

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВАРКИ СТЕКЛА

Куранов С.В.<sup>1</sup>, Иващенко В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Саратов, Россия (410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77), e-mail: [rectorat@sstu.ru](mailto:rectorat@sstu.ru)

<sup>2</sup>ФГБУН «Институт проблем точной механики и управления РАН», Россия (410028, Саратов, ул. Рабочая, 24), e-mail: [iptmuran@san.ru](mailto:iptmuran@san.ru)

---

Для повышения эффективности технологического процесса управления варкой стекла необходимо его системный анализ, позволяющий выделить основные компоненты процесса, взаимосвязь между ними и взаимодействие с другими процессами. Для этой цели использован унифицированный язык моделирования UML, позволяющий получить целостное представление о неразрывно связанных автоматизированной и неавтоматизированной частях системы управления, получить общую картину ее функционирования и создать основу для построения эффективной системы автоматизированного управления с помощью существующих аппаратно и программно совместимых технических средств. Для визуализации результатов системного анализа использованы, в частности, следующие диаграммы: вариантов использования, состояний, последовательностей, классов. Используемая совокупность UML-диаграмм отражает функции системы управления, их взаимодействие и временные интервалы реализации, аппаратное и программное обеспечение.

---

Ключевые слова: АСУТП, технологический процесс, системный анализ, UML.

## SYSTEM APPROACH TO THE CONSTRUCTION OF AUTOMATED MELTING GLASS CONTROL PROCESS

Kuranov S.V.<sup>1</sup>, Ivaschenko V.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Saratov State Technical University n.a. Yuri Gagarin, Saratov, Russia (410054, Saratov, st. Polytechnicheskaya, 77), e-mail: [rectorat@sstu.ru](mailto:rectorat@sstu.ru)

<sup>2</sup>Institute of Precision Mechanics and Control of Russian Academy of Sciences, Russia (410028, Saratov, Rabochaya st. 24), e-mail: [iptmuran@san.ru](mailto:iptmuran@san.ru)

---

To improve the efficiency of the control process of melting glass its need to use the methods of system analysis, which allows to identify the main components of the process, the relationship between them and the interaction with other processes. For this purpose, used the Unified Modeling Language UML, witch allows a holistic view of the inseparable of automated and non-automated parts of the control system, an overall picture of its performance and create a foundation for an effective automated control system with existing hardware and software-compatible hardware. For visualizing the results of the system analysis particular the following diagrams are used: use-case diagrams, state diagrams, sequences diagrams and diagrams of classes. Aggregate of used UML-diagrams reflects control functions, interactions and time slots implementation, hardware and software.

---

Keywords: APCS, process control, process, system analysis, UML.

Управление варкой стекла представляет собой сложную задачу. Это связано с тем, что эффективность производства листового стекла в значительной мере зависит от факторов разной природы (параметры варки, формования, отжига, резки стекла; уровень квалификации персонала; условия окружающей среды и др.). При этом качество стекла в основном определяется точностью поддержания набора этих параметров на различных этапах технологического процесса его варки. Сложность управления обусловлена и запаздыванием по каналам управления, которое может достигать нескольких суток [2; 4].

Таким образом, при разработке АСУТП варки стекла логично использовать методы системного анализа. При этом востребованы современные информационные технологии и

описания ТП, такие как IDEF, ERM, EPC и UML [5], из которых универсальный язык моделирования UML предоставляет наиболее широкие возможности для формализации ТП варки стекла [1].

На теоретико-множественном уровне ТП варки стекла может быть представлен в виде отображений [3].

$$f_n : A \times P \times I_{\text{вх}} \times C \rightarrow I_{\text{вых}}, \quad n = \overline{1, N},$$

где  $A = \{a_1 \dots a_n\}$  – блок активных элементов системы управления;  $P = \{p_1 \dots p_n\}$  – блок примитивов базовых функций;  $C = \{c_1 \dots c_n\}$  – блок ограничений, накладываемых на показатели системы;  $I = I_{\text{вх.}} \cup I_{\text{вых.}} = \{i_1 \dots i_n\}$  – блок информационных потоков в системе.

