

УДК 001.891.573

Д. И. Басырова, А. П. Кирпичников, О. Т. Шипина

СИСТЕМА БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Ключевые слова: техпроцесс, регенерация, сети Петри, моделирование.

Рассматривается трехкомпонентная полимерная композиция: нитроцеллюлоза – целлюлоза - пластификатор. В качестве аппаратного оформления техпроцесса регенерации полимерной композиции использован пульсационный массообменный аппарат. Для моделирования системы безопасности техпроцесса регенерации предложен математический аппарат модифицированных сетей Петри. Построена модель аппарата регенерации и рассмотрены нештатные ситуации. Построена программная реализация модели системы безопасности аппарата в среде Трейс Моуд.

Keywords: Technological process, regeneration, Petri nets, modeling.

Under consideration is a three-component polymer composition: nitrocellulose-cellulose-plastificator (softener). The hardware design used for the technological process of polymer composition regeneration was the pulsating mass exchanging apparatus. In order to ensure the proper security for the regeneration technological process there is the proposed mathematical apparatus of the modified Petri nets. The apparatus model has been built and the freelance situations of the regeneration process have been examined. Additionally, the software implementation for the security system model was constructed in the Trace Mode environment.

Введение

Чрезвычайно актуальна задача утилизации устаревших полимерных композиций на основе целлюлозы и нитроцеллюлозы. Одним из перспективных направлений считается регенерация составных компонентов методом пульсационного экстрагирования. В работе рассматривается трехкомпонентная модельная композиция «пластификатор – нитроцеллюлоза (НЦ) – целлюлоза (Ц)». В качестве аппаратного оформления техпроцесса регенерации оборудования был предложен пульсационный массообменный аппарат непрерывного действия [1], представляющий собой две U-образные колонны с противоточным пульсационным транспортированием твердой фазы. Установка работает следующим образом.: В питающую емкость 2 из измельчителя 1 подаются частицы твердой фазы (полимерной композиции), где они замачиваются экстрактом-хлорметиленом(ХМ), поступающим из сборника 9 через дозатор 7. Питающий насос 3 подает суспензию в U-образную колонну 5, а также производит перемешивание суспензии в питающей ёмкости 2, путем ее рециркуляции. В колонне 5 происходит извлечение пластификатора хлорметиленом в противоточном режиме.

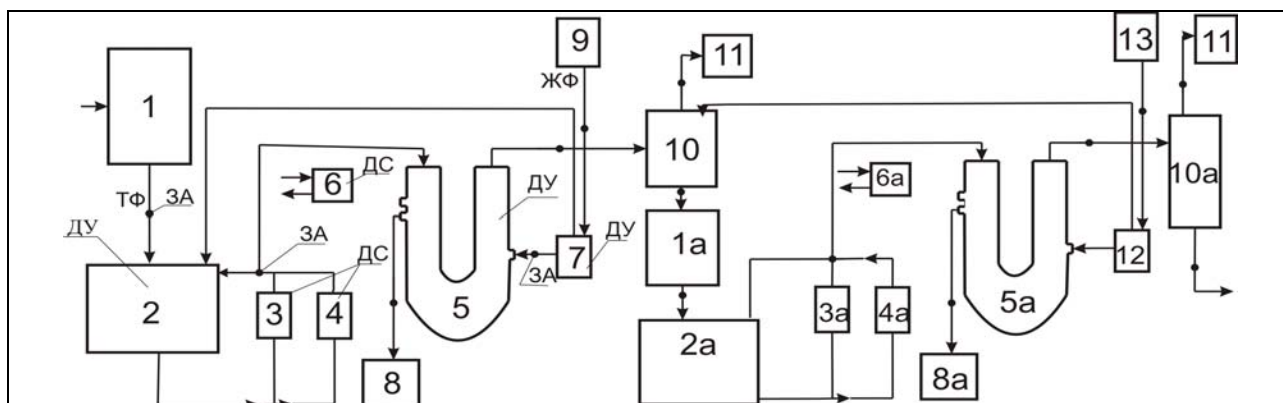


Рис. 1 - Технологическая схема пульсационной установки: ДУ–датчик уровня; ЗА–запорная арматура; ТФ–твердая фаза; ЖФ–жидкая фаза измельчитель(1); напорная емкость(1а); 2-бак-питатель; 3(3а)-питающий насос; 4(4а)- резервный насос; 5-экстракционная колонна; 6(6а)- пульсатор; 7 - дозатор ХМ; 8- система кондинцирования ХМ; 8а - система кондинцирования АЦ и НЦ; 9- сборник ХМ; 10(10а)-отпарная колонна;11-конденсатор ХМ; 12-дозатор АЦ; 13- сборник АЦ

