

СИНТЕЗ СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИМИ ПРОИЗВОДСТВАМИ С РАЗЛИЧНЫМИ ДИСЦИПЛИНАМИ ОБСЛУЖИВАНИЯ АППАРАТОВ

Чл. корр. Сидельников С.И.

В работе рассматриваются синтез и анализ моделей системы логического управления периодическими ХТС со сложным аппаратным оформлением. Приведены примеры и анализ систем логического управления с различными дисциплинами обслуживания аппаратов.

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

Важное место при решении задач анализа и проектирования устройств управления ХТС с периодическим способом организации процессов занимает этап разработки и построения имитационных математических моделей организации функционирования ХТС на основе сетей Петри.

Задачи по управлению периодическими ХТС в рамках системы логического управления (СЛУ) решаются на основе модульного подхода [1] с предварительной декомпозицией задачи управления на подзадачи: управления отдельными технологическими аппаратами; управления взаимодействием аппаратов; управления процессно-аппаратурными модулями на уровне межмодульного взаимодействия при необходимости.

Организацию протекания технологического процесса в аппарате периодического действия можно описать автоматной графовой моделью с чередующейся последовательностью автономных, ожидающих и интерактивных состояний и, соответственно, чередующейся последовательностью событий, отражающих факты смены этих состояний.

При практическом построении систем управления будем различать в каждом из взаимодействий активные и пассивные аппараты. При этом к пассивным отнесем аппараты, требующие косвенного контроля завершения своего участия в процессах взаимодействия, а к активным - аппараты, на которых непосредственно осуществляется контроль о завершении взаимодействия. В процессе взаимодействия один из аппаратов является приемным, т.е. загружается, а второй сопряженный - падающим, т.е. выгружается. Таким образом, будем в сетевых моделях смены состояния аппаратов периодического действия показывать лишь состояния ожидания загрузки ($S^{OЗ}$), интерактивные состояния $S^И$, связанные с загрузкой, состояния автономного функционирования ($S^А$), состояние ожидания конца выгрузки ($S^{ОКВ}$). То есть, в дальнейшем будем рассматривать ситуацию, при которой факт завершения взаимодействия контролируется в приемных аппаратах. В результате этого множество состояний S в сетевой модели представляет объединение [1].

$$S = S^{OЗ} \cup S^И \cup S^А \cup S^{ОКВ}$$

Если рассматривать взаимодействия $i+1$ аппарата с последующим сопряженным аппаратом, то в этом взаимодействии $i+1$ аппарат будет пассивным.

Процесс моделирования системы управления ХТС разбивается на два этапа. На первом этапе строится сетевая обобщенная модель, включающая модель смены состояний аппаратов и модель их взаимодействий, которая отображает структурную организацию функционирования ХТС как объекта логического управления. На втором этапе, для практического использования сетевой модели для управления процессами, ей придаётся функциональное назначение, т.е. формируется функциональная структурно-алгоритмическая модель, которая отображает совместное функционирование объекта и устройства управления.

Для создания функциональной структурно-алгоритмической модели управления процессами периодических ХТС необходимо произвести назначение входных переменных СЛУ, соответствующих сигналам датчиков, выходных переменных, сопоставленным сигналам управления, и определить функции пометок позиций и переходов обобщенной сетевой модели.

В общем случае при моделировании СЛУ применяется нагруженная сеть Петри, определяемая шестеркой:

$$G = (N, X, Z, \rho, \lambda, \tau),$$

где N – правильная сеть Петри с ингибиторными дугами; X – множество пометок первого типа, определяющие состояние входных переменных СЛУ; $\rho: T \rightarrow X$ – функция, задающая “нагрузку” переходам, при этом ставящая переходу t сети однозначное подмножество X пометок первого типа; Z – множество пометок второго типа, определяющее состояние выходных переменных СЛУ; $\lambda: M \rightarrow Z$ – функция, задающая “нагрузку” позициям, таким образом, что каждой маркировке ставится в однозначное соответствие множество Z ; $\tau: T \rightarrow R$ – функция, определяющая время срабатывания выбранных переходов; R – множество действительных положительных чисел. Интерпретированная таким образом сеть Петри позволяет связать срабатывание переходов с сигналами о состоянии аппаратов моделируемой системы, а в результате новых маркировок сети выдавать управляющие воздействия на исполнительные устройства.

К периодическим ХТС относятся малотоннажные многономенклатурные производства, которые характеризуются многостадийным способом организации технологических процессов со сложным аппаратным оформлением [2]. Управление такими производствами носит ярко выраженный организационно - технологический характер, при этом большое значение приобретает управление распределением материальных потоков между аппаратами, т.е. этап их взаимодействий. Этап построения моделей управления взаимодействием аппаратов периодических производств со сложным аппаратным оформлением является наиболее трудоёмким и ответственным. В литературе [1,3] предложена классификация аппаратного оформления попарно взаимодействующих стадий с целью построения обобщенных сетевых моделей.

Согласно предложенной классификации выявлены типовые взаимодействия аппаратурных стадий и разработаны девятнадцать типовых моделей таких взаимодействий на основе аппарата ординарных сетей Петри. Также определена формальная процедура наращивания аппаратов и аппаратурных стадий многостадийных производств. Полученные модели аппаратурных стадий представляют собой модели стохастических, неупорядоченных взаимодействий [1]. Действительно, при освобождении коллектора и в ситуации, когда со стороны приемной и/или подающей группы одновременно к взаимодействию готово более чем по одному аппарату, то встает необходимость выбора аппаратов из числа подготовленных с целью инициации их взаимодействий. Порядок выбора из очереди определяется дисциплиной обслуживания. Для упорядочивания взаимодействий аппаратов, из числа подготовленных к работе, существуют три возможных дисциплины выбора таких аппаратов, которые связываются с приоритетами аппаратов: по рангу, по порядку готовности и кольцевому порядку. Первая дисциплина направлена на более интенсивную эксплуатацию аппаратов с более высокими рангами. Вторая - на минимизацию суммарной длительности простоев аппаратов. Третья - обеспечивает равномерную нагрузку на каждый аппарат приемной и подающей стадии. Для отражения приоритета аппаратов по кольцевому порядку используются специальные позиции ординарных сетей Петри, а по рангу и по порядку готовности применяется подкласс сетей Петри со сдерживающими (ингибиторными) дугами.

Таким образом, для того, чтобы отразить порядок взаимодействия аппаратов, необходимо в построенные модели включить модели дисциплины обслуживания аппаратов. В литературе [1] для разработанных типовых моделей определены позиции для встраивания блоков дисциплин обслуживания аппаратов.

Для общего понимания и анализа работы алгоритма логического управления удобно рассмотреть в качестве примера процесс моделирования СЛУ с различными дисциплинами обслуживания аппаратов для объекта, в подающей стадии которого участвуют три аппарата, а в приёмной один, характер окончания режима взаимодействия дискретная порция, рисунок 1. Первоначально в сборники подаются соответственно компоненты А, В, С. Далее через общий трубопровод (коллектор) идет загрузка в смеситель, где происходит смешивание и нагревание субстанции.

Модель СЛУ с дисциплиной обслуживания по кольцу представлена на рисунке 2. Поясним кратко работу фрагмента сети, связанную с загрузкой приемного аппарата порциями из подающих аппаратов с дисциплиной обслуживания по кольцу. На рисунке 2 позиции p22, p23, p24 как раз моделируют эту дисциплину обслуживания. В представленной текущей маркировке $M_i = (p2, p4, p7, p9, p12, p14, p16, p22)$ все аппараты подающей стадии и приемный аппарат готовы к взаимодействию (при этом срабатывание датчиков X10, X11, X17 означает наличие рабочей порции компонента соответственно

в первом, втором и третьем аппаратах, а малые латинские - x10, x11, x17 – их инверсию).

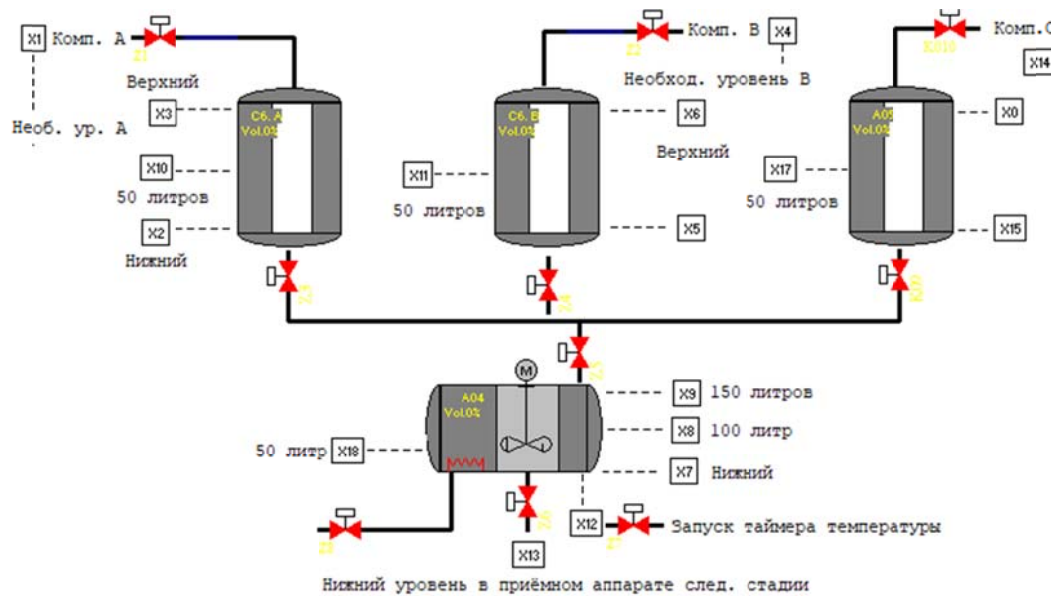


Рисунок 1 - Объект с тремя подающими аппаратами и одним приёмным

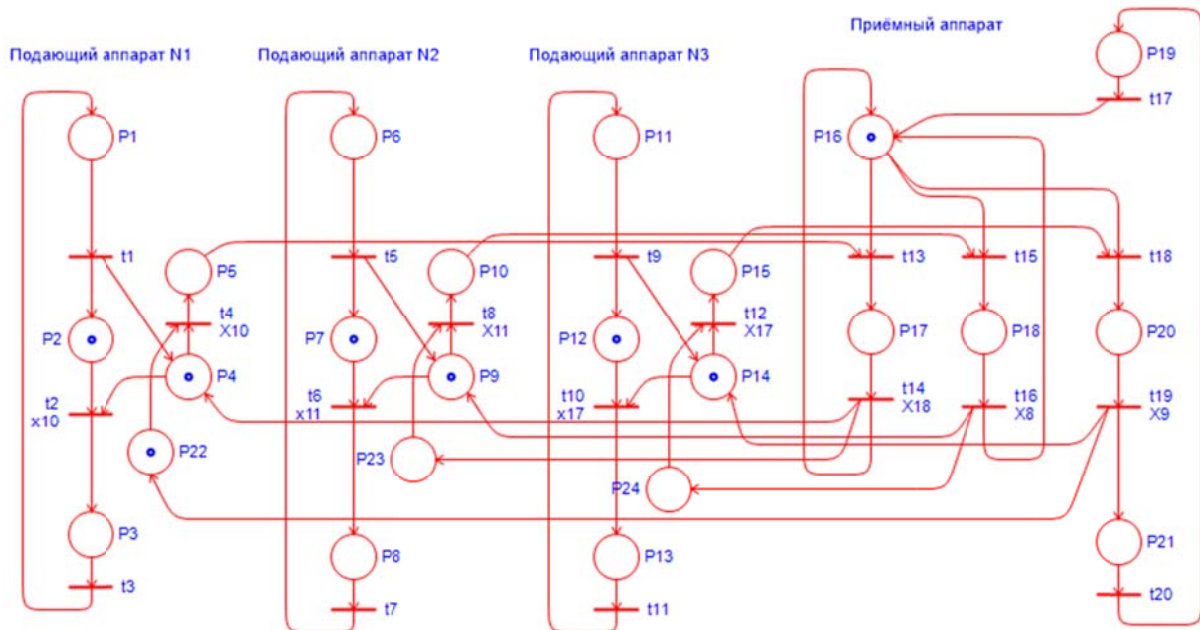


Рисунок 2 - Модель СЛУ с дисциплиной обслуживания по кольцу

Однако так как метка находится в позиции p22, то первый аппарат подающей стадии первым взаимодействует с приёмным аппаратом. По окончании взаимодействия, при срабатывании перехода t14 (срабатывает датчик X18 – первая порция компонента) метка попадет в позицию p23 и инициирует второй аппарат подающей стадии к взаимодействию с приёмным аппаратом. По окончании взаимодействия, при срабатывании перехода t16 (срабатывает датчик X8 – вторая порция компонента), метка попадет в позицию p24

и инициирует третий аппарат подающей стадии к взаимодействию с приёмным аппаратом. По окончании взаимодействия, при срабатывании перехода t_{19} (срабатывает датчик X_9 – третья порция компонента), метка попадет в позицию p_{22} , p_{21} . Приемный аппарат переходит в режим автономного функционирования. При попадании метки в позицию p_{16} процесс загрузки приемного аппарата порциями повторяется. Таким образом, СЛУ организует обслуживание аппаратов по кольцу.

Модель СЛУ с дисциплиной обслуживания по рангу, с применением ингибиторных дуг, представлена на рисунке 3.

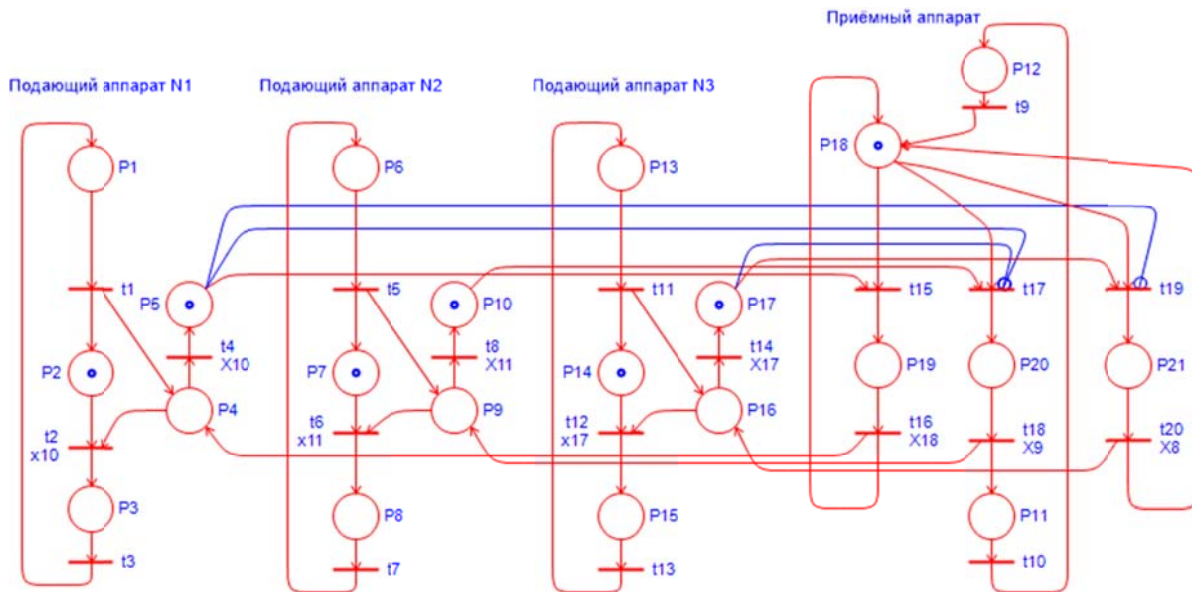


Рисунок 3 - Модель СЛУ с дисциплиной обслуживания по рангу

В представленной текущей маркировке $M_i = (p_2, p_5, p_7, p_{10}, p_{14}, p_{17}, p_{18})$ все аппараты подающей стадии и приемный аппарат готовы к взаимодействию. Согласно введению сдерживающих дуг в модель СЛУ, наивысший ранг имеет первый аппарат, так как наличие метки в позиции p_5 и сдерживающих дуг $F(p_5, t_{17})$, $F(p_5, t_{19})$ запретит инициализацию взаимодействия второго и третьего аппаратов с приёмным аппаратом (переходы t_{17} , t_{19} будут пассивны). Второй ранг имеет третий аппарат, наличие метки в позиции p_{17} и сдерживающей дуги $F(p_{17}, t_{17})$ запретит инициализацию взаимодействия второго аппарата с приёмным аппаратом (переход t_{17} будет пассивен). Третий ранг имеет второй аппарат. Когда первый аппарат загрузит в приёмный первую порцию компонента (сработает датчик X_{18} и переход t_{16} , метка попадет в позицию p_4 , p_{18}), третий аппарат со вторым рангом перейдёт в интерактивный режим (сработает переход t_{19} и метка попадет в позицию p_{21}). После окончания интерактивного режима сработает датчик X_8 и переход t_{20} , метка попадет в позиции p_{16} и p_{18} . Второй аппарат перейдёт в интерактивный режим. После завершения загрузки последней порции компонента сработает датчик X_9 и переход t_{18} , метка попадет в позиции p_9 и p_{11} . Это со-

стояние интерпретируется для приемного аппарата как режим автономного функционирования.

При исследовании типовых моделей выяснилось, что для типового взаимодействия с дискретной порцией невозможно отразить дисциплину по порядку готовности, не изменяя модель смены состояния приемного аппарата, так как такая модель является квазистохастической. В связи с этим были разработаны и исследованы две новые типовые модели, адекватно описывающие этот тип процесса взаимодействия.

Для пояснения работы СЛУ рассмотрим модель управления тремя подающими аппаратами и одним приёмным с применением дисциплины обслуживания по порядку готовности. Пример модели такого вида показан на рисунке 4.

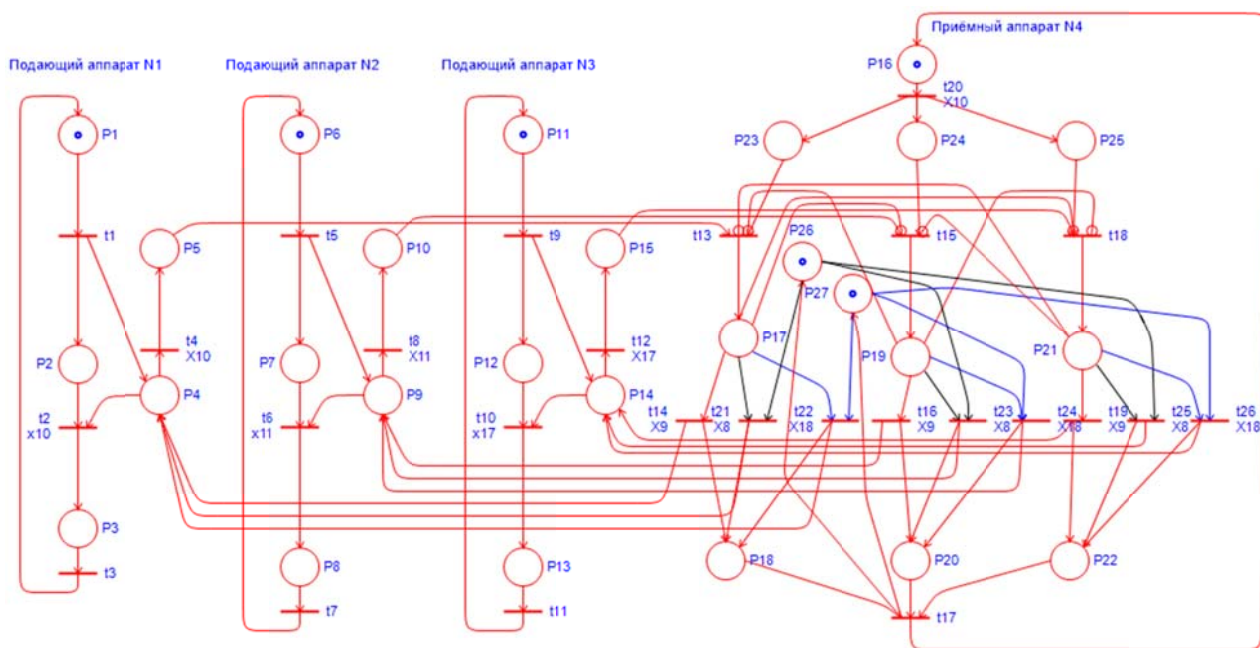
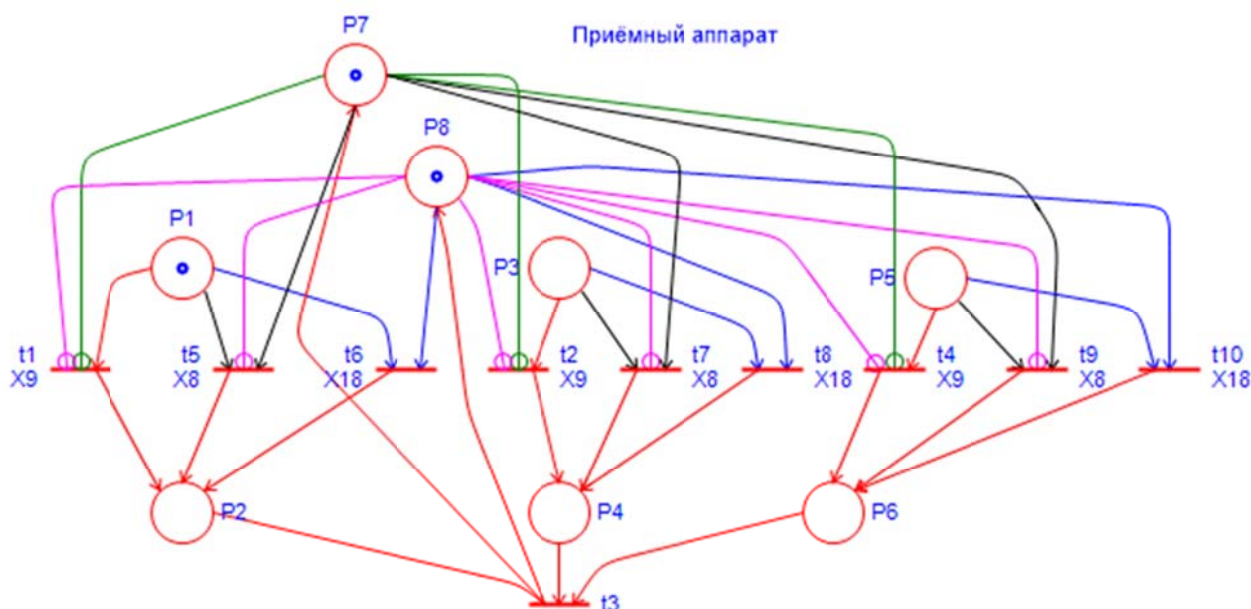


Рисунок 4 - Модель СЛУ объектом с тремя подающими аппаратами и одним приёмным с дисциплиной обслуживания по порядку готовности

В такой сети Петри переходы t_{22} , t_{24} , t_{26} , сопоставлены с событием, связанным с заполнением приемного аппарата до первой порции, t_{21} , t_{23} , t_{25} , сопоставлены с событием, связанным с заполнением приемного аппарата до второй порции, t_{14} , t_{16} , t_{18} , сопоставлены с событием, связанным с заполнением приемного аппарата до третьей порции. Позиции p_{27} , p_{26} , при наличии метки в них, соответственно последовательно активируют срабатывания переходов t_{22} или t_{24} или t_{26} и t_{21} или t_{23} или t_{25} в зависимости от того, какой подающий аппарат по порядку готовности передаёт первую или вторую порцию компонента. Например, если второй подающий аппарат первый участвует в процессе взаимодействия, то для приемного аппарата метка в позициях p_{19} , p_{23} , p_{25} , p_{26} , p_{27} , при этом в нагруженной сети Петри (при срабатывании датчика X_{18}) активируется и срабатывает переход t_{24} , метка из позиций p_{19} , p_{27} изымается, а в позиции p_9 , p_{20} вносится. А если второй подающий

Однако, в случае отказа датчика уровня или сбоя в работе системы, когда на вход СЛУ приходит вектор входных параметров с фрагментом $X_i = (\dots, X_8, X_9, \dots, X_{18})$, в этом случае в текущей маркировке $M_i = (p_2, p_7, p_{10}, p_{12}, p_{17}, p_{24}, p_{25}, p_{26}, p_{27})$ одновременно активны и могут сработать три перехода t_{14}, t_{21}, t_{22} . Например, при срабатывании перехода t_{14} нарушается порядок загрузки порций в приемный аппарат, и модель становится не адекватной. Поэтому, чтобы модель была корректна, т.е. сеть Петри должна быть правильная и адекватная моделируемому процессу, необходимо предотвратить эти ситуации. Разрешить эту проблему можно добавив в модель дополнительные сдерживающие дуги. На рисунке 5 показан фрагмент нагруженной сети Петри для модели, представленной на рисунке 4. Этот фрагмент моделирует порционное взаимодействие по порядку готовности в ситуации, когда первый аппарат подающей стадии готов вступить во взаимодействие с приёмным аппаратом, метка в позиции p_1 .



124

В сборник 1 объем 100л поступает компонент А, в сборник 2 объем 100л поступает компонент В. В смеситель 3 объем 100л загружается 50л компонента А и 50л компонента В, далее происходит процесс перемешивания и нагревание смеси до определенной температуры, после чего смесь (А+В) выгружается в аппарат следующей стадии.

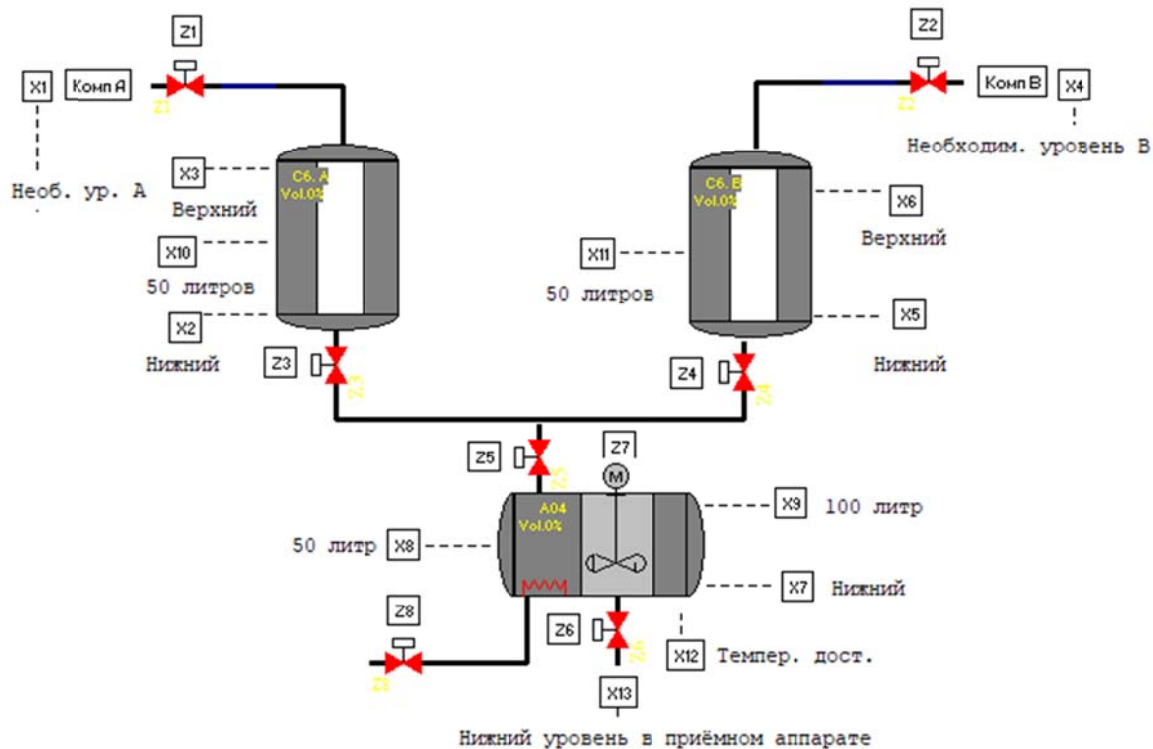


Рисунок 6 - Объектом с двумя подающими аппаратами и одним приёмным

Рассмотрим этап работы алгоритма СЛУ, связанный с интерактивным режимом без использования К-сети, рисунок 7. Попадание меток в позиции P15 и P14 определяет состояние ожидания загрузки приемного аппарата -

смесителя. Если готов первым к взаимодействию первый сборник, метка в позициях P2, P4, срабатывает переход t7, метка попадает в позицию P10, открываются клапаны Z3 и Z5 - осуществляется загрузка компонента А в смеситель, до уровня, соответствующего 50 л. (фиксируется датчиком X8), при этом срабатывает переход t14. Если первый сборник взаимодействует со смесителем после взаимодействия второго сборника со смесителем, то срабатывает переход t8, при достижении верхнего уровня в приемном аппарате, фиксируется датчиком X9. Далее, при готовности к взаимодействию второго сборника (метка в позициях P6, P8), срабатывает переход t9 и происходит загрузка компонента В (метка в позиции P12) до верхнего уровня – X9 при срабатывании перехода t15. По достижении заданной температуры смеси - срабатывает датчик X12 и запускается переход t11, при этом смеситель переходит в состояние ожидания выгрузки, позиция P16. Если аппарат следующей стадии готов к загрузке (нижний уровень фиксируется датчиком X13), то срабатывает переход t13 и происходит открытие клапана Z6, выгрузка смеси до нижнего уровня X7, срабатывает переход t18. Наличие метки в позиции P17 обеспечивает загрузку первой порции в смеситель или компонента А, или компонента В, в зависимости от того, кто первый готов к взаимодействию. Сдерживающие дуги $F(p8, t3)$ и $F(p4, t6)$ запрещают одновременную готовность первого и второго сборника к взаимодействию со смесителем, тем самым определяют простое взаимодействие по порядку готовности.

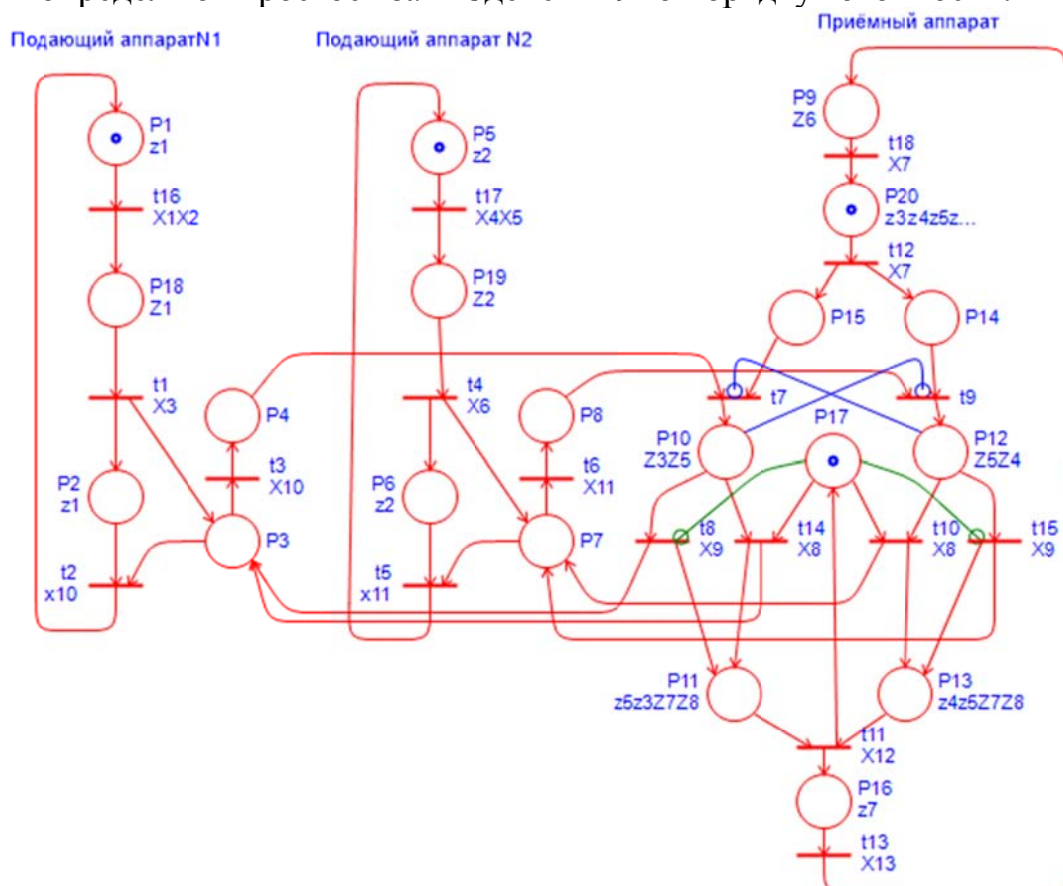


Рисунок 7 - Модель СЛУ объектом с двумя подающими аппаратами и одним приёмным без использования К-сети

Пример модели СЛУ объектом с двумя подающими аппаратами и одним приёмным с использованием К-сети (коммутационная сеть) показан на рисунке 8. В такой сети моделируется коллектор, наличие метки в позиции P11-коллектор свободен, наличие метки в позиции P12 или P13- коллектор занят. Модель на рисунке 7 имеет мощность вершин – позиций $P=|16|$, а модель на рисунке 8 мощность вершин – позиций $P=|27|$. Это свидетельствует о значительно более простой алгоритмической реализации первой модели и её применение оправдано, когда приемная стадия представлена одним аппаратом. В случае управления объектом, когда в группе аппаратов приемной стадии более одного аппарата, необходимо использовать модель на основе К – сети.

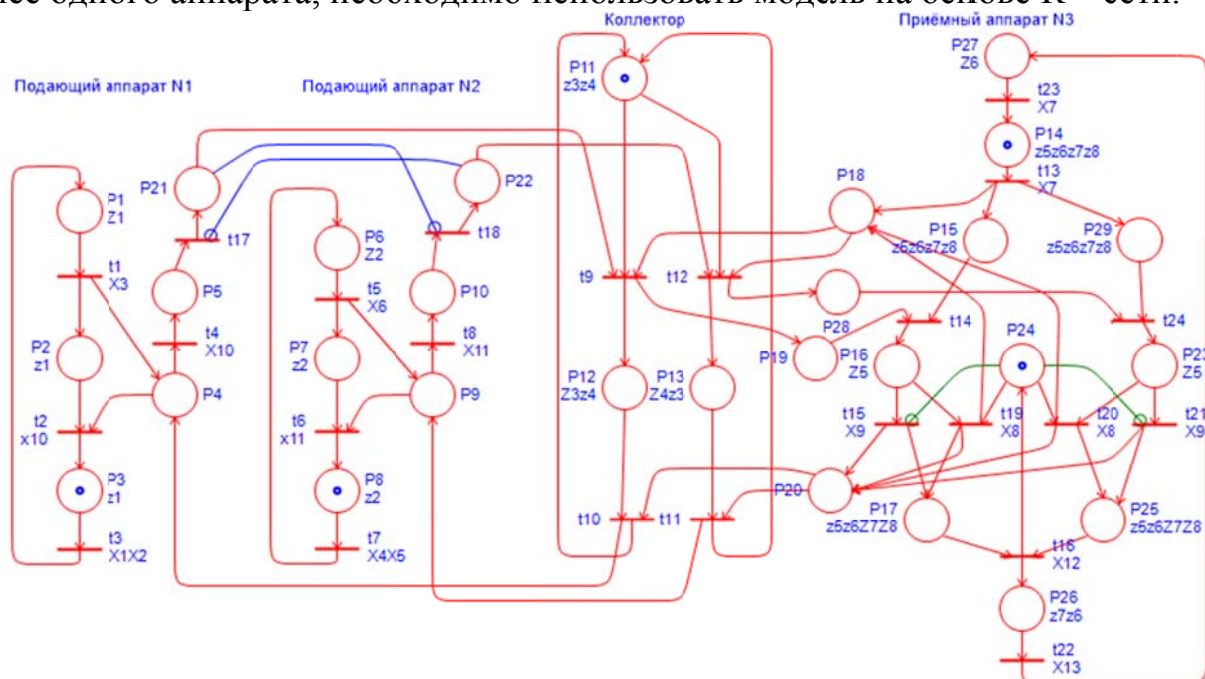


Рисунок 8 - Модель СЛУ объектом с двумя подающими аппаратами и одним приёмным на основе К – сети

Имитационным моделированием установлена адекватность полученных моделей СЛУ.

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 Кафаров В.В., Макаров В.В. Гибкие автоматизированные производственные системы в химической промышленности. Учебник для вузов. — Москва: Химия, 1990. - 320 с.
- 3 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.

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