Блок активных элементов системы управления (акторов): АСУТП варки стекла –  $a_1$ , стекловар –  $a_2$  и оператор –  $a_3$ .

Блок примитивных функций. Это опрос измерительных устройств –  $p_1$ , регулирование угла поворота дымового шибера –  $p_2$ , изменение расхода газа/воздуха –  $p_3$ , введение (выведение) в (из) работу регенераторов –  $p_4$ , изменение скорости работы загрузчиков –  $p_5$ , введение (выведение) в (из) работу загрузчиков –  $p_6$ , перевод пламени –  $p_7$ , визуальный контроль –  $p_8$ , действия при аварийных ситуациях –  $p_9$ , изменение параметров ТП –  $p_{10}$ .

Блок ограничений, накладываемых на показатели системы  $\{c_1 \dots c_n\}$ , регламентируется соответствующими технологическими картами: ограничения параметров контура управления давлением –  $c_1$ , ограничения параметров температурного режима –  $c_2$ , ограничения параметров контура управления материальным балансом –  $c_3$ .

Блок информационных потоков. Это показания датчиков:  $i_1$  – уровень стекломассы;  $i_2$  – суточный съем стекломассы,  $i_3$  – соотношение шихта/бой,  $i_4$  – объем загружаемых шихты и боя,  $i_5$  – давление в полости печи,  $i_6$  – разрежение в регенераторах и боровах, показания термопар по газовому пространству: сводовые –  $i_7$  (С) и стеновые –  $i_8$  (Г), по стекломассе –  $i_9$  (М) и донные –  $i_{10}$  (Д), а также температура в выработочном канале (К) –  $i_{11}$  и в стекломассе –  $i_{12}$ , температуры регенераторов –  $i_{13}$ , время непрерывной работы горелок с момента последнего переключения –  $i_{14}$ , расход газа по горелкам или зонам –  $i_{15}$ , расход воздуха по горелкам или зонам –  $i_{16}$ , коэффициент избытка воздуха по горелкам или зонам –  $i_{17}$  и соотношение топливо/воздух –  $i_{18}$ .

Данные визуального наблюдения: за уровнем стекломассы с помощью крючка –  $i_{19}$ , за давлением в печи, подсосами на регенераторах с помощью «спичек» –  $i_{20}$ , за влажностью шихты –  $i_{21}$ , за границами зон плавления куч шихты, варочной пены и чистого зеркала –  $i_{22}$ , за формой факела, его длиной, покрытием зеркала стекломассы, направленностью –  $i_{23}$  и за качеством стекломассы при отборе проб –  $i_{24}$ .

Выходными информационными сигналами от АСУТП являются: изменение угла поворота дымового шиберы –  $i_{25}$ , введение (выведение) в (из) работу регенераторов –  $i_{26}$  и загрузчиков –  $i_{27}$ , увеличение (уменьшение) скорости работы загрузчиков –  $i_{28}$ , другие выходные информационные сигналы –  $i_{29}$ , изменение расхода газа/воздуха по горелкам –  $i_{30}$ , сигнал перевода пламени –  $i_{31}$  и изменение параметров ТП –  $i_{32}$ .

В итоге отображения  $f_n$  примут вид:

$$\begin{aligned}
 f_1 &: \{ a_1, p_1, (c_1, c_2, c_3) \} \rightarrow (i_1, i_2 \dots i_{18}); \\
 f_2 &: \{ a_1, p_2, (i_5, i_6), c_1 \} \rightarrow (i_{25}, i_{29}); \\
 f_3 &: \{ a_1, p_3, (i_7, i_8 \dots i_{18}) c_2 \} \rightarrow (i_{29}, i_{30}); \\
 f_4 &: \{ a_1, p_4, (i_7, i_8 \dots i_{18}) c_2 \} \rightarrow (i_{26}, i_{29}); \\
 f_5 &: \{ a_1, p_5, (i_1, i_2 \dots i_4) c_3 \} \rightarrow (i_{28}, i_{29}); \\
 f_6 &: \{ a_1, p_6, (i_1, i_2 \dots i_4) c_3 \} \rightarrow (i_{27}, i_{29}); \\
 f_7 &: \{ a_1, p_7, (i_7, i_8 \dots i_{18}) \} \rightarrow i_{31}; \\
 f_8 &: \{ a_3, p_8, (c_1, C_2 \dots c_3) \} \rightarrow (i_{19}, i_{20}, \dots i_{24}); \\
 f_9 &: \{ (a_1, a_2, a_3), p_9, (i_1, i_2, \dots i_{24})(c_1, c_2, c_3) \} \rightarrow (i_{25}, i_{26}, \dots i_{31}); \\
 f_{10} &: \{ a_2, p_{10}, (c_1, C_2 \dots c_3), (i_1, i_2, \dots i_{24}) \} \rightarrow i_{31}.
 \end{aligned}$$