В верхнюю часть колонны 5 из емкости 9 непрерывно поступает свежий экстрагент. который, пройдя через движущийся снизу вверх слой твердой фазы, отводится в ёмкость 8. На линиях установлена запорная арматура: на входе в колонну 5, на входе в питающую ёмкость 2, на байпасирование насоса 3 (4). Противоточное перемещение слоя твердой фазы в аппарате производится подводом импульсов из пульсатора 6. Установка работает в псевдонепрерывном режиме - частота перемещения (пульсаций) слоя составляет от 0,05 до 0,2 Гц. Из колонны 5 твердая фаза отправляется через отпарную колонну 10 в напорную емкость 1а, а жидкая фаза в кристаллизатор 11. Жидкая фаза после отделения пластификатора вновь используется для экстрагирования в U-образной колонне 5.

Твердая фаза, содержащая целлюлозу и нитроцеллюлозу, поступает на вторую ступень экстрагирования для регенерации НЦ ацетоном. Нитроцеллюлоза растворяется в ацетоне и за счет пульсаций экстрагируется из полимерных частиц. Как видно из схемы, техпроцесс на второй ступени реализуется аналогично техпроцессу на первой ступени

Обсуждение результатов исследования

Технологические особенности полимерных композиций на основе НЦ предъявляют высокие требования к безопасности производства, поэтому основной целью системы управления является блокировка материальных потоков и отключение агрегатов при нештатных ситуациях.

В рамках системного подхода при исследовании, автоматизации, проектировании, оптимизации важнейшим этапом является моделирование [1]. Анализ принципов действия систем управления показал, что для моделирования их целесообразно использовать математический аппарат теории сетей Петри [2].

Теоретико-графовым представлением сети Петри является двудольный ориентированный мультиграф $G = (V, A)$, где $V = \{u_1, u_2, \dots, u_s\}$ - множество вершин, а $A = \{a_1, a_2, \dots, a_t\}$ - комплект направленных дуг, $a_i = (v_j, v_k)$, где $v_j, v_k \in V$.

Множество V может быть разбито на два непересекающихся подмножества P – множество позиций и T – множество переходов, таких, что $V = P \cup T$, $P \cap T = \emptyset$, и для любой направленной дуги $a_i \in A$, если $a_i = (v_j, v_k)$, тогда либо $v_j \in P$ и $v_k \in T$, либо $v_j \in T$, а $v_k \in P$.

Согласно терминологии, введённой Дж. Питерсоном, сеть Петри S задаётся набором $S = (P, T, I, O)$, где $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ - конечное множество позиций, $n > 0$,
 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ - конечное множество переходов, $m > 0$.
 Множество позиций и множество переходов не пересекаются. $P \cap T = \emptyset$.

