

МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ДИСКРЕТНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ С ТЕРНАРНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ АППАРАТУРНЫХ СТАДИЙ

Акад. Сидельников С.И.

В работе рассматриваются синтез моделей системы логического управления периодическими ХТС со сложным аппаратным оформлением. Приведены классификационные признаки процессно-аппаратного оформления периодическими ХТС со сложным аппаратным оформлением. Приведены примеры типовых моделей взаимодействий аппаратных стадий с тернарным взаимодействием и их применение для синтеза СЛУ конкретных производств.

Ключевые слова: аппарат периодического действия, модель смены состояний, модель взаимодействий, сеть Петри.

На этапе алгоритмического проектирования управляющего автомата (УА) системы логического управления (СЛУ) осуществляется переход от содержательного текста технического задания к математическому описанию УА. Этот этап проходит в тесном взаимодействии заказчика и разработчика. Процедура взаимодействия заказчика и разработчика в основном не формализована, и составление алгоритма является наиболее творческим и трудоемким этапом проектирования. Эта проблема в большей степени проявляется при построении моделей управления периодическими процессами химической технологии со сложным аппаратным оформлением.

Для автоматизации этого этапа было решено ряд задач.

1. Изучены типовые режимы взаимодействий аппаратов периодического и полунепрерывного действия.
2. Определены классификационные признаки процессно-аппаратного оформления взаимодействующих попарно - сопряженных стадий.
3. Разработаны типовые математические модели взаимодействий аппаратных стадий на языке маркированных графов – сетей Петри.
4. Предложена формализованная процедура синтеза совокупной сетевой модели из типовых моделей взаимодействий аппаратных стадий, которая не выводит модель из класса правильных сетей Петри, тем самым отпадает наиболее трудоемкий этап – проверки сети на правильность по графу достижимых формирований.
5. Разработан пакет программ автоматизированного построения и имитационного моделирования систем логического управления химико - технологической системы (ХТС).

С целью исключения межцикловых простоев оборудования, либо для обеспечения требуемого технологического режима, аппаратное оформление представляется группой однотипных, эквивалентных аппаратов. Эквивалентность характеризуется идентичностью конструкции аппаратов и технологических процессов, проводимых в них. Группа однотипных, параллельно включенных эквивалентных аппаратов образует *аппаратную стадию* ХТС.

Материальные связи между сопряженными аппаратурными стадиями образованы совмещенными технологическими материалопроводами - *коллекторами*. В общем случае каждый коллектор соединяет по одной или более чем по одной аппаратурной стадии. Совокупность технологических аппаратов, в которых протекают технологические операции, является пространственной организацией ХТС. В зависимости от цели функционирования ХТС изменяется как количество элементов (аппаратов), так и структура связей между ними. В этом случае встает задача управления организацией функционирования ХТС в рамках систем логического управления.

Этап разработки корректных моделей и алгоритмов функционирования СЛУ один из сложнейших. Автором [1,2], с целью автоматизации и более простого модельного описания дискретно-динамических систем химико – технологических производств (ХТП), предложено декомпозировать аппаратурное оформление сложной ХТС *на попарно сопряженные через коллектор аппаратурные стадии*.

Коллектора "жестко" определяют статическую структуру межаппаратных связей, однако динамическая структура межаппаратных связей за счет возможности транспортирования вещества из любого аппарата подающей стадии в любой из аппаратов приемной стадии носит мобильный характер. Такое аппаратурное оформление характерно для большинства производств химико-фармацевтической промышленности, производства химических реактивов и особо чистых веществ, и других производств малотоннажной химии. Причем довольно часто встречаются структуры, когда в одной из групп сопряженных аппаратурных стадий присутствует лишь один аппарат, в этом случае, как будет показано в дальнейшем, модельное описание таких структур в значительной степени проще. В тоже время анализ процессно-аппаратурного оформления ряда производств, показал, что во многих случаях имеет место попарно включенные в некоторых случаях параллельно работающие насосы, один из которых рабочий, второй – в автоматическом резерве.

Таким образом, *по степени сложности аппаратурного оформления* выделим шесть групп:

а) аппаратурные взаимодействующие стадии образованы множеством параллельно включенных аппаратов (рисунок 1а);

б) подающая стадия представлена одним аппаратом, а приемная - множеством параллельно включенных аппаратов (рисунок 1б);

с) подающая стадия представлена множеством параллельно включенных аппаратов, а приемная - единственным аппаратом (рисунок 1в);

д) подающая стадия образована множеством параллельно попарно включенных попеременно работающих насосов, а приемная множеством аппаратов, включенных параллельно (рисунок 1г);

е) подающая стадия представлена двумя попеременно работающими насосами, а приемная множеством параллельно включенных аппаратов (рисунок 1д);

f) подающая стадия представлена множеством параллельно попарно включенными попеременно работающими насосами, а приемная одним аппаратом (рисунок 1е).

Рассматривая процессное (технологическое) оформление химико-технологических производств различают *виды связей между аппаратурными стадиями*. Возможны варианты, когда взаимодействующие аппаратурные стадии образованы:

- а) аппаратами периодического действия (АПД);
- б) аппаратами полунепрерывного действия (АПНД);
- с) одна из стадий представлена АПД, а другая - АПНД.

Процесс взаимодействия процессно-аппаратурных стадий определяется интерактивными режимами работы аппаратов. Этот режим проявляется в транспортировании реакционной массы по коллектору из аппарата (ов) подающей группы в аппарат (ы) приемной группы и характеризуется числом аппаратов, одновременно участвующих во взаимодействии, со стороны каждой группы, а также количеством аппаратурных стадий. Существование совмещенных материалопроводов между аппаратурными стадиями обуславливает существование совмещенных транспортных операций. Это либо слияние потоков транспортируемых масс, передаваемых из двух или более аппаратов, в одном приемном, либо разделение реакционной массы, передаваемой из одного подающего аппарата в несколько приемных.

Таким образом, если во взаимодействии от каждой стадии участвуют несколько аппаратов, то такое взаимодействие определим как *сложное*, а если во взаимодействии участвует по одному аппарату, то это взаимодействие определим как *простое*. Наиболее часто встречаются структуры, когда каждая из взаимодействующих стадий представлена единственным аппаратом. Для этого случая взаимодействия определяются как *простейшие*. В сложном взаимодействии, в свою очередь, выделяют *сложное – параллельное* и *сложное - последовательное*.

В первом случае коллектор используется одновременно для транспортировки потоков из нескольких (в частом случае из одного) аппаратов подающей стадии в несколько аппаратов (в частом случае в один) приемной стадии. Во втором случае для инициации всякого такого взаимодействия необходимо, чтобы со стороны каждой взаимодействующей аппаратурной стадии к взаимодействию было готово строго определенное число аппаратов, но в дальнейшем взаимодействие осуществляется как простое, т.е. во взаимодействии участвует по одному аппарату.

По количеству аппаратурных стадий, одновременно участвующих в интерактивном режиме, различают:

- а) парные (бинарные) взаимодействия - во взаимодействии принимают участие аппараты двух стадий (рисунок 1 а, б, в, г, д, е);
- б) тернарные - аппараты трех стадий (рисунок 2 а);
- с) и в общем случае N-арное взаимодействие (рисунок 2 б, в).

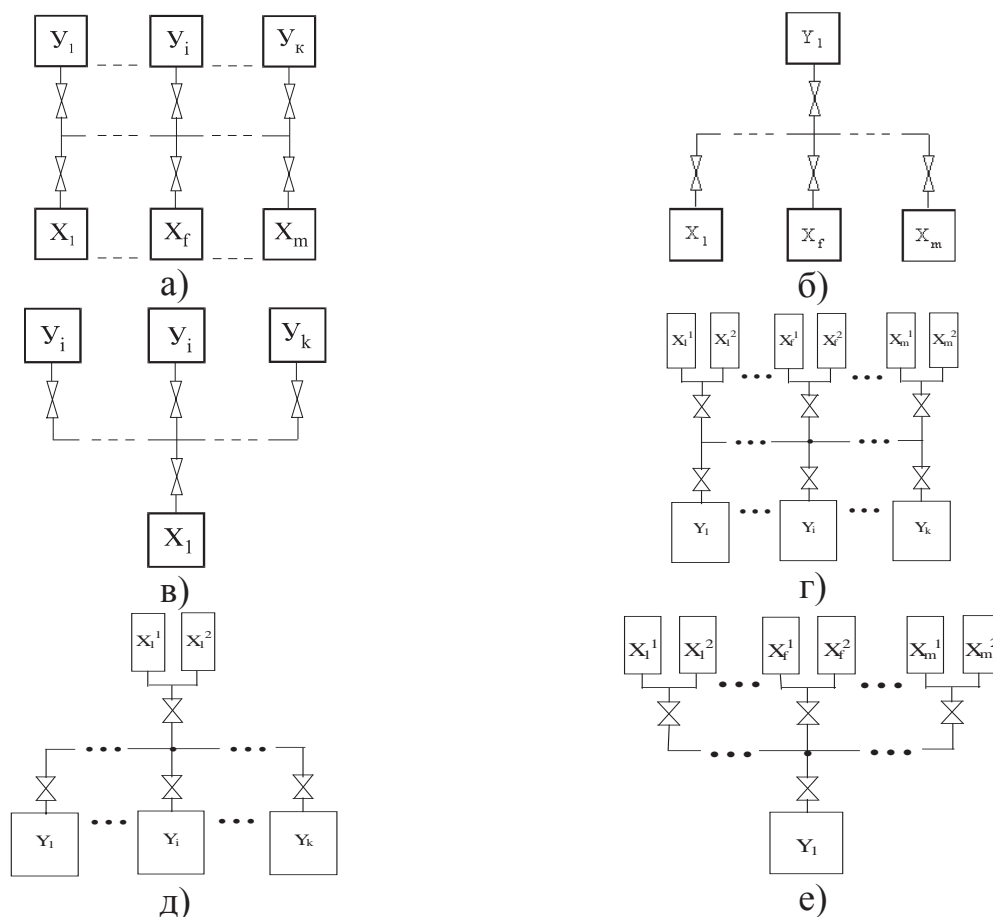


Рисунок 1 - Структурные схемы аппаратного оформления взаимодействий аппаратов и стадий

Тернарные взаимодействия имеют место, когда интерактивный режим работы периодических аппаратных стадий организуется через аппарат полунепрерывного действия (промежуточные емкости, попеременно работающие адсорберы, фильтры и т.п.).

Для стадий, образованных аппаратами периодического действия, будем различать **характер окончания интерактивного режима** - дискретная порция или полный объем транспортируемой реакционной массы. В первом случае реакционную массу готовят в одном аппарате подающей группы и передают одинаковыми порциями в разные моменты времени (в общем случае объем порции может быть разным) в аппараты (аппарат) приемной группы. Таким образом, окончанием интерактивного режима служит выгрузка определенного объема порции реакционной массы от объема приготовленной. Во втором случае объем приготовленной массы выгружается полностью в приемный аппарат. Рассмотренные выше характеристики процессно-аппаратного оформления определим как *классификационные признаки процессно-аппаратного оформления взаимодействующих попарно - сопряженных стадий* (рисунок 3).

Вследствие различных внешних и внутренних условий каждый раз может изменяться продолжительность технологического цикла аппарата периодического действия. Это, в свою очередь, приводит к тому, что всякий аппарат из группы подающей или (и) приемной стадии имеет различный период

готовности включиться в интерактивный режим работы, что приводит к различным вариантам коммутации аппаратов для осуществления режима взаимодействия.

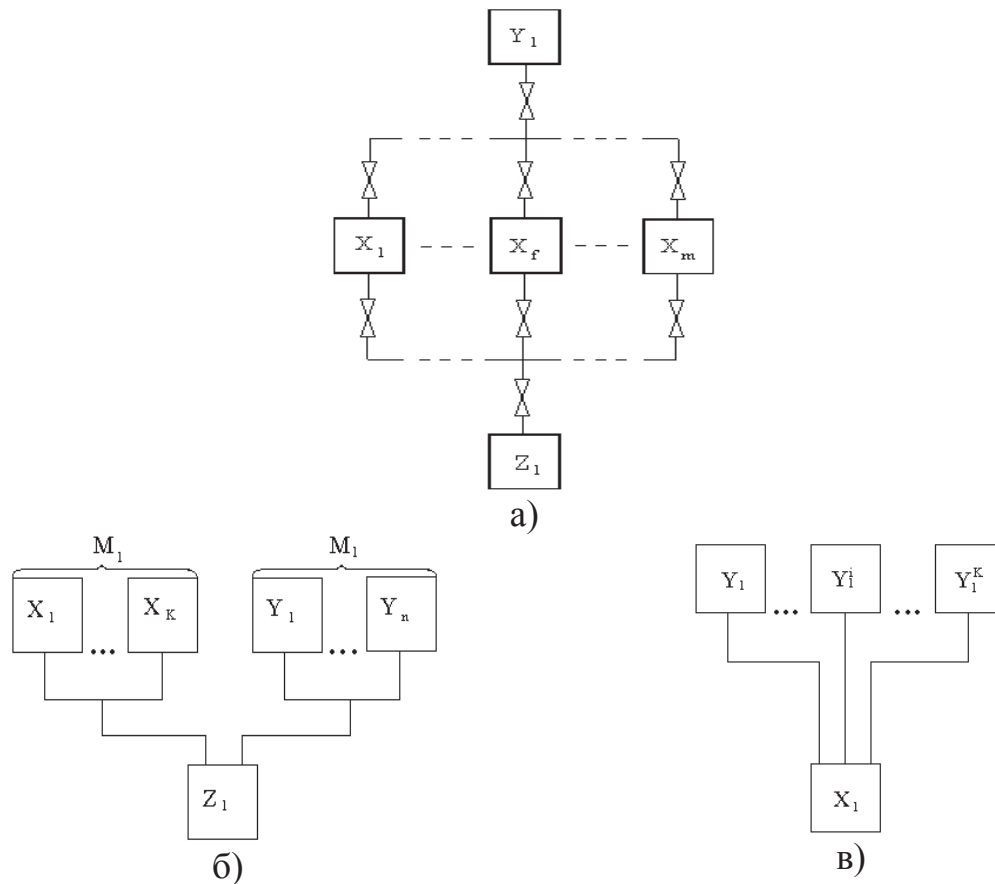
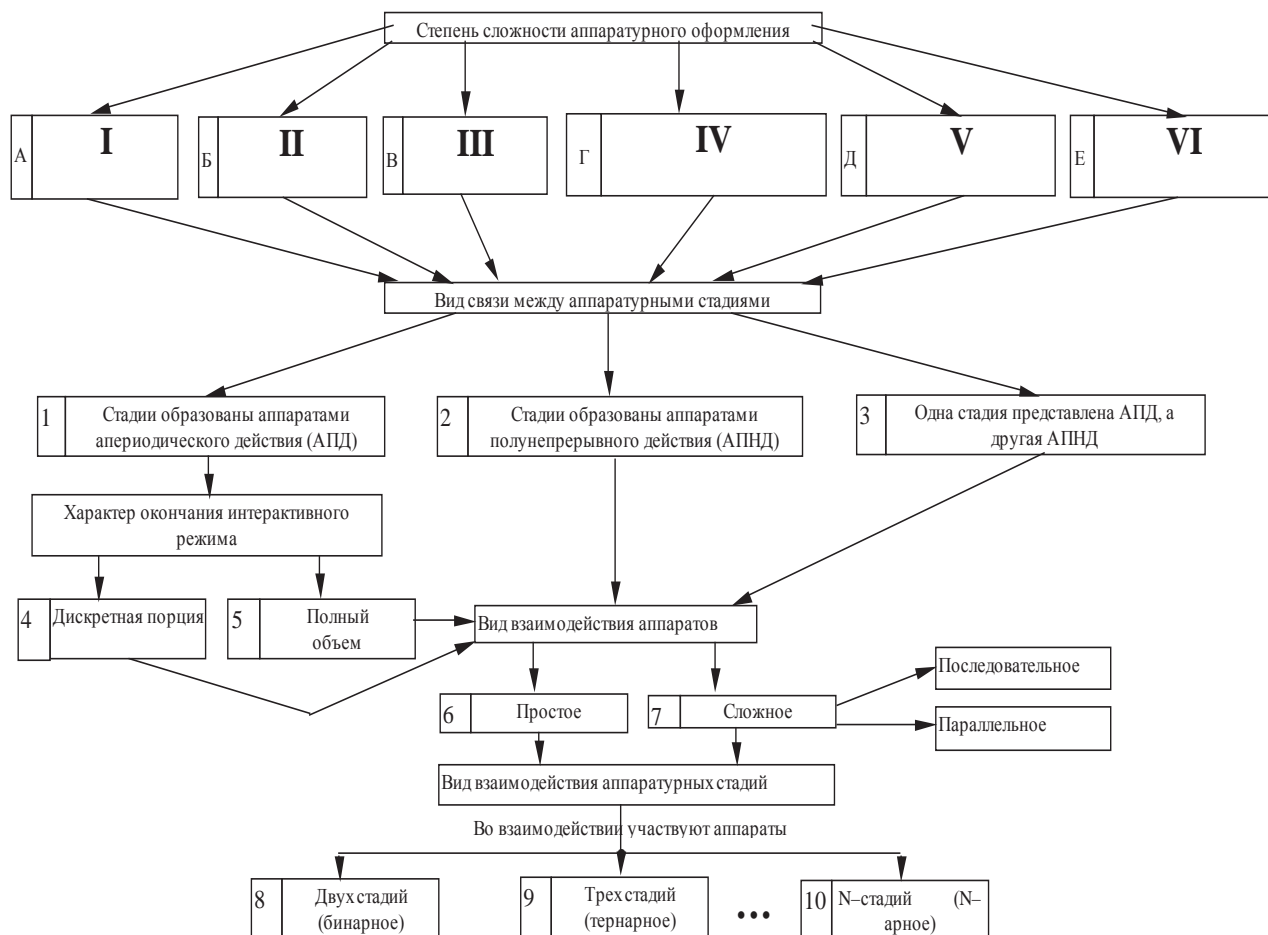


Рисунок 2 - Структурные схемы аппаратного оформления взаимодействий стадий

Это определяет перестраиваемость динамической структуры попарно сопряженных аппаратных стадий и проявлению в целом гибкости организации процессно-аппаратного оформления ХТП.

Перестраиваемость динамической структуры имеет определяющее значение в условиях гибких ХТП, для многих из которых характерна инвариантность (независимость) элементарных процессов относительно их аппаратного оформления, т.е. для одного определенного аппаратного оформления имеются различные варианты технологических маршрутов для производства целевых продуктов. Взаимодействие технологических аппаратов периодического и полунепрерывного действия, а также образованных ими аппаратных стадий представляет собой дискретный процесс. Так как при этом отсутствует жесткая фиксация связей между аппаратами, а эти связи каждый раз устанавливаются в процессе работы схемы (причем существует множество возможных способов коммутации аппаратов и режимов взаимодействия согласно классификационным признакам), то возникает задача организации управления процессом их коммутации в рамках СЛУ или для краткости определим как задачу управления взаимодействием технологических аппаратов.



I - Аппаратурные взаимодействующие стадии образованы множеством параллельно включенных аппаратов

II - Подающая стадия представлена одним аппаратом, а приемная множеством параллельно включенных аппаратов

III - Подающая стадия представлена множеством параллельно включенных аппаратов, а приемная единственным аппаратом

IV - Подающая стадия образована множеством параллельно попарно включенных попеременно работающих насосов, а приемная множеством аппаратов, включенных параллельно

V - Подающая стадия представлена двумя попеременно работающими насосами, а приемная множеством параллельно включенных аппаратов

VI - Подающая стадия представлена множеством параллельно попарно включенными попеременно работающими насосами, а приемная одним аппаратом

Рисунок 3 - Классификационные признаки процессно-аппаратурного оформления попарно взаимодействующих стадий

Автором [1,2] разработаны 21 типовые модели взаимодействий технологических аппаратов периодического и полунепрерывного действия, представленных в виде правильных РК-блоков. Предложен новый подкласс сетей Петри, РК-сети. Также определена формальная процедура наращивания моделей в виде РК-сетей аппаратов и аппаратурных стадий многостадийных производств. При этом отпадает трудоёмкая процедура построения и анализа дерева достижимых маркировок, для проверки сети Петри на принадлежность к классу правильных сетей, так как доказано, что формальная процедура стыковки РК-блоков не выводит получаемые сети из класса правильных.

В качестве примера рассмотрим наиболее структурно сложные типовые модели взаимодействий, из которых являются модели тернарных взаимодействий. Рассмотрим две типовые модели тернарных взаимодействий аппаратных стадий и приведем примеры их применения для синтеза СЛУ конкретных производств.

Первая моделирует простое тернарное взаимодействие, основная стадия представлена множеством $\{x_f / f=\overline{1,m}\}$ параллельно включенных аппаратов полунепрерывного действия; подающая стадия по отношению к основной представлена одним аппаратом y_1 полунепрерывного действия и приемная по отношению к основной стадии также единственным аппаратом z_1 полунепрерывного действия (рисунок 2 а). Окончание интерактивного режима - достижение режимного параметра заданного значения, а его временное прерывание может произойти в результате достижения уровня в приемной емкости z_1 верхнего предаварийного, либо уровень в подающей емкости y_1 меньше установленного рабочего. На рисунке 4 показан фрагмент сетевой модели, отражающий этот тип процесса взаимодействия аппаратных стадий, определенный в [2], как 9-ый типа взаимодействия.

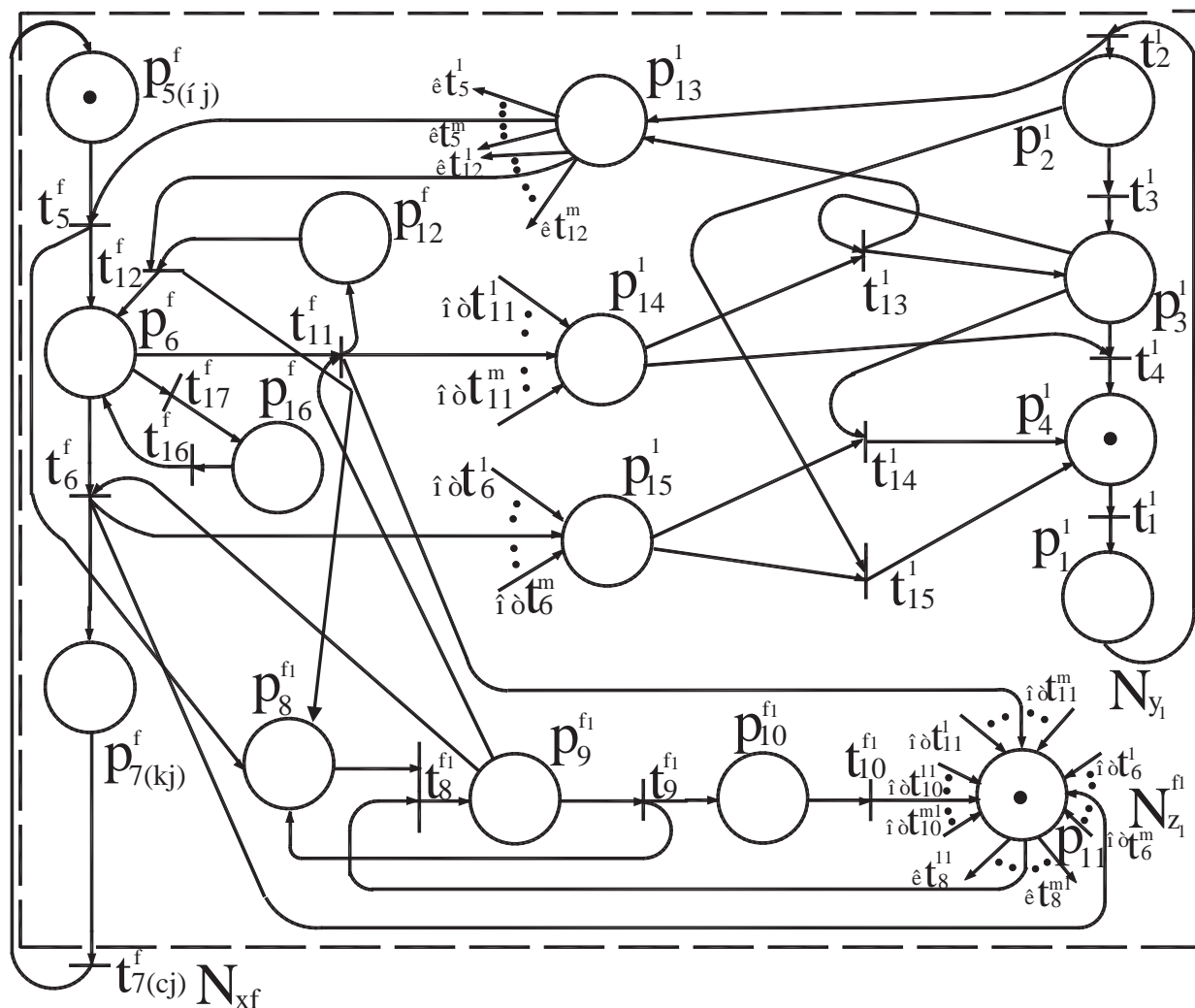


Рисунок 4 - Сетевая модель (РК-сеть) девятого типа взаимодействий аппаратов

Локальный узел N_y^1 , определяемый множеством $\{p_1^1, p_2^1, p_3^1, p_4^1, t_1^1, t_2^1, t_3^1, t_4^1\}$ моделирует смену состояния аппарата u_1 , узел N_{xf} определяемый множеством $\{p_5^f, p_6^f, p_7^f, t_5^f, t_6^f, t_{17}^{f1}\}$ моделирует аппарат x_f основной стадии, а узел N_Z^{f1} определяемый множеством $\{p_9^{f1}, p_{10}^{f1}, t_7^{f1}, t_8^{f1}, t_9^{f1}\}$ совместно с позицией p_{11} , которая является общей по отношению к множеству узлов $\{N_Z^{f1} / f = \overline{1, m}\}$ моделирует аппарат z_1 . Три соединенных узла, представленные позициями $p_{13}^1, p_{14}^1, p_{15}^1$ служат для связи локального узла N_y^1 с множеством узлов $\{N_{xf} / f = \overline{1, m}\}$, а множество соединительных узлов p_8^{f1} служит для связи узла N_Z^{f1} с соответствующим узлом N_{xf} .

Рассмотрим функционирование связывающей сети этого типа процесса взаимодействия с помеченными в начальной стадии маркировке позициями p_4^1, p_5^f, p_{11} . Начало интерактивного режима работы аппарата u_1 , связанного с его загрузкой химическим реагентом, осуществляется при наличии рабочего уровня в подающем аппарате предшествующей аппаратурной стадии. Срабатывает переход t_1^1 . При этом позиция p_4^1 лишается метки, а позиция p_1^1 получает метку. Как только уровень в аппарате u_1 поднимается до установленного рабочего, срабатывает переход t_{12}^1 , в результате чего позиция p_1^1 теряет метку, а позиции p_2^1 и p_{13}^1 получают метки. Попадание метки в соединительную позицию p_{13}^1 и наличие метки в позиции p_5^f приводит к срабатыванию перехода t_5^f , при этом эти позиции освобождаются от меток, а в позиции p_6^f, p_8^{f1} метки вносятся.

Наличие метки в позициях p_8^{f1} и p_{11} влечет за собой срабатывание перехода t_8^{f1} , эти позиции лишаются меток, а в позицию p_9^{f1} помещается метка. В этой маркировке интерактивный режим работы трех аппаратов оказывается коммутированным. В состоянии, которое определяется последней маркировкой позиции p_2^1, p_6^f, p_9^{f1} возможно совершение одного из четырех событий:

- достижение режимного параметра заданного значения в аппарате основной стадии (это может быть время, уровень и т.д.) – данное событие сопоставлено переходу t_6^f ;
- верхний предаварийный уровень в приемной емкости z_1 (прекращение выгрузки или уменьшение расхода по сравнению с приходом) – данное событие сопоставлено переходу t_9^{f1} ;
- уровень в подающей емкости u_1 меньше установленного рабочего (прекращение подачи реагента с предыдущего аппарата или уменьшение прихода по сравнению с расходом);
- уровень в подающей емкости u_1 - верхний предаварийный.

При возникновении первого события запускается переход t_6^f , в результате чего освобождается от меток позиция p_6^f, p_9^f , а в позиции p_7^f, p_{11}, p_{15}^1 помещаются метки. Появление метки в позиции p_7^f приводит аппарат x_f в состояние, сопоставленное соответственно этой позиции. Попадание метки в позицию p_{11} соответствует состоянию аппарата z_1 , интерпретированному как ожидание загрузки, а появление метки в позиции p_{15}^1 приводит к освобождению коллектора, связывающего аппарат u_1 и группу эквивалентных аппаратов $\{x_f / f = \overline{1, m}\}$ основной стадии. Наличие метки в позиции p_2^1 и появление

ее в позиции p_{15}^1 приводит к срабатыванию перехода t_{14}^1 , в результате чего позиции p_2^1 , p_{15}^1 теряют метки, а в позицию p_4^1 метка вносится. Эти условия определяют окончание интерактивного режима работы аппаратов u_1 , z_1 через аппарат x_f и переводят их в начальные состояния – ожидание загрузки, метки в позициях p_4^1 и p_{11} .

При возникновении второго события - верхний предаварийный уровень в приемной емкости z_1 (прекращение выгрузки или уменьшение расхода по сравнению с приходом) запускается переход t_9^{fl} , после чего позиция p_9^{fl} освобождается от метки, а позиции p_8^{fl} , p_{10}^{fl} получают метки. Наличие метки в позиции p_8^{fl} соответствует состоянию ожидания выгрузки аппарата x_f , а попадание метки в позицию p_{10}^{fl} переводит аппарат z_1 в состояние ожидания конца выгрузки, которое заканчивается событием – рабочий уровень, при срабатывании перехода t_{10}^{fl} , после чего аппарат z_1 перейдет в состояние ожидания загрузки, метка в позиции p_{11} . Последнее, в свою очередь, приводит к срабатыванию перехода t_8^{fl} , вследствие чего происходит возобновление первичного интерактивного режима работы аппаратов x_f , z_1 .

В состоянии, когда метки находятся в позициях p_{10}^{fl} , p_6^f , p_2^1 , возможно срабатывание перехода t_{17}^f , соотнесенного событию - верхний предаварийный уровень в аппарате x_f . При возникновении этого события срабатывает переход t_{17}^f . Позиция p_6^f теряет метку, а позиция p_{16}^f получит метку, что соответствует временному прерыванию взаимодействия между аппаратами u_1 и x_f . После возобновления взаимодействия между аппаратами x_f и z_1 (метки в позициях p_{16}^f , p_9^f) срабатывает переход t_{16}^f , сопоставленный событию - уровень в аппарате x_f не верхний предаварийный. В результате чего аппарат x_f переходит в интерактивный режим работы с аппаратом u_1 , тем самым прерванный режим взаимодействия трех аппаратов возобновляется.

По аналогии можно рассмотреть функционирование модели при возникновении третьего и четвертого события в маркировке p_{21} , p_6^f , p_9^{fl} .

Рассмотрим применение этой типовой модели для синтеза СЛУ отделением адсорбции гибкой блочно-модульной установки «Протон» производства травителей особой чистоты.

Адсорбционный модуль (рисунок 5) предназначен для адсорбционного удаления микропримеси (например, мышьяка из соляной кислоты) выполнен в виде двух попеременно работающих колон, заполненных активированным углём. При израсходовании адсорбционной ёмкости контроллер подает команду на переключение на другой адсорбер и регенерацию угля горячей водой исходного адсорбера. Соляная кислота из ёмкости (Сборник 1) через клапан поступает нижнюю часть одного из двух попеременно работающих адсорберов (Адс. 1,2). После адсорбции соляная кислота самотёком сливается в сборник 3, откуда далее насосом подаётся на модуль десорбции и промывки газа. Время защитного действия слоя (время до регенерации) 720 часов. Регенерация адсорбента производится водой особой чистоты (Сбор. 2), которая подогревается до 60-70 °С, и поступает через клапан в нижнюю часть адсорбера. Продолжительность регенерации цикла составляет 80 часов.

Функциональная структурно алгоритмическая модель управления модулем адсорбции гибкой блочно-модульной установки «Протон» приведена на рисунке 6. Для её создания были применены два РК-блока. Тернарное взаимодействие сборника кислоты (поз. Сбор.1), адсорберов (поз. Адс.1,2) и сборника очищенной кислоты (поз. Сбор.3) адекватно описывает РК-блок 9-ого типа взаимодействия [2]. Бинарное взаимодействие сборника воды особой чистоты (поз. Сбор.2) с адсорберами (поз. Адс.1,2) адекватно описывает РК-блок 8-ого типа взаимодействия [2].

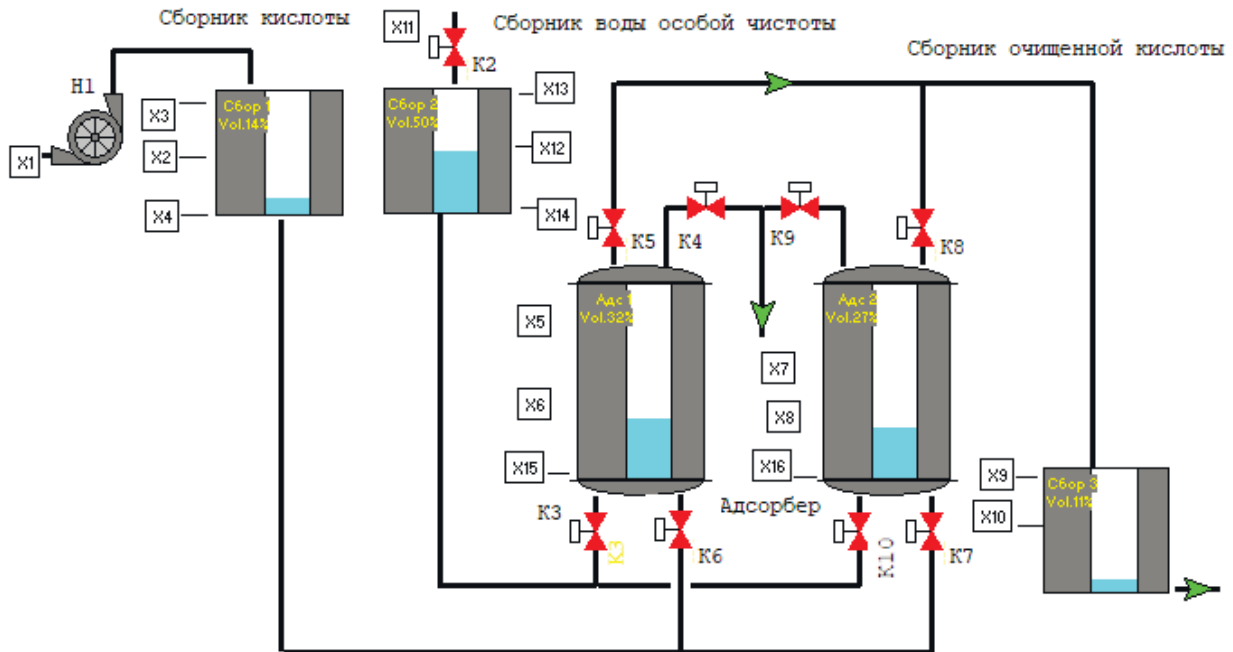


Рисунок 5 - Мнемосхема автоматизации модуля адсорбции

Произведем назначение входных и выходных переменных системы логического управления.

Входные переменные соответствуют дискретным преобразованным сигналам с датчиков и таймеров.

- X_1 – верхний уровень в складской ёмкости, содержащей кислоту;
- X_2 - рабочий уровень в сборнике поз.1, необходимый для начала режима взаимодействия с адсорберами;
- X_3 - верхний уровень в сборнике поз.1;
- X_4 - нижний уровень в сборнике поз.1;
- X_5 - время завершения операции адсорбции в адсорбере (поз. Адс.1);
- X_6 - время завершения операции регенерации адсорбера (поз. Адс.1);
- X_7 - время завершения операции адсорбции в адсорбере (поз. Адс.2);
- X_8 - время завершения операции регенерации адсорбера (поз. Адс.2);
- X_9 - верхний уровень в сборнике ос. ч. кислоты поз. 3;
- X_{10} - рабочий уровень в сборнике поз. 3;
- X_{11} - верхний уровень в складской ёмкости, содержащей воду ос. ч.;
- X_{12} - рабочий уровень в сборнике поз. 2, необходимый для начала режима взаимодействия с адсорберами;
- X_{13} - верхний уровень в сборнике поз. 2;

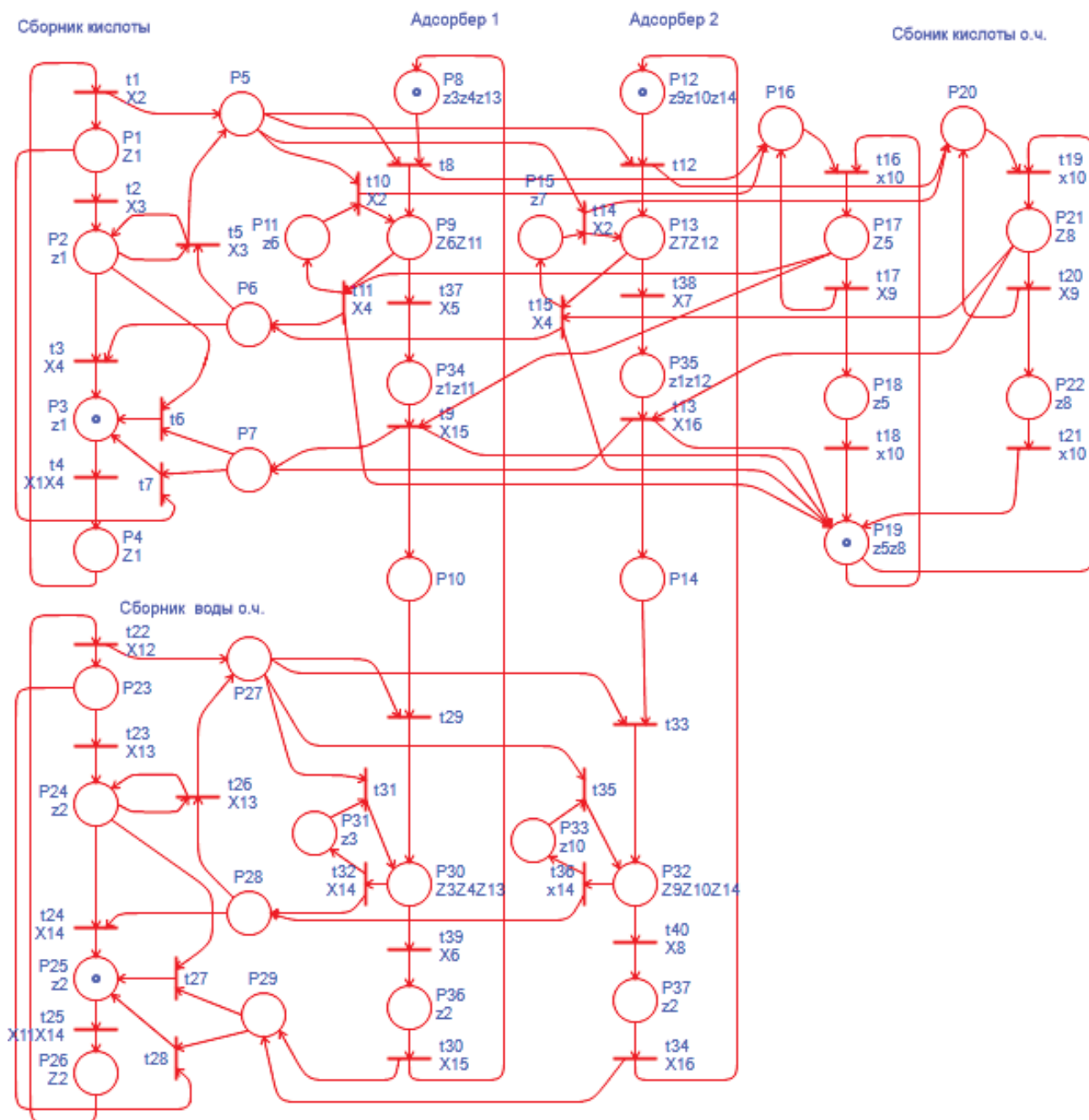


Рисунок 6 - Модель системы логического управления модуля адсорбции
(пояснение к рисунку: большая X_i соответствует достижению измеряемого параметра регламентного значения, а Z_j команда на включение исполнительного устройства, малые x_i и z_j инверсия, т.е. \bar{X}_i и \bar{Z}_j).

X_{14} - нижний уровень в сборнике поз. 2;

X_{15} - нижний уровень в адсорбере (поз. Адс.1);

X_{16} - нижний уровень в адсорбере (поз. Адс.2);

Выходные переменные соответствуют дискретным управляющим воздействиям.

Z_1 и \bar{Z}_1 - включение и выключение двигателя насоса поз. Н1;

Z_2 и \bar{Z}_2 - открытие и закрытие клапана поз. К2;

Z_3 и \bar{Z}_3 - открытие и закрытие клапана поз. К3;

Z_4 и \bar{Z}_4 - открытие и закрытие клапана поз. К4;
 Z_5 и \bar{Z}_5 - открытие и закрытие клапана поз. К5;
 Z_6 и \bar{Z}_6 - открытие и закрытие клапана поз. К6;
 Z_7 и \bar{Z}_7 - открытие и закрытие клапана поз. К7;
 Z_8 и \bar{Z}_8 - открытие и закрытие клапана поз. К8;
 Z_9 и \bar{Z}_9 - открытие и закрытие клапана поз. К9;
 Z_{10} и \bar{Z}_{10} - открытие и закрытие клапана поз. К10;
 Z_{11} и \bar{Z}_{11} – включение и выключение таймера для адсорбера (поз. Адс.1), операция адсорбции;
 Z_{12} и \bar{Z}_{12} – включение и выключение таймера для адсорбера (поз. Адс.2), операция адсорбции;
 Z_{13} и \bar{Z}_{13} – включение и выключение таймера для адсорбера (поз. Адс.1), операция регенерации;
 Z_{14} и \bar{Z}_{14} - включение и выключение таймера для адсорбера (поз. Адс.2) операция регенерации.

В таблицах 1 и 2 дана характеристика позиций-операций и переходов-событий, а также приведены соответственно функции пометок позиций и переходов для модели управления модулем адсорбции.

Отдельные этапы работы СЛУ модуля адсорбции можно проследить с применением пакета программ, функционирующего в режиме имитационного моделирования.

Начальная маркировка $M_0 = (P3, P8, P12, P19, P25)$ соответствует начальному состоянию модуля адсорбции, все аппараты пустые и клапана закрыты. В этой маркировке активны переходы $t4$ и $t19$, рисунок 7.

При срабатывании датчиков $X_1 = 1$ – верхний уровень в складской ёмкости, содержащей кислоту и $X_4 = 1$ - нижний уровень в сборнике поз.1 срабатывает переход $t4$ и происходит операция загрузки сборника поз. 1 кислотой из складской ёмкости, инициируемая открытием клапана $Z1$, что соответствует маркировке $M_1 = (P4, P8, P12, P19, P25)$, рисунок 8.

Если ввести дисциплину обслуживания по кольцу добавив позиции и дуги в модель $P38, P39, F(P38, t8), F(P39, t12), F(t9, P38), F(t13, P39)$, с пометкой позиции $P38$, то первый адсорбер вступит во взаимодействие, при срабатывании перехода $t8$, рисунок 9.

А так как в исходном состоянии уровень в приемном сборнике 3 не достиг рабочего состояния, то сигнал с датчика $x_{10} = 0$ запустит переход $t16$ и при маркировке $M_{i+1} = (P1, P9, P12, P17, P26)$, тернарное взаимодействие будет скоммутировано, рисунок 10. При достижении верхнего уровня в сборнике 1 ($x_3 = 1$), когда сток из сборника меньше притока процесс абсорбции продолжится при этом в этой маркировке возможно возникновение двух событий:

- первое сопоставлено переходу t_{11} - прерывание операции адсорбции, при срабатывании датчика ($x_4 = 1$) - нижний уровень в сборнике поз.1;
- второе сопоставлено переходу t_{37} – завершение операции в адсорбере при срабатывании датчика $X_5 = 1$ - время завершения операции адсорбции в адсорбере (Адс.1).

Таблица 1 - Характеристика позиций-операций

Позиция	Содержание операции	Нагружающие переменные
P1	Совмещение режима загрузки сборника поз. 1 кислотой из складской ёмкости и выгрузка в адсорбер поз. Адс.1, (поз. Адс.2)	Z_1
P2	Выгрузка в адсорбер поз. Адс.1, (поз. Адс.2)	\bar{Z}_1
P3	Ожидание взаимодействия сборника поз. 1 со складской ёмкостью, содержащей кислоту	\bar{Z}_1
P4	Загрузка сборника поз. 1 кислотой из складской ёмкости	Z_1
P5, P6, P7	Пустые операции (синхронизирующие)	
P8 (P12)	Ожидание загрузки адсорбера поз. Адс.1 (поз. Адс.2) кислотой со сборника кислоты поз. 1.	$\bar{Z}_3 \bar{Z}_4 \bar{Z}_{13} (\bar{Z}_9 \bar{Z}_{10} \bar{Z}_1)$
P9 (P13)	Интерактивная операция – адсорбция поз. Адс.1,2	$Z_6 Z_{11} (Z_7 Z_{12})$
P11, P15	Ожидание загрузки адсорбера - временное прерывание операции адсорбции	$\bar{Z}_6 (\bar{Z}_7)$
P34 (P35)	Ожидание конца выгрузки кислоты ос.ч. из адсорбера поз. Адс.1 (поз. Адс.2)	$\bar{Z}_1 \bar{Z}_{11} (\bar{Z}_1 \bar{Z}_{12})$
P10, P14	Пустые операции	
P30 (P32)	Интерактивная операция – регенерация адсорбера поз. Адс.1(поз. Адс.2)	$Z_3 Z_4 Z_{13} (Z_9 Z_{10} Z_1)$
P31 (P33)	Временное прерывание процесса регенерации адсорбера поз. Адс.1 (поз. Адс.2)	$\bar{Z}_3 (\bar{Z}_{10})$
P36 (P37)	Ожидание выгрузки адсорбера поз. Адс.1,2	\bar{Z}_2
P25	Ожидание загрузки сборника воды особой чистоты (поз. Сбор.2) из складской ёмкости	\bar{Z}_2
P26	Загрузка сборника воды особой чистоты (поз. Сбор.2) из складской ёмкости до рабочего объёма	Z_2
P23	Загрузка сборника воды особой чистоты	
P24	Ожидание конца выгрузки сборника воды особой чистоты	\bar{Z}_2
P27	Ожидание выгрузки воды особой чистоты	
P28, P29	Пустая операция	
P16, P20	Пустая операция	
P19	Ожидание загрузки сборника кислоты особой чистоты (поз. Сбор.3)	$\bar{Z}_5 \bar{Z}_8$
P17 (P21)	Интерактивная операция - загрузка сборника кислоты особой чистоты (поз. Сбор.3)	$Z_5 (Z_8)$
P18 (P22)	Ожидание конца выгрузки сборника кислоты особой чистоты	$\bar{Z}_5 (\bar{Z}_8)$

Таблица 2 - Характеристика переходов-событий

Переход	Наименование события	Условие срабатывания
t1	Достижение рабочего объёма кислоты в сборнике поз.1, необходимый для начала режима взаимодействия с адсорберами	X_2
t2	Верхний уровень в сборнике поз.1	X_3
t3	Нижний уровень в сборнике поз.1	X_4
t4	Начало операции загрузки сборника поз. 1 кислотой из складской емкости	X_1X_4
t5	Разрешение на возобновление операции адсорбции	X_3
t6, t7	Завершение взаимодействия сборника поз. 1 с адсорбером поз. Адс.1 (поз. Адс.2)	
t8, t12	Начало взаимодействия адсорбера поз. Адс.1 (поз. Адс.2) со сборником поз. 1	
t10, t14	Возобновление операции адсорбции в адсорбере поз. Адс.1 (поз. Адс.2)	X_2
t11, t15	Прерывание операции адсорбции в адсорбере поз. Адс.1 (поз. Адс.2)	X_4
t9, t13	Нижний уровень в адсорбере поз. Адс.1 (поз. Адс.2)	$X_{15}(X_{16})$
t16, t19	Начало операции загрузки сборника кислоты поз. Сбор.3 кислотой из адсорбера поз. Адс.1 (поз. Адс.2)	X_{10}
t17, t20	Окончание операции загрузки сборника поз. Сбор.3	X_9
t18, t21	Окончание операции выгрузки кислоты из сборника поз. Сбор.3 в сборник поз. 14 модуля десорбции, промывки и фильтрации газа	X_{10}
t22	Разрешение на взаимодействие сборника поз. Сбор.2 с адсорбером поз. Адс.1 (поз. Адс.2)	X_{12}
t23	Прерывание операции загрузки водой ос.ч. сборника поз. Сбор.2- верхний уровень	X_{13}
t24	Окончание операции выгрузки воды ос.ч. из сборника поз. 2 в адсорбер поз. Адс.1 (поз. Адс.2)	X_{14}
t25	Начало операции загрузки сборника поз. Сбор.2 водой ос.ч. из складской емкости	X_{11}, X_{14}
t26	Разрешение на возобновление операции регенерации адсорбера поз. Адс.1 или поз. Адс.2	X_{13}
t27, t28	Завершение взаимодействия сборника поз. 2 с адсорбером поз. Адс.1 или поз. Адс.2, связанное с окончанием их регенерации	
t29, t33	Начало регенерации адсорбера поз. Адс.1(поз. Адс.2)	
t31, t35	Возобновление операции регенерации в поз. Адс.1(поз. Адс.2)	
t32, t36	Прерывание операции регенерации в адсорбере поз. Адс.1(поз. Адс.2)	X_{14}
t39, t40	Завершение операции регенерации адсорбера поз. Адс.1(поз. Адс.2)	$X_6, (X_8)$
t30, t34	Нижний уровень в адсорбере поз. Адс.1(поз. Адс.2)	$X_{15}, (X_{16})$

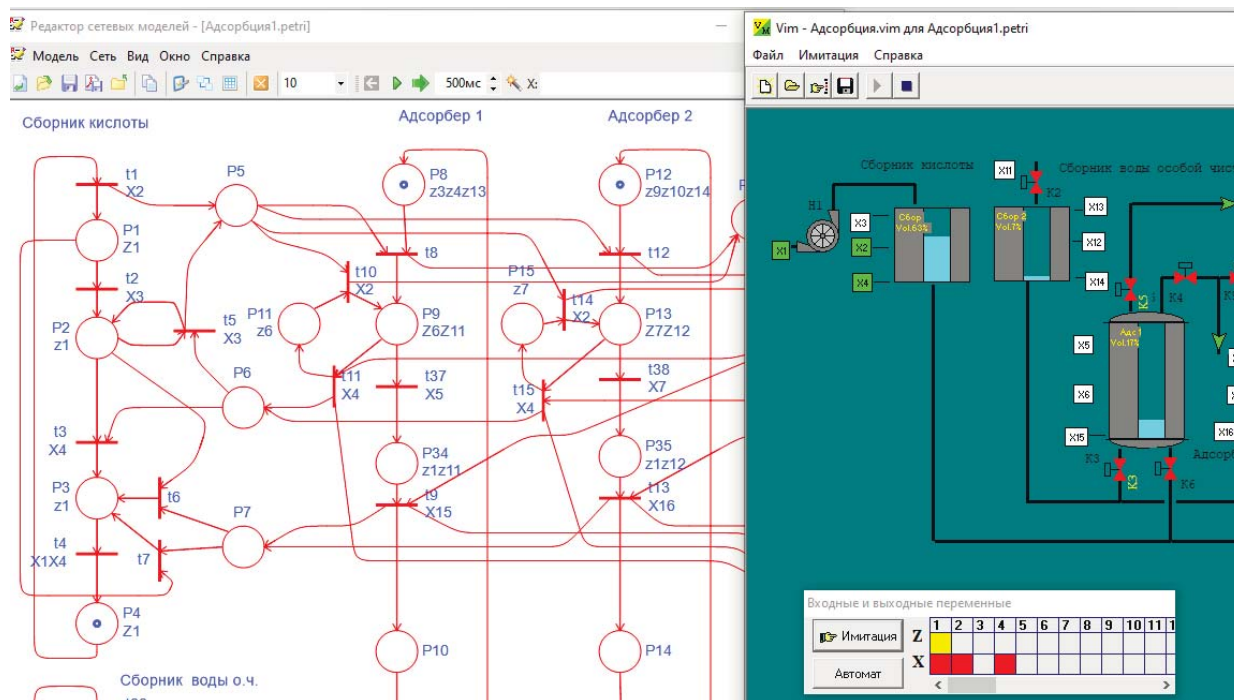


Рисунок 7 - Моделирование системы логического управления модуля адсорбции

При наступлении первого события срабатывает переход t_{11} , происходит временное прерывание процесса адсорбции, метка из позиции P9 изымается, а в позиции P6, P11 вносится. В этой маркировке (рисунок 11) сработает переход t_3 и последовательно переход t_4 . Сборник кислоты загрузится до рабочего уровня (датчик $X_2 = 1$), сработает переход t_1 , метка попадет в позиции P1, P5, при этом сработает переход t_{10} и процесс адсорбции возобновится, рисунок 10.

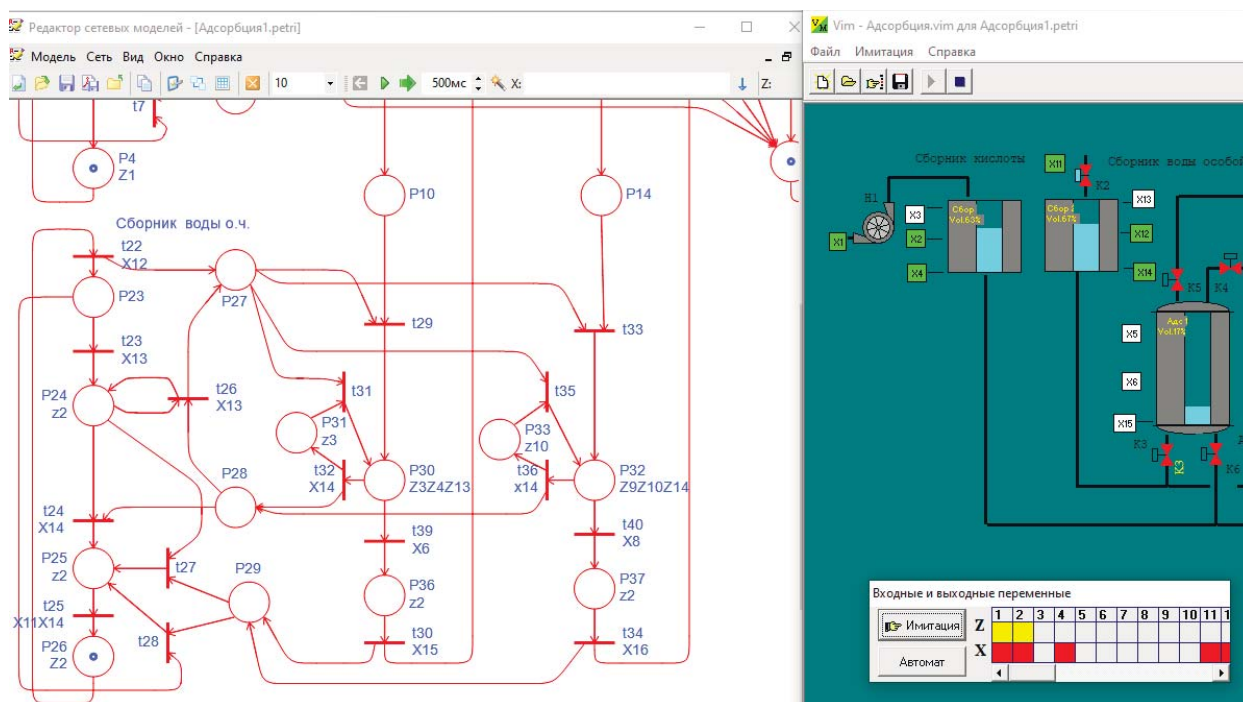


Рисунок 8 - - Моделирование системы логического управления модуля адсорбции

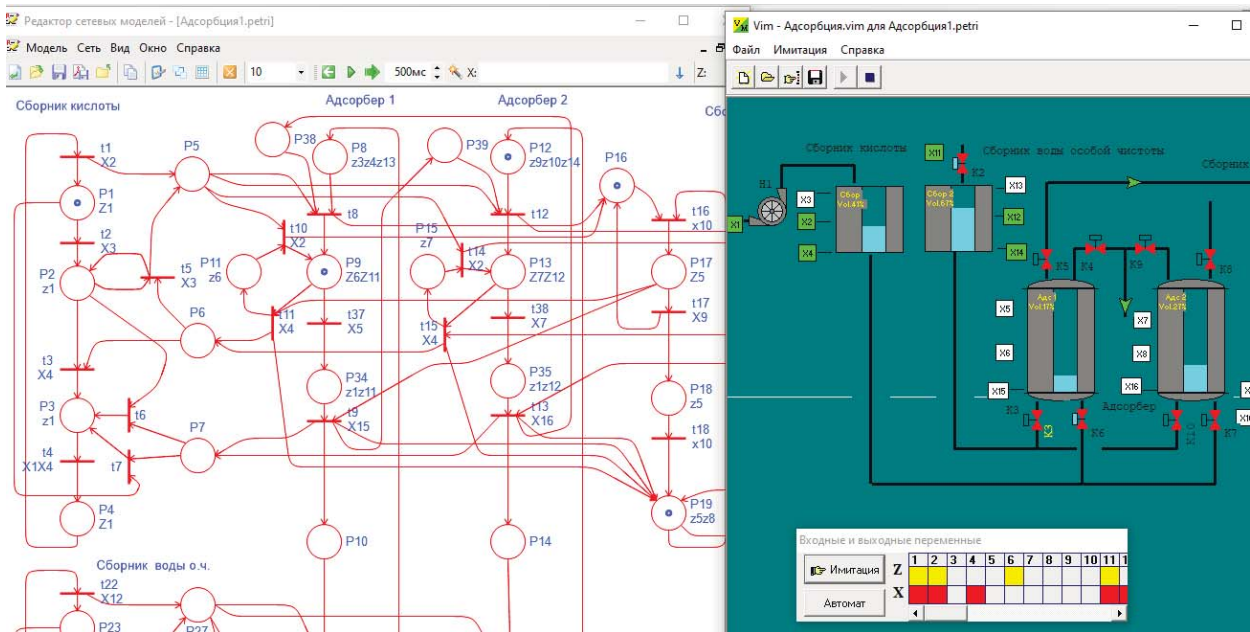


Рисунок 9 – Моделирование системы логического управления модуля адсорбции

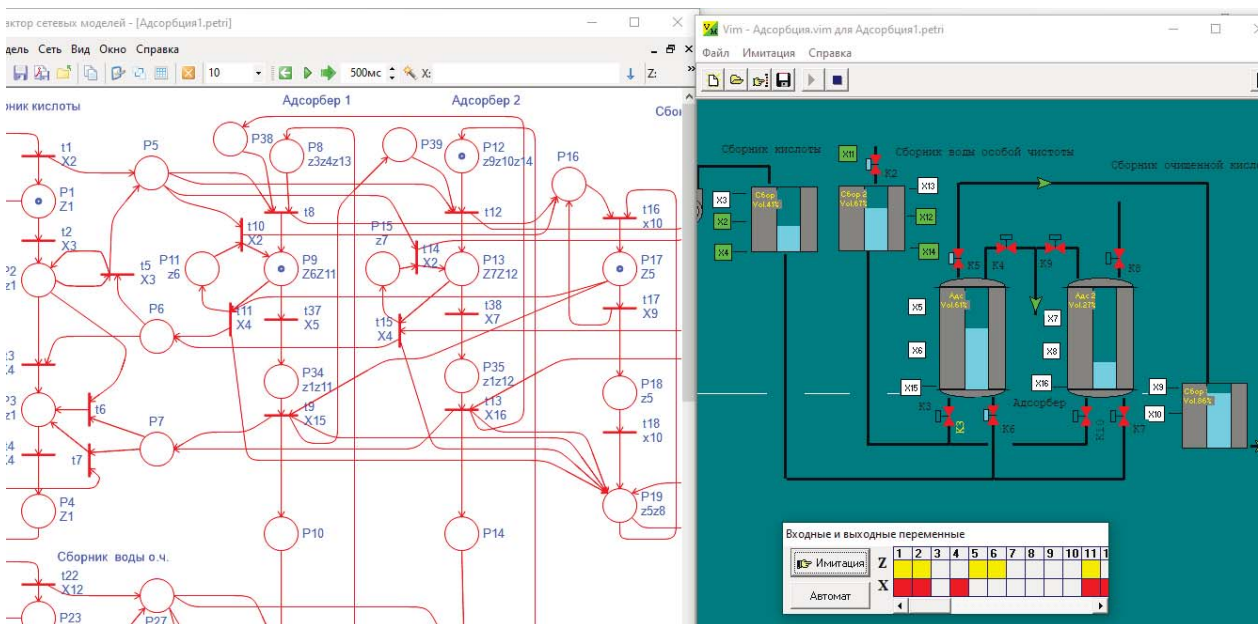


Рисунок 10 – Моделирование системы логического управления модуля адсорбции

При наступлении второго события срабатывает переход t_{37} , происходит завершение операции в адсорбере, сигнал датчика $X_5 = 1$. Состояние процесса в адсорбере 1 переходит в режим ожидания конца выгрузки кислоты ос.ч. из адсорбера поз. Адс. 1. В это время в режим адсорбции переходит второй адсорбер, а первый адсорбер готов к режиму регенерации, рисунок 12.

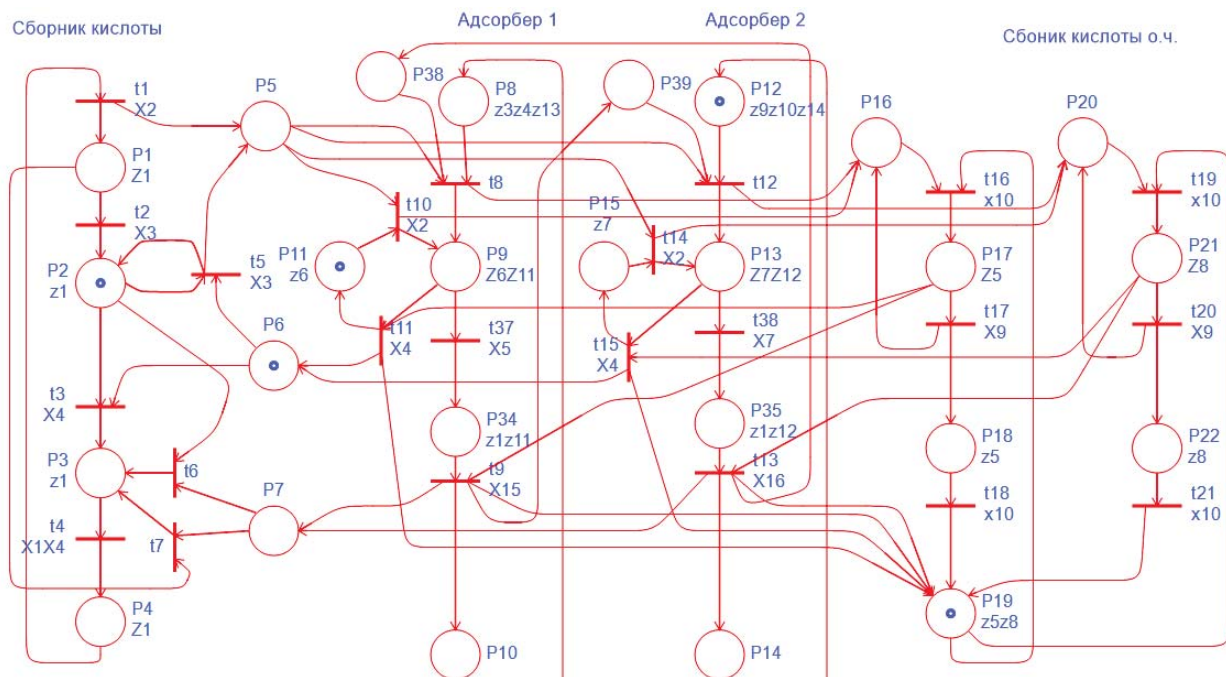


Рисунок 11 – Фрагмент модели системы логического управления модуля адсорбции

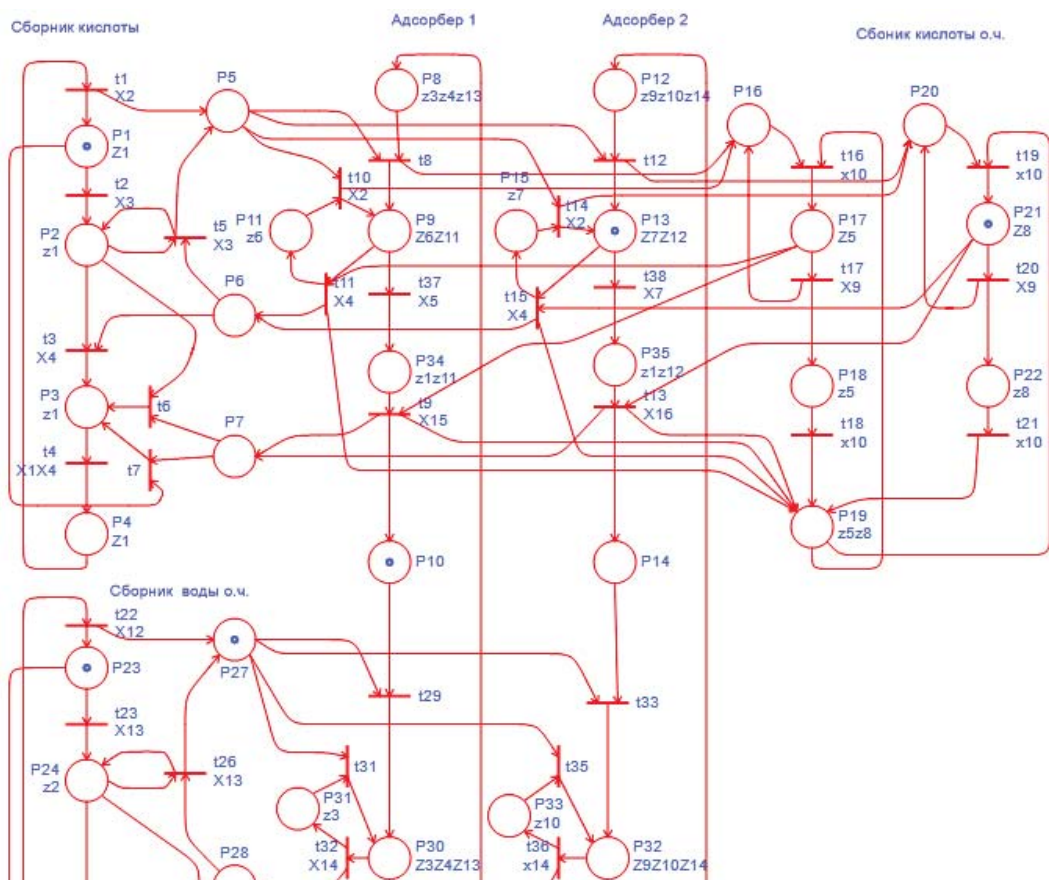


Рисунок 12 – Фрагмент модели системы логического управления модуля адсорбции

Рассмотрим в качестве примера еще одну модель - сложное тернарное взаимодействие, приёмная, промежуточная и подающая аппаратурные стадии представлены группами параллельно включённых эквивалентных аппаратов периодического действия. Характер окончания интерактивного режима - полный объём выгружаемых полупродуктов. Типовая модель этого типа процесса взаимодействия представлена на рисунке 13.