На рис. 1 результаты декомпозиции представлены в виде диаграммы вариантов использования UML.

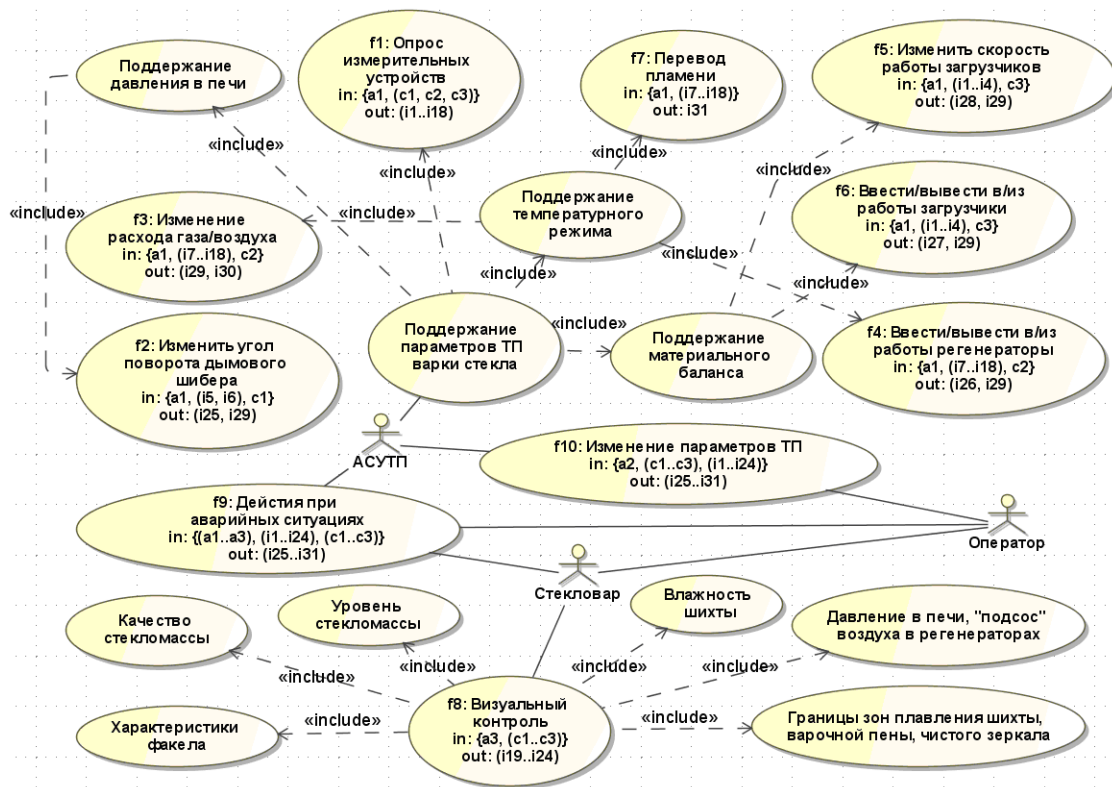


Рис. 1. Результаты декомпозиции ТП варки стекла, представленные диаграммой вариантов использования UML

Участники процесса управления (акторы) могут находиться в том или ином состоянии, переходить из одного состояния в другое, выполняя при этом определенные действия. Это отражается с помощью диаграммы состояний ТП (рис. 2).