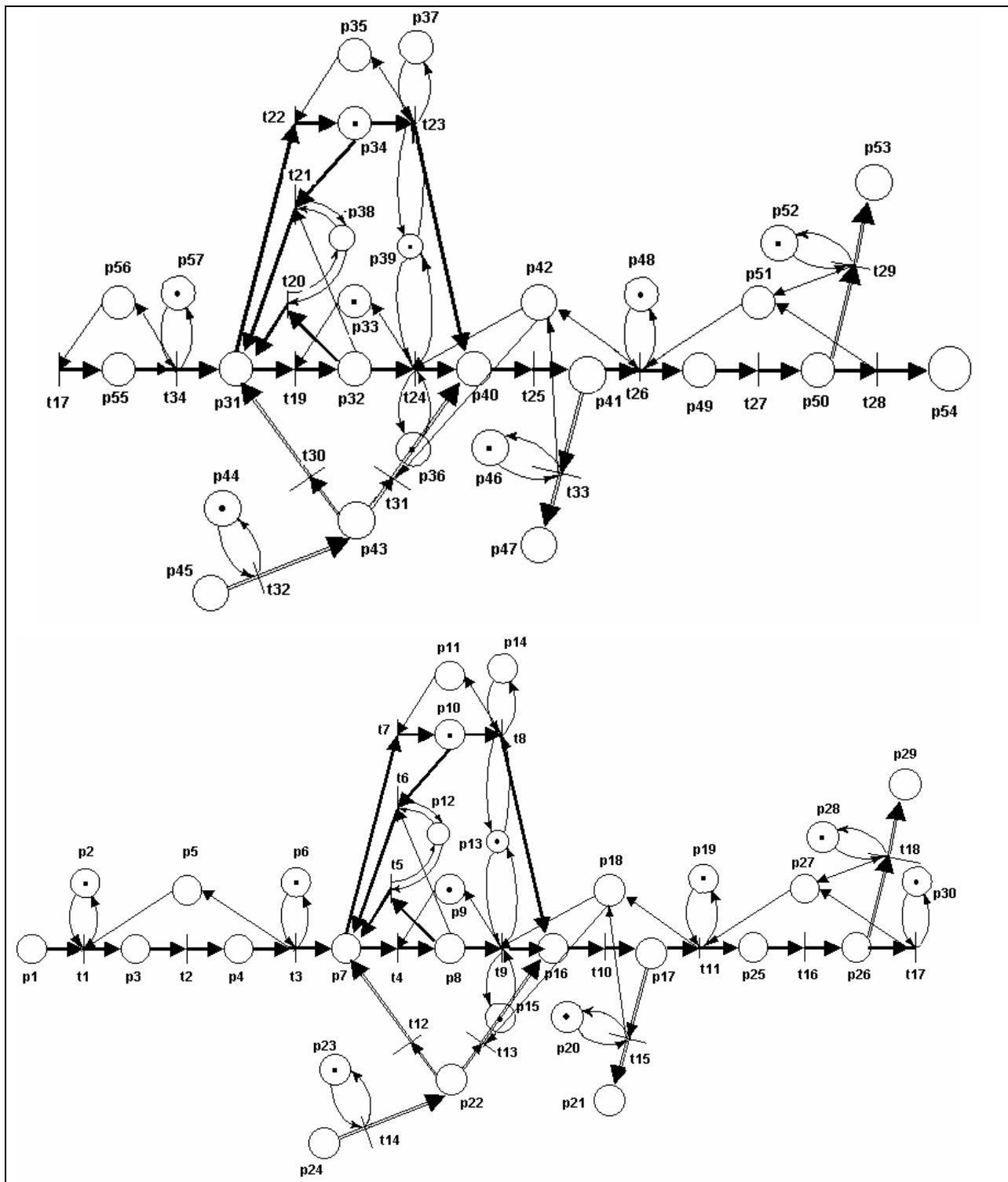


Рис. 1 - Графическое представление СП-модели пульсационной установки

$I: T \rightarrow P^\infty$ является входной функцией - отображением переходов в комплекты позиций.

$O: T \rightarrow p^\infty$ - выходная функция - отображение переходов в комплекты позиций.

Сеть Петри приобретает динамические свойства при введении понятия метки. Размещение меток по позициям сети называют её маркировкой.

Маркировка определена как n -мерный вектор $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$, где $n = |P|$ и каждое $\mu_j \in N$. $i = 1, \dots, n$. Вектор μ определяет для каждой позиции p_j количество меток в позиции. Маркированная СП $M = (C, \mu)$ есть совокупность структуры сети Петри и маркировки μ . и может быть записана в виде $M = (P, T, I, O, \mu)$. Здесь $I(t)$ описывает кратность входных мультидуг перехода a $O(t)$ – выходных мультидуг,

Маркировка позиции p при срабатывании перехода t изменяется по следующим правилам: если $\mu(p_j) > I(t, p_j)$ то $\mu(p_j) = \mu(p_j) - I(t, p_j) + O(t, p_j)$

Была построена модель в виде сети Петри (СП-модель) функционирования установки.

Графическое описание СП-модели представлено на рис.2

Принята следующая интерпретация СП-модели

Позиция p_1 моделирует емкость для твердой фазы, а позиции $p_{21}, p_{24}, p_{29}, p_{45}, p_{47}, p_{53}$ - емкости для жидкой фазы. Фрагмент $\{p_3, p_4, p_5\} \cup \{t_1, t_2, t_3\}$ моделирует измельчитель. Фрагмент $\{p_7\} \cup \{t_3, t_4, t_5, t_6, t_7\}$ моделирует бак-питатель 2; Фрагменты $\{p_8, p_9\} \cup \{t_4, t_9\}$ и $\{p_{10}, p_{11}\} \cup \{t_7, t_8\}$ моделируют сновной и резервный насосы (3 и 4) соответственно. $\{p_{13}\} \cup \{t_8, t_9\}$ - пульсационное устройство 6. $\{p_{16}, p_{17}, p_{18}\} \cup \{t_8, t_9, t_{10}, t_{11}, t_{15}\}$ - основной аппарат установки - U-образную колонну 5. $\{p_{25}, p_{26}, p_{27}\} \cup \{t_{11}, t_{16}, t_{17}, t_{18}\}$ моделирует отпарную колонну 10. $\{p_{55}, p_{56}\} \cup \{t_{17}, t_{34}\}$ - напорную емкость 1а, $\{p_{22}\} \cup \{t_{12}, t_{13}, t_{14}\}$ - дозатор ХМ 7.

