutorial]. URL: <http://www.tora-centre.ru/library/reing/ta.htm> (assessed 15.05.2019).

10. Lychkina N.N. *Imitatsionnoe modelirovanie ekonomicheskikh protsessov* [Simulation of Economic Processes]. Moscow, INFRA-M Publ., 2014. 254 p. [in Russian].

11. *Otsenka kachestva imitatsionnoi modeli* [Assessment of the Quality of the Simulation Model]. URL: http://life-prog.ru/1_995_otsenka-kachestva-imitatsionnoy-modeli.html (assessed 15.05.2019).

12. Michasova O.V. *Imitatsionnoe modelirovanie ekonomicheskikh sistem* [Simulation of Economic Systems]. Nizhny Novgorod, Nizhegorodskii gosuniversitet Publ., 2014. 186 p. [in Russian].

13. Sharipov M.I., Muraveva E.A., Kayashev A.I., Bagrov K.A. Nechetkie kognitivnye modeli s predstavleniem kharakteristik kontseptov sovokupnost'yu argumentov dvuznachnoi logiki [Fuzzy Cognitive Models with Representation of Characteristics of Concepts Set of Arguments of Double-Valued Logic]. *Trudy vtoroi mezhdunarodnoi konferentsii «Informatsionnye tekhnologii intellektual'noi podderzhki prinyatiya reshenii»* [Proceedings of the 2nd International Conference «Information Technologies for Intelligent Decision Making Support»]. Ufa, UGATU Publ., 2014. pp. 18-21. [in Russian].

14. Sharipov M.I., Muraveva E.A., Bagrov K.A., Kayashev A.I. Kognitivnoe modelirovanie s interpretatsiei parametrov kontseptov sovokupnost'yu termov s pryamougol'noi formoi funktsii prinadlezhnosti [Cognitive Modeling with Interpretation of Concept Parameters Set of Terms with Rectangular Form of Membership Function]. *Trudy odinnadtsatogo mezhdunarodnogo simpoziuma «Intellektual'nye sistemy»* [Proceedings of the Eleventh International Symposium «Intelligent Systems»]. Managing Ed. K.A. Pupkova. Moscow, RUDN Publ., 2014. pp. 304-309. [in Russian].

15. Kayashev A.I., Sharipov M.I., Muraveva E.A., Bagrov K.A. Kognitivnye karty s interpretatsiei kontseptov i svyazei mezhdu nimi sovokupnost'yu argumentov dvuznachnoi logiki [Cognitive Maps with Interpretation of Concepts and Connections Between them a Set of Arguments of Double-Valued Logic]. *Materialy XII Vserossiiskogo soveshchaniya po problemam upravleniya VSPU-2014* [Proceedings of the XII All-Russian Meeting on VSPU Management-2014]. Moscow, Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN Publ., 2014. pp. 4126-4131. [in Russian].

16. Guzairov M.B., Muraveva E.A. *Upravlenie tekhnologicheskimi protsessami, realizovannoe na chetkikh logicheskikh regulyatorakh* [Management of Technological Processes Based on Clear Logic Controllers]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2012. 305 p. [in Russian].

17. Rahman P.A., Muraveva E.A., Sharipov M.I. Reliability Model of Fault-Tolerant Dual-Disk Redundant Array. *Key Engineering Materials*, 2016, Vol. 685, pp. 805-810. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.685.805.

18. Muravyova E.A., Bondarev A.V., Kadyrov R.R., Shulaeva E.A. The Questions of Circuitry Design when Forming the Switching Functions of the Control System of the Matrix Frequency Converter. *Indian Journal of Science and Technology*, 2015, Vol. 8, Special Issue 10, pp. 1-8. DOI: 10.17485/ijst/2015/v8is(10)/85424.

19. Muravyova E., Sagdatullin A., Sharipov M. Modelling of Fuzzy Control Modes for the Automated Pumping Station of the Oil and Gas Transportation System. *IOP Conference Series «Materials Science and Engineering»*. Tomsk, Russia, 2016, Vol. 132, pp. 012028. DOI: 10.1088/1757-899X/132/1/012028.

Сведения об авторах

About the authors

Муравьева Елена Александровна, д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой «Автоматизированные технологические и информационные системы», УГНТУ, филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация

Elena A. Muravyova, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Automated Technology and Information Systems Department, USPTU, Branch, Sterlitamak, Russian Federation

e-mail: muraveva_ea@mail.ru

Шокуров Сергей Александрович, студент кафедры «Автоматизированные технологические и информационные системы», УГНТУ, филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация

Sergei A. Shokurov, Student of Automated Technological and Informational Systems Department, USPTU, Branch in Sterlitamak, Russian Federation

e-mail: shokurov-sergei@mail.ru