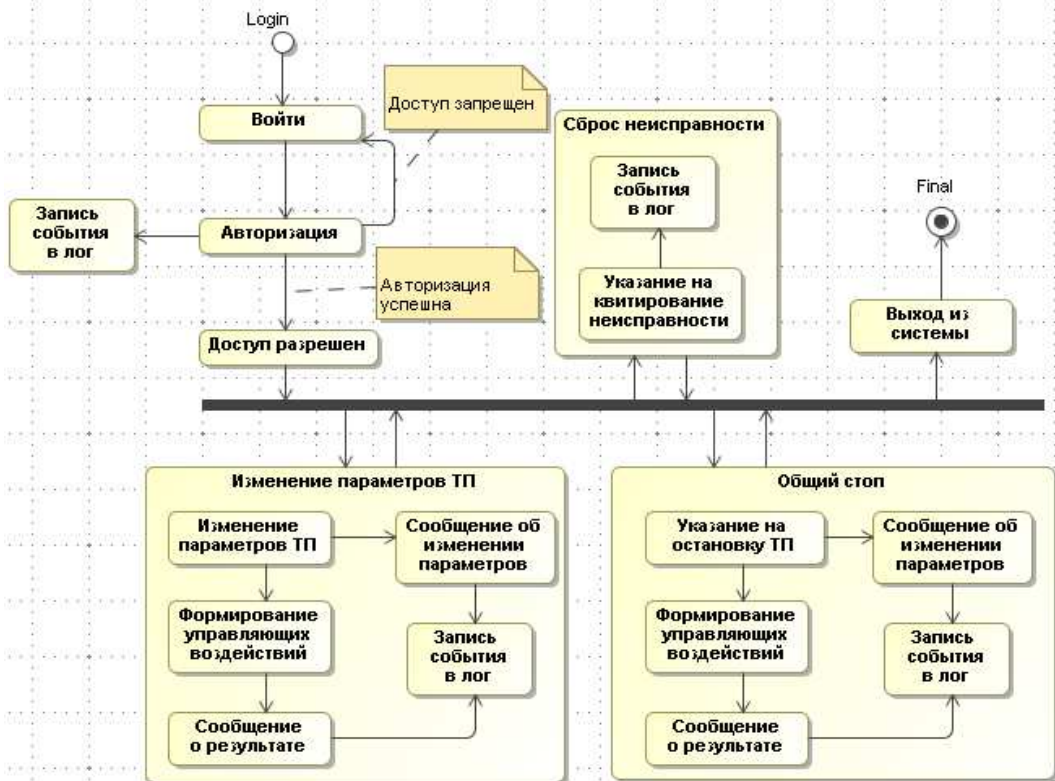


Рис. 2. Диаграмма состояний ТП варки стекла

Взаимодействие между компонентами ТП осуществляется путем передачи совокупности сообщений. Для планирования последовательности сообщений и временных интервалов взаимодействия компонентов ТП использованы диаграммы последовательностей. На рис. 3 представлена диаграмма последовательностей для АСУ ТП, а на рис. 4 – диаграмма последовательностей для оператора.