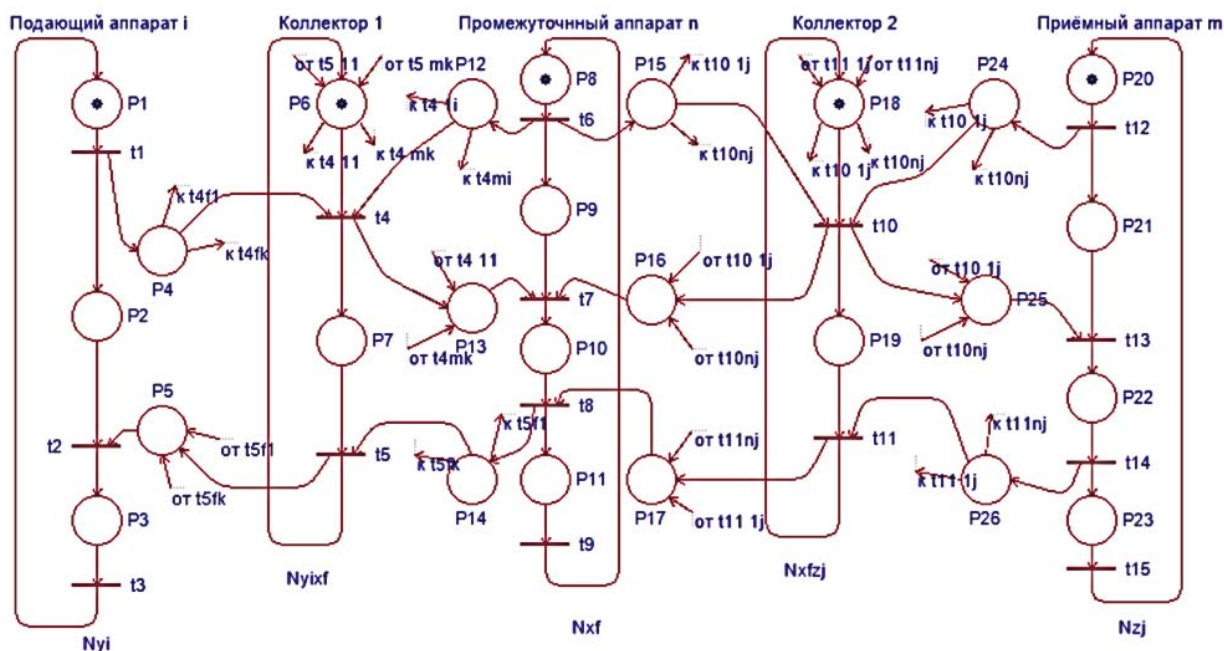


Рисунок 13 - Сетевая модель (РК-сеть) двадцать первого типа взаимодействий аппаратурных стадий

Применение этой модели при синтезе СЛУ рассмотрим на примере операции метилирования производства анальгина, рисунок 14.

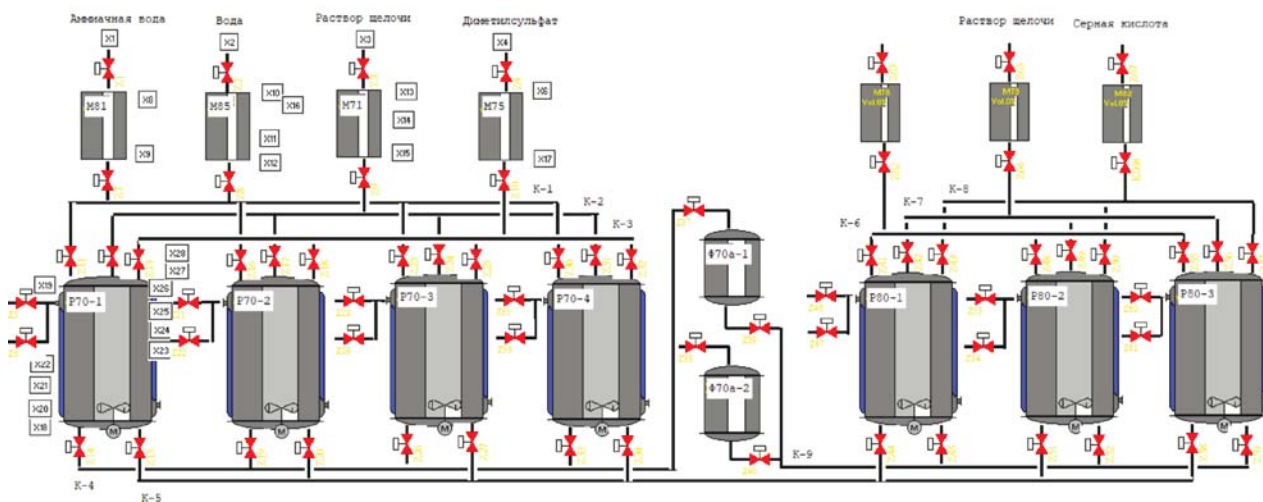


Рисунок 14 – Мнемосхема процесса метилирования производства анальгина

Получаемый полуфабрикат, натриевая соль сульфаминоантипирина из эквивалентных реакторов метилирования P70-1, P70-2, P70-3 и P70-4 передается в один из эквивалентных аппаратов P80-1, P80-2 или P80-3, в которых

осуществляется очередная химическая операция – гидролиз натриевой соли с получением сернокислого монометиламиноантипирина. В зависимости от чистоты реакционная масса метилаторов Р70-1,2,3,4 транспортируется в гидролизеры Р80-1,2,3 либо непосредственно через коллектор К5, либо с прохождением через один из промежуточных фильтров Ф70а-1,2, через коллектор К4, К9.

Транспортирование реакционной массы метилаторов Р70-1,2,3,4 через фильтры Ф70а-1,2 в гидролизеры Р80-1,2,3 определяется, согласно классификационным признакам [1,2]. Совокупная сетевая модель процесса метилирования производства анальгина включает 265 позиций и 243 перехода.

На рисунке 15 показан фрагмент модели системы логического управления на примере взаимодействия двух метилаторов Р70-1,2 с двумя гидролизерами Р80-1,2 через фильтры Ф70а-1,2 при введении дисциплины обслуживания для фильтров Ф70а-1,2 по кольцу [3].

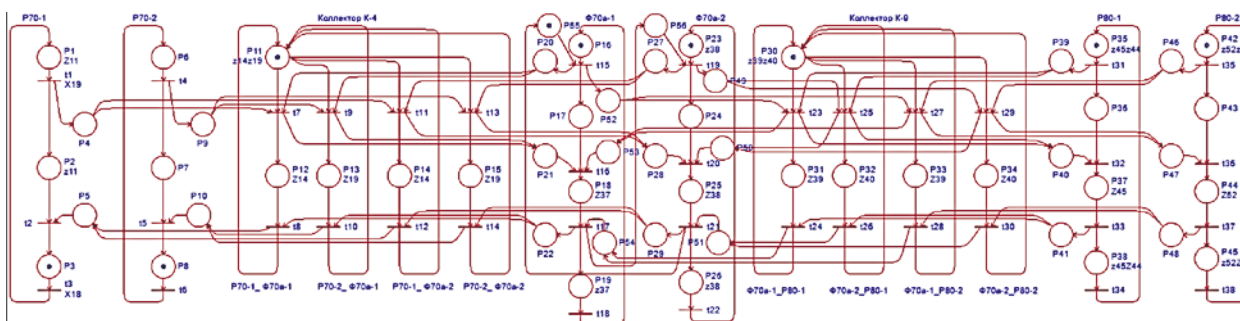


Рисунок 15 – Фрагмент модели системы логического управления взаимодействия метилаторов Р70-1,2 с гидролизерами Р80-1,2 через фильтры Ф70а-1,2

Имитационное моделирование СЛУ метилирования производства анальгина показало адекватность разработанных моделей.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Сидельников С.И. Разработка математических моделей и алгоритмов управления гибкими химико–технологическими системами: дис. канд. тех. наук 05.13.07/МХТИ им. Д. И. Менделеева. – М., 1991.– 263 с.
- 2 Сидельников С.И. Модели и алгоритмы логического управления химико–технологическими системами. Монография / ГОУ ВПО «РХТУ им. Д.И. Менделеева Новомосковский институт (филиал)», Новомосковск 2011.– 92с.
- 3 Сидельников С.И. Синтез структурно-алгоритмических моделей управления периодическими производствами с различными дисциплинами обслуживания аппаратов. Вестник Международной академии системных исследований. Информатика, экология, экономика. 2021. Т.23. С. 118

Сидельников Сергей Иванович, акад. Международной академии системных исследований (МАСИ), канд. техн. наук, доц., Россия, Новомосковск, Новомосковский институт (филиал) ФГБОУ ВПО РХТУ им. Д.И. Менделеева. sidserg11@mail.ru,