Фрагменты $\{p_2\} \cup \{t_1\}$, $\{p_6\} \cup \{t_3\}$, $\{p_{14}\} \cup \{t_8\}$, $\{p_{15}\} \cup \{t_9\}$, $\{p_{23}\} \cup \{t_{14}\}$, $\{p_{20}\} \cup \{t_{15}\}$, $\{p_{28}\} \cup \{t_{18}\}$, $\{p_{30}\} \cup \{t_{17}\}$, $\{p_{57}\} \cup \{t_{34}\}$, $\{p_{36}\} \cup \{t_{24}\}$, $\{p_{37}\} \cup \{t_{23}\}$, $\{p_{44}\} \cup \{t_{32}\}$, $\{p_{46}\} \cup \{t_{33}\}$, $\{p_{48}\} \cup \{t_{26}\}$, $\{p_{52}\} \cup \{t_{29}\}$ моделируют запорную арматуру.

При такой интерпретации маршруты $\{t_1, t_3, t_4, t_9, t_{11}, t_{17}, t_{34}, t_{19}, t_{24}, t_{26}, t_{28}\}$ и $\{t_1, t_3, t_7, t_8, t_{11}, t_{17}, t_{34}, t_{22}, t_{23}, t_{26}, t_{28}\}$ моделируют движение твердой фазы, а маршруты $\{t_{14}, t_{13}, t_{10}, t_{15}\}$ и $\{t_{32}, t_{31}, t_{25}, t_{33}\}$ - движение жидкой фазы. Маршруты $\{t_3, t_4, t_5\}$, $\{t_3, t_7, t_6\}$, $\{t_{34}, t_{19}, t_{20}\}$ и $\{t_{34}, t_{22}, t_{21}\}$ моделируют движение суспензии по байпасной линии.

В сетевой модели учтены следующие возможные нештатные ситуации:

1. Встал пульсатор 6.
2. Остановка выгрузки твердой фазы на выходе из колонны 5.
3. Остановка насоса 3.
4. Прерывание отвода жидкой фазы из колонны.
5. Остановка подачи твердой фазы в бак-питатель 2.
6. Встал пульсатор 6а.
7. Остановка выгрузки твердой фазы на выходе из колонны 5а.
8. Остановка насоса 3а.
9. Прерывание отвода жидкой фазы из колонны 5а.
10. Остановка подачи твердой фазы в бак-питатель 2а.

При нештатной ситуации перекрываются материальные потоки. Рассмотрим действия системы управления на примере остановки пульсатора:

1. отсекается подача смеси в колонну 5;
2. включается байпасная линия;

3. отсекается подача жидкой и твердой фазы в бак-питатель;
4. отсекается отвод жидкой фазы из колонны 5;
5. отсекается поток твердой фазы в напорную емкость 1а.

В СП-модели (табл.1) это реализуется следующим образом. Посредством срабатывания перехода $t35$ помещается метка в позицию $p12$ и удаляется метка из $p2$, $p6$, $p23$, $p19$, $p20$, $p11$ $p30$: $M(p2)=0$, $M(p6)=0$, $M(p23)=0$, $M(p12)=1$, $M(p20)=0$, $M(p13)=0$, $M(p30)=0$, $M(p19)=0$. Остальные нештатные ситуации моделируются аналогично, их графическое описание представлено в табл.1.1

Программное обеспечение системы управления реализовано на языке программирования Borland Delphi 7.0 и в графической среде Трейс Моде 5.1. Реализован следующий подход для решения задачи функционирования СУ.

1. Синтезированный граф сети Петри моделирует структуру СУ и установки (количество аппаратов, их расположение в технологической цепочке, схему сопряжения между аппаратными стадиями). Выполнение сети Петри моделирует функционирование СУ. СП-модель СУ, кодируется в матрично-цифровой форме - исходной информации для программного комплекса.

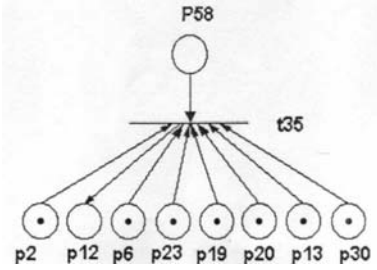
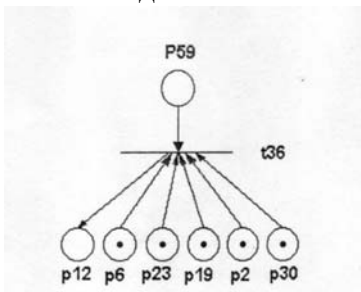
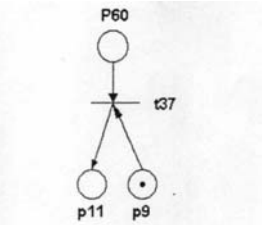
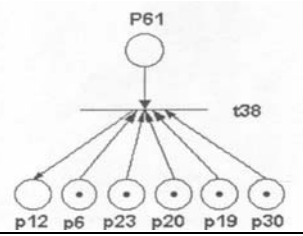
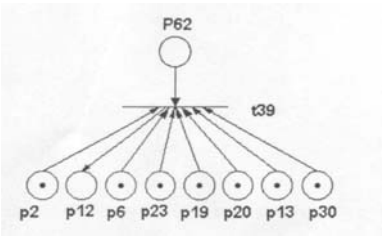
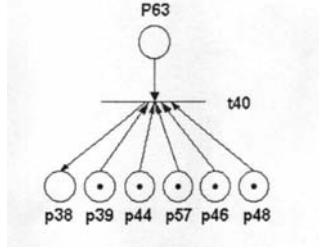
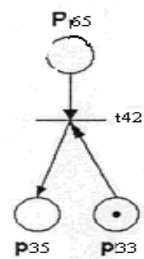
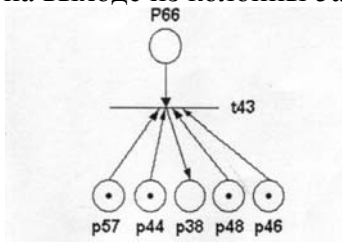
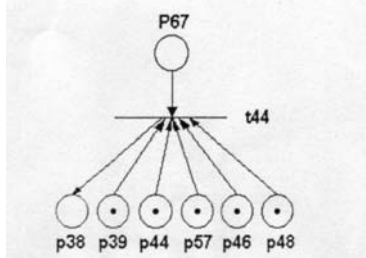
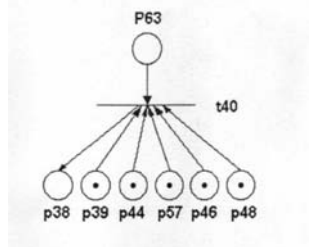
2. Компьютерно реализуется выполнение СП, моделирующей СУ: согласно правилам, задаваемым входной и выходной функциями, перемещается заданное количество меток заданного цвета из позиции в позицию. Поскольку модель создана для квантифицированного времени, то реализуются все возможные переходы на заданный временной интервал.

3. Информация о нештатных ситуациях считывается с датчиков и передается в единый информационный массив как маркировка сети СП. В результате инициализируется моделируемая ситуация системы управления и запускается выполнение СП-модели.

4. После выполнения СП, моделирующей систему управления, в соответствии с конечной маркировкой программно реализуются и графически отображаются на экране результаты реакции системы управления на нештатную ситуацию. Соответственно в системе управления должна сработать запорная арматура, перекрывающая материальные потоки.

5. Реакция на возмущающие воздействия (прерывание материальных потоков) отображается в главном окне СУ (рис. 4).

Таблица1 - Модели нештатных ситуаций

<p>Модель остановки пульсатора</p> 	<p>Модель остановки выгрузки твердой фазы на выходе из колонны</p> 
<p>Модель остановки насоса 3</p> 	<p>Модель прерывания отвода жидкой фазы из колонны</p> 
<p>Модель остановки подачи твердой фазы в бак-питатель 2</p> 	<p>Модель остановки пульсатора ба</p> 
<p>Модель остановки насоса на второй фазе</p> 	<p>Модель остановки выгрузки твердой фазы на выходе из колонны 5а</p> 
<p>Модель остановки</p> 	<p>Модель остановки</p> 

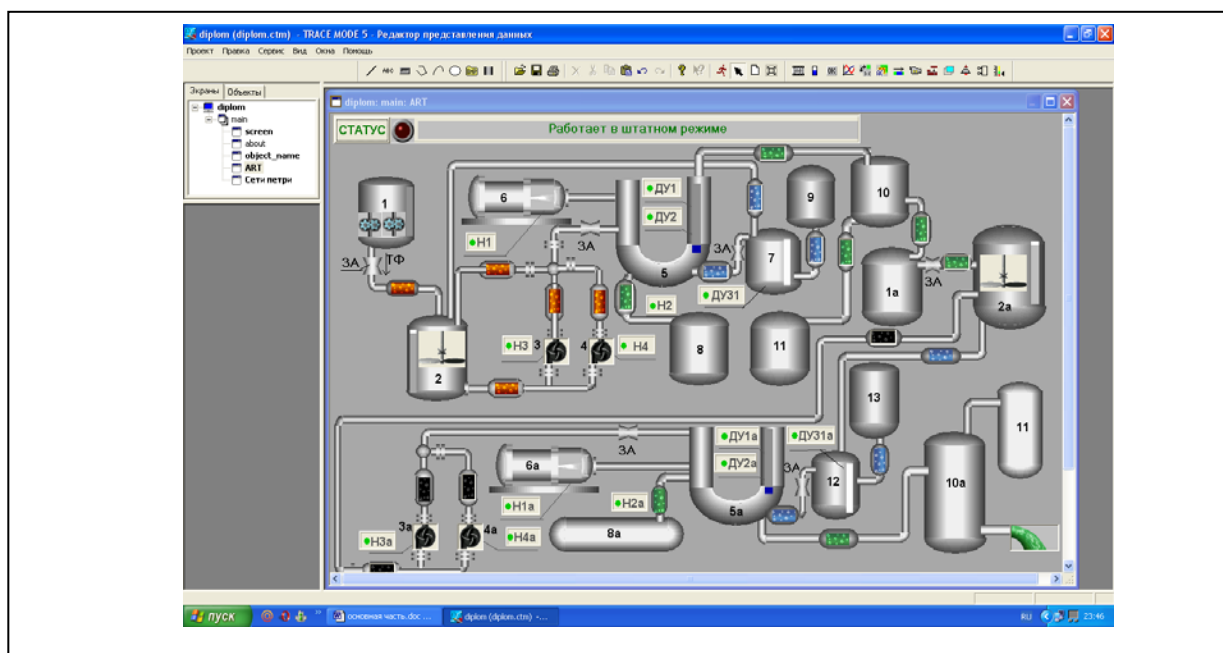


Рис. 2 - Основное окно программного комплекса

Таким образом, на основе моделей разработано программное обеспечение системы управления технологической безопасностью установки.

Учитывая особенности пульсационной аппаратуры: количество движущихся механизмов в установке минимально, рабочие зоны можно надежно изолировать, отдельные узлы установки можно разнести в пространстве и разместить в отдельных помещениях, а система управления обеспечит быстрое прерывание техпроцесса при экстремальных ситуациях - можно утверждать о высокой безопасности оборудования.

Литература

1. Дьяконов, С.Г. Оптимальное проектирование промышленных аппаратов химической технологии на основе физического и математического моделирования/ Дьяконов С.Г., Елизаров В.И.// Вестник Казан. технол. ун-та. – 2010. - №4. – С. 131-140
2. Басыров, И. Р. Моделирование ХТС производства эфиров целлюлозы с использованием математического аппарата цветных сетей Петри / И.Р. Басыров, Ю.И. Азимов, Г.Н. Марченко // «Тепломассообменные процессы и аппараты химической технологии», Тематический сборник научных трудов Вестника КГТУ. - Казань: 1998.
3. Гордилов, Б.В. Способ непрерывной отмывки нитроцеллюлозы от примеси / Б.В. Гордилов, А.Д. Васенев, А.В. Косточко, О.Т. Шипина // Пат. РФ № 94008110.

© Д. И. Басырова – сотр. КГТУ; А. П. Кирпичников – д-р физ.-мат. наук, проф., зав. каф. интеллектуальных систем и управления информационными ресурсами КГТУ, kirpichnikov@kstu.ru; О. Т. Шипина – д-р техн. наук, проф. каф. химии и технологии высокомолекулярных соединений КГТУ.