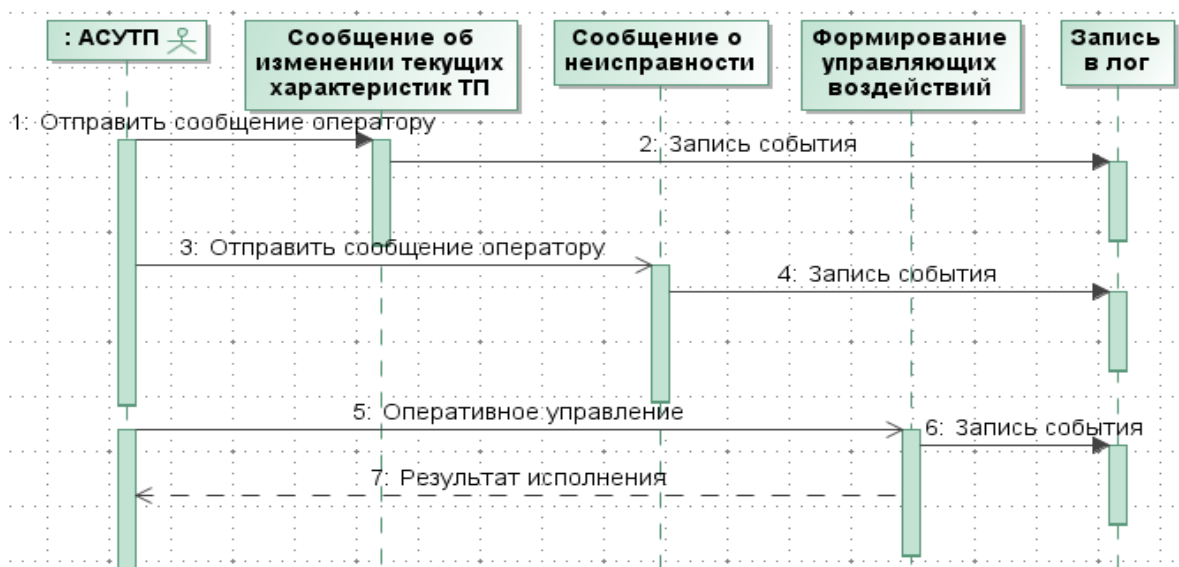


Рис. 3. Диаграмма последовательностей для АСУ ТП

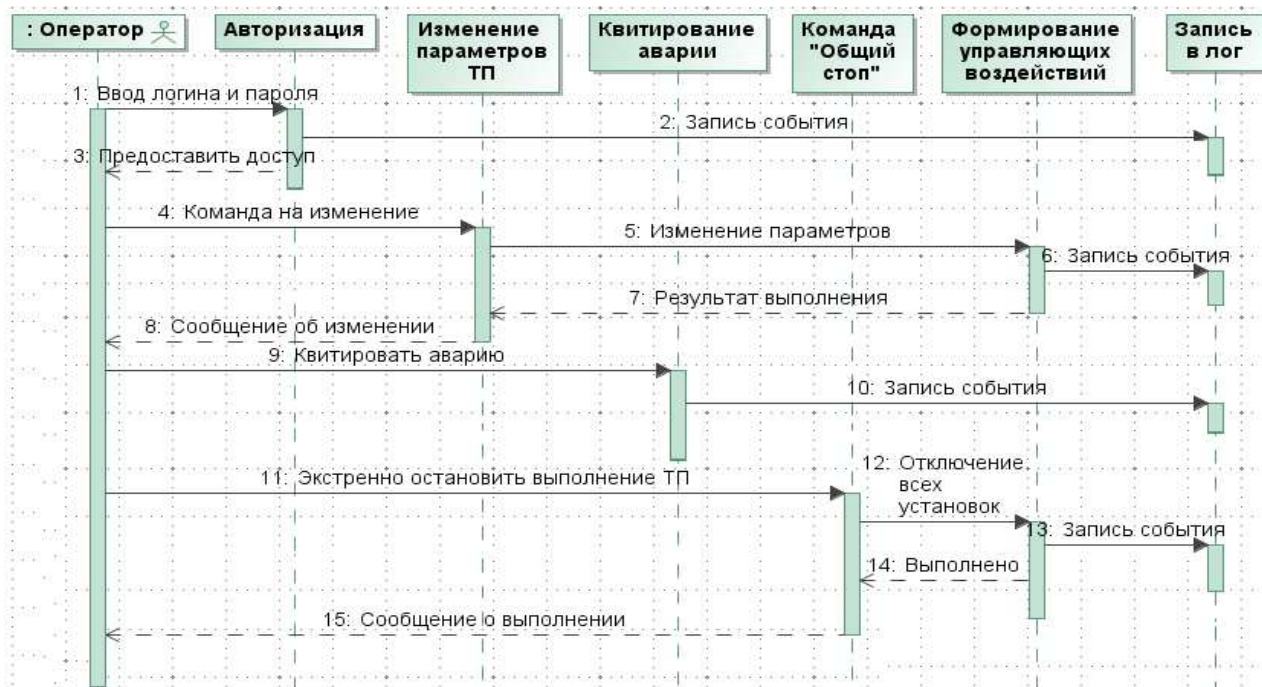


Рис. 4. Диаграмма последовательностей для оператора

Приведенные диаграммы описывают отдельные аспекты ТП варки стекла.

В качестве модели для программной реализации АСУ ТП используется диаграмма классов (рис. 5). Эта диаграмма позволяет представить в наглядной форме классы,



используемые в программе, что дает представление о взаимодействии между элементами программного обеспечения. С помощью данной диаграммы возможна частичная генерация программного кода.

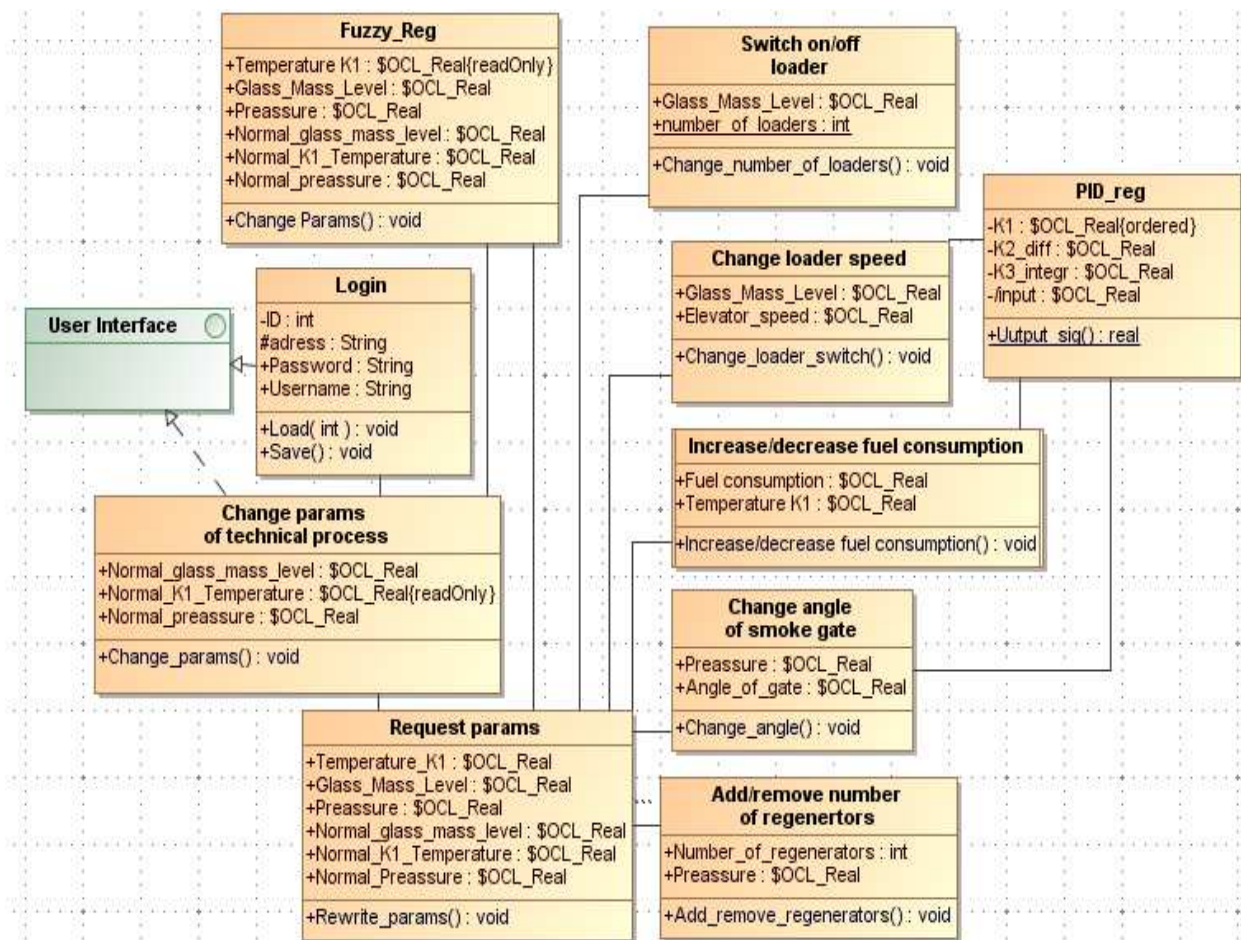


Рис. 5. Диаграмма классов для АСУ ТП

Описание классов диаграммы:

1. Login – класс, предназначенный для авторизации пользователя в системе с заданным уровнем доступа.
2. Change params of technical process – класс, позволяющий авторизованному пользователю вручную изменять параметры ТП при разрешенном уровне доступа.
3. Fuzzy\_Reg – класс, позволяющий по результатам нечеткого вывода прогнозировать количество стекла, удовлетворяющего политике предприятия в области качества, и корректировать параметры ТП с целью изменения этого количества [3].
4. Request params – класс, отслеживающий все изменения состояния ТП.
5. Switch on/off loader – класс, выполняющий функцию включения/выключения дополнительного загрузчика при необходимости (неисправность работающего загрузчика, ротация для равномерного износа оборудования).

6. Change loader speed – класс, реализующий функции управления скоростью работы загрузчика на основе возможностей класса PID\_reg.
7. Increase/decrease fuel consumption – класс, реализующий функции управления общим расходом газа/воздуха, на основе данных класса PID\_reg.
8. Change angle of smoke gate – класс изменяет положение шиберы дымовой трубы, на основе данных класса PID\_reg.
9. Add/remove number of regenerators gate – класс, выполняющий функцию введения/выведения при необходимости в работу дополнительного регенератора.
10. PID\_reg – класс, используемый для реализации алгоритма ПИД-регулирования при управлении положением шиберы дымовой трубы, общим расходом газа/воздуха и поворотом шиберы дымовой трубы.

Данная диаграмма позволяет представить в графической форме классы, используемые в программе, что дает разработчикам более полное понимание отношений между компонентами ПО.

Выполнен системный анализ технологического процесса управления варкой стекла. Выделены компоненты, участвующие в нем, связи между ними и другими процессами. Полученные результаты в виде диаграмм UML положены в основу построения системы автоматизированного управления технологическим процессом варки стекла.

Предложенный подход к построению автоматизированной системы управления технологическим процессом варки стекла обеспечивает целостность системы управления, позволяет реализовать весь комплекс возложенных на нее функций, унифицирует и упрощает процесс ее проектирования.

### Список литературы

1. Вендров А.М. Методы и средства моделирования бизнес-процессов // Информационный бюллетень Jet Info. – 2004. - № 10 (137). - М. : Джет Инфо Паблишер, 2004. – 32 с.
2. Куранов С.В. Нечеткое моделирование в проектировании АСУ ТП варки стекла / С.В. Куранов, Д.Ю. Петров, В.А. Иващенко // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-22 : сб. тр. XXII Междунар. науч. конф. : в 11 т. / под общ. ред. д.т.н., проф. В.С. Балакирева. – Иваново : Изд-во Ивановского гос. хим.-технол. ун-та, 2009. - Т. 11. Летняя Школа молодых ученых. - С. 272-275.
3. Куратовский К. Теория множеств / К. Куратовский, А. Мостовский / пер. с англ. М.И. Кратко под ред. А.Д. Тайманова. - М. : Мир, 1970. - 416 с.

- 4 Макаров Р.И. Управление качеством листового стекла (флоат-способ) / Р.И. Макаров, В.В. Тарбеев, Е.Р. Хорошева. - М. : АСВ, 2002. - 192 с.
5. Трофимов С.А. CASE-технологии: практическая работа в Rational Rose. - М. : Бином-Пресс, 2002. - 288 с.

**Рецензенты:**

Якунин Александр Николаевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, заведующий сектором лаборатории системных проблем автоматизации и управления Института проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов.

Твердохлебов Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории проблем автоматизации и управления Института проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов.