

**Оксанич И.Г.**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

## СИНТЕЗ АРХИТЕКТУРЫ УПРАВЛЯЕМОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АГЕНТНОГО ПОДХОДА

*У роботі запропонований синтез кібернетичної структури керованої системи з порційною подачею технологічного продукту, яка забезпечує можливість виробництва готового продукту із заданими споживчими якостями і в необхідній кількості. Як базовий технологічний процес розглянемо процес перетворення і буферизації деякого вхідного продукту. У керованій системі базовий комплектний механізм і допоміжні технологічні механізми забезпечують можливість перетворення вхідних продуктів на вихідні продукти. Однак, щоб це перетворення було реалізоване, необхідно забезпечити подачу вихідних продуктів на вхід комплектного механізму і реалізувати багато інших функцій, безпосередньо не пов'язаних з функцією перетворення, але без яких операційний процес перетворення не буде реалізований. Це функції управління, які реалізують комплектні механізми управління.*

*Процес синтезу заснований на використанні у розроблюваній архітектурі простих функціональних механізмів. Для синтезу внутрішньої структури керованої системи використовується модель комплектного механізму перетворювального класу (механізму буферизації), а всі інші технологічні функції та функції управління реалізуються з використанням агентного підходу. Розроблений підхід до синтезу архітектури керованої системи відрізняється тим, що функції забезпечення заданої якості споживчого продукту і функції забезпечення видачі споживчого продукту необхідного обсягу розподілені між спеціалізованими системами (зокрема, системою перетворення та системою буферизації). Подібну структуру можна реалізувати у рамках підприємства й на організаційному рівні, зберігаючи ідеологію буферизації, перетворення, регулювання та контролю. Для цього необхідно, щоб ті функції, які потрібно здійснювати в рамках керованої системи, були явно визначені та регламентовані. Потім ці функції повинні бути розподілені між співробітниками підприємства, що грають роль агентів.*

*Показано, що у процесі виконання своєї технологічної функції система забезпечує інтерактивну взаємодію процесів перетворення і процесів буферизації з системним оточенням. Обґрунтовано, що така структура є кібернетичною, оскільки заміна базового технологічного механізму на інший технологічний механізм у межах свого класу не призведе до змін у структурі системи управління.*

**Ключові слова:** система, синтез, архітектура, продукт, механізм.

**Постановка проблеми.** Одной из задач кибернетики [1] как науки о системах и системных взаимодействиях является возможность создания общих моделей функциональных систем, поэтому задача синтеза состоит в выявлении архитектуры системы.

Поскольку в любой производственной системе [2] всегда можно установить объекты, которые отвечают как за технологическую часть преобразовательного процесса, так и за управление, то создание системно обоснованной структуры системы сопряжено с рядом трудностей, что свидетельствует о сложности решения этой проблемы.

Например, если рассматривать предприятие, то существующая архитектура его достаточно сложна, поэтому, чтобы упорядочить его деятельность, используют методологии управления MRP, ERP и CRM [3]. Они фактически являются стандартами управления бизнесом и поэтому позволяют планировать производственные ресурсы,

логистику предприятия, взаимоотношения с клиентами и тем самым налаживать работу предприятия в целом. Но вопросы синтеза функциональных систем, из которых состоит предприятие, все равно нужно решать.

Система не может быть создана произвольным образом. Она, как и любой биологический организм [4], должна иметь вполне определенную архитектуру, которая определяется естественными законами и законами кибернетики. И хотя сегодня немало сделано в области синтеза различных функциональных систем, но практика показывает [5], что существующие решения все еще далеки от совершенства, поскольку не являются универсальными и не позволяют выйти на синтез единой архитектуры. Это и обуславливает актуальность данного исследования.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Уже давно была замечена общность принципов управления у технических и биологических

объектов. Аналогии между ними обсуждались на страницах научной литературы в рамках кибернетики. В своей книге «Кибернетика» Норберт Винер определяет ее как науку об управлении и связи живых существ и машин.

С появлением понятия «система» стали появляться рассуждения о создании модели функциональной системы, а также концепции синтеза таких систем. Так, в работах П.К. Анохина, А.Д. Цвиркуна и других под синтезом понимали процесс создания новой системы. А в большинстве работ [6–8], посвященных синтезу систем управления, отмечалось, что в общем виде задачи синтеза заключаются в определении структуры и параметров системы, исходя из заданных требований к значениям показателей эффективности ее функционирования.

Несмотря на правильные подходы к синтезу систем, понятийная неопределенность, связанная с исследованием системных объектов, привела к тому, что продолжают попытки создания общих подходов в методологиях синтеза систем.

В работе [9] для решения задач структурного синтеза применяется метод, учитывающий только комбинаторный характер формирования вариантов синтеза. Полный перебор предполагает предварительный синтез всех возможных вариантов, генерация множества которых осуществляется на основе имеющихся аналогов. Затем для каждого варианта рассчитываются значения параметров, производится выбор, по мнению авторов, наилучшего варианта структуры. В действительности же невозможно синтезировать систему перебором вариантов. В лучшем случае мы сможем получить вариант работоспособной структуры.

Предлагаемый в работе [10] способ синтеза структуры технологического цикла для управляемых производственных систем основан на конечном множестве математических моделей. В качестве инструмента реализации предлагаемого подхода используются динамические имитационные модели. Приводится теоретическое обоснование применения динамической имитации для класса управляемых производственных систем с вероятностными характеристиками их функционирования. На самом деле автором описывается технология применения динамической имитации как способа анализа систем, но сама модель функциональной системы синтезирована не была.

В статье [11] выделены общие методологические подходы к синтезу систем, рассмотрены условия применения и обоснован выбор комбинаторных методов синтеза для решения поставлен-

ной задачи. Рассмотрена морфологическая группа методов синтеза. Предложено использование инструментария теории графов для сокращения анализируемых вариантов и учета ограничений на сочетаемость элементов системы.

Как показывает анализ источников [12–14], системный подход в задачах синтеза структуры функциональных систем сводится к моделированию физических процессов преобразования входных продуктов в выходные и построению математической модели таких процессов.

Интерес к вопросам синтеза систем проявляют специалисты экономического профиля [15–17], которые считают, что синтез экономических систем должен включать два таких компонента: обеспечение гибкости при первоначальном синтезе структуры системы, обеспечение последующего поддержания соответствия структуры системы постоянно изменяющимся условиям внешней среды. Но следует заметить, что обратная связь сама по себе не обеспечивает гибкости в условиях изменения внешней среды. Требуется изменение в структуре и архитектуре.

Интересным представляется подход к решению задачи синтеза описания архитектуры информационной системы [18]. Автор предлагает использовать теоретико-игровую модель для решения этой задачи. Им разработаны модели, которые позволяют формализовано описать задачу синтеза одновременно как задачу планирования ИТ-проекта создания информационной системы и как задачу определения рациональной совокупности ИТ-услуг, соответствующих требованиям к создаваемой системе. Предложенное решение позволяет проследить этапы методологии синтеза.

Большой проблемой теории оптимальных систем является излишняя специализация и дифференциация знаний. Эти знания распадаются на узкие дисциплины и, в конце концов, превращаются в огромный свод теоретических сведений, понятных лишь узкому кругу специалистов, их невозможно применить для синтеза структуры любой функциональной системы, поскольку они решают частные задачи. Следовательно, задача определения принципов синтеза управляемых систем является актуальной научной задачей.

**Постановка задания.** Целью данной работы является синтез кибернетической структуры управляемой системы с порционной подачей технологического продукта, которая обеспечивает возможность производства готового продукта с заданными потребительскими качествами и в необходимом количестве.

Для достижения поставленной цели исследования следует решить такие задачи:

определить объект исследования;

синтезировать структуру управляемой системы с использованием агентного подхода;

показать, что разработанная структура является структурой кибернетического уровня.

**Изложение основного материала исследования.** Структурный синтез проводится с целью обоснования множества элементов структуры, отношений и связей между ними, характеристик элементов и связей, обеспечивающих в совокупности максимальную степень соответствия заданным требованиям. Процесс синтеза основан на использовании в разрабатываемой архитектуре простых функциональных механизмов.

В качестве базового технологического процесса рассмотрим процесс преобразования и буферизации некоторого исходного продукта. В управляемой системе базовый комплектный механизм и вспомогательные технологические механизмы обеспечивают возможность преобразования входных продуктов в выходные продукты. Однако, чтобы это преобразование было реализовано, необходимо обеспечить подачу исходных продуктов на вход комплектного механизма и реализовать множество других функций, непосредственно не связанных с функцией преобразования, но без которых операционный процесс преобразования не будет реализован. Это функции управления, которые реализуют комплектные механизмы управления.

В работе [19] установлено, что производственный объект будет иметь максимальное количество степеней свободы (возможность достижения максимальной эффективности) в том случае, если его структура представлена в виде комплектной функциональной системы. При этом технологическая часть комплектной системы состоит из механизма преобразовательного класса, выполняющего простую базовую функцию, и механизма буферизации.

Совокупность комплектных технологических механизмов и комплектных механизмов управления образует структуру, которую определим понятием «управляемая система».

Чтобы синтезировать внутреннюю структуру управляемой системы, воспользуемся моделью комплектного механизма преобразовательного класса (механизма буферизации) и реализуем все остальные технологические функции и функции управления с использованием агентного подхода.

Синтезированная структура, реализующая процесс интерактивного взаимодействия техноло-

гических механизмов преобразовательного класса и буферизации обрабатываемого (исходного) продукта, представлена на рис. 1.

Агент – это комплектный механизм, который выполняет одну простую технологическую функцию или функцию управления.

При получении от объекта инициализации ON сигнала высокого уровня агент А8, выполняющий функцию ИЛИ, передает это сообщение агенту А9. С другой стороны, источник ZD непрерывно передает агенту А9 информацию, определяющую объем порции исходного продукта (ПНВ), необходимой объекту 1.

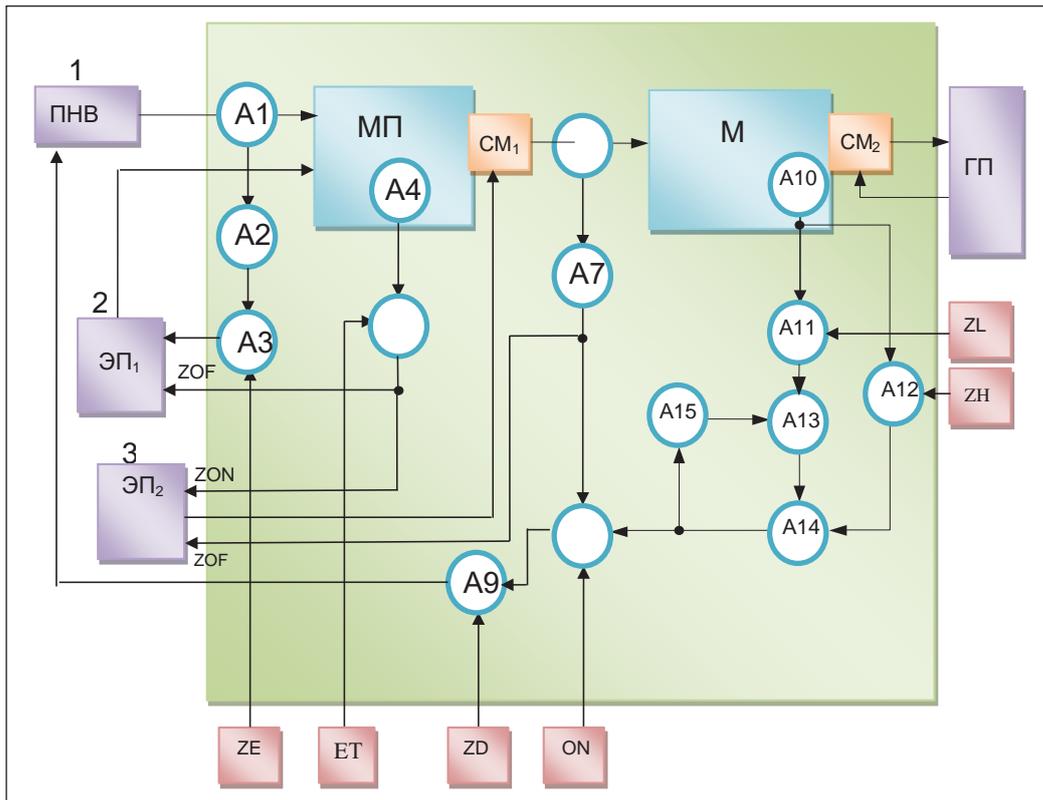
Поскольку агент 9, выполняющий функцию координации, получил сигнал разрешения от агента А8, он передает сигнал управления о необходимости подачи порции исходного продукта заданного объема объекту 1. Объект 1, получив сигнал задания, передает МПК требуемую порцию исходного продукта. Агент 1 контролирует процесс подачи и сообщает агенту А2 его результаты. Задача агента 2 – определение момента завершения подачи исходного продукта в МПК. О завершении подачи агент 2 сообщает агенту А3.

Агент 3 непрерывно получает информацию о требуемой интенсивности подачи энергетического продукта от внешнего объекта ZE. Получив сигнал о завершении подачи исходного продукта от агента 2, агент 3 передает информацию объекту 2 о необходимости подачи энергетического продукта с заданной объектом ZE интенсивностью.

Объект 2 начинает подавать энергетический продукт ЭП<sub>1</sub> с требуемой интенсивностью в МПК, обеспечивающий преобразование исходного продукта. Начинается процесс преобразования. За изменением параметров энергетического продукта наблюдает агент А4, который передает текущую информацию агенту А5. Агент А5 получает информацию от внешнего источника ET (задание относительно конечного значения параметров энергетического продукта).

Как только текущее значение параметров преобразования исходного продукта достигает заданного значения, агент А5 подает сигнал объектам подачи энергетических продуктов 2 и 3. При этом объект подачи энергетического продукта ЭП<sub>1</sub> прекращает подачу энергетического продукта, а объект подачи энергетического продукта ЭП<sub>2</sub> начинает подачу энергетического продукта, который поступает в механизм выдачи преобразованного исходного продукта.

Агент А6 контролирует ход процесса выдачи обработанного исходного продукта и сообщает о



**Рис. 1. Модель управляемой системы порционного преобразования исходного продукта:** МПК – механизм преобразовательного класса (технологический механизм преобразования исходного продукта); МБ – механизм буферизации (технологический механизм буферизации преобразованного продукта); СМ<sub>1</sub> – сервисный механизм выдачи основного продукта; СМ<sub>2</sub> – сервисный механизм выдачи готового продукта; А1–А9 – агенты, выполняющие функции управления; ET – объект, который подаёт сигнал задания параметров энергетического продукта; ZE – объект, устанавливающий интенсивность подачи энергетического продукта; ON – объект, формирующий сигнал первого запуска процесса преобразования продукта; ZD – объект, устанавливающий объём порции исходного продукта; ZL – объект, устанавливающий значение нижнего уровня преобразованного продукта; ZH – объект, устанавливающий значение верхнего уровня преобразованного продукта; ZON – сигнал для начала подачи энергетического продукта заданной интенсивности; ZOF – сигнал для прекращения подачи энергетического продукта

его ходе агенту А7, который определяет момент завершения процесса выдачи преобразованного исходного продукта и подает сигнал агенту А8 и объекту 3 подачи энергетического продукта ЭП<sub>2</sub>. Объект подачи энергетического продукта прекращает подачу электроэнергии в механизм выдачи, а агент А8 передает информацию о завершении операции агенту А9.

В исходном состоянии на выходах агентов А11 и А12 установлены сигналы низкого уровня. Сигнал низкого уровня установлен на входе и выходе агента А14, выполняющего функцию ячейки памяти, а следовательно, на входах агента А8 и агента А15, выполняющего функцию НЕ.

Агент А10 контролирует текущий уровень преобразованного продукта в механизме буферизации и сообщает о его уровне агентам А11 и А12,

которые сравнивают его с эталонным значением нижнего уровня ZL и эталонным значением верхнего уровня ZH. Если текущий уровень запасов меньше нижнего уровня ZL, то агент А11 подает сигнал высокого уровня агенту А13. Поскольку на выходе агента А15 установлен сигнал высокого уровня, то через агента А13 сигнал поступает агенту А14 и агенту А8, выполняющему функцию ИЛИ, на выходах которых устанавливаются сигналы высокого уровня.

Как только уровень преобразованного продукта достигает верхнего уровня ZH, на выходе агента А12 формируется сигнал высокого уровня, который поступает агенту А14 и обнуляет ячейку памяти. В результате низкий уровень выходного сигнала агента А14 блокирует прохождение сигналов агента А8.

Поскольку пополнение запасов прекращается, уровень основного продукта снижается и в определенный момент времени достигает нижнего уровня. С другой стороны, на входе агента A13 устанавливается сигнал высокого уровня. На выходе агента A11 формируется сигнал высокого уровня, и процесс начинается сначала.

Рассмотрим, как изменится управление преобразовательным процессом такой системы в зависимости от уровня запасов системы буферизации.

Системы буферизации (далее – СБ) выполняют несколько важных функций. На выходе такой системы потребитель с высокой степенью вероятности может получить продукт без задержки и с требуемыми количественными параметрами.

Выбор верхнего уровня запасов в такой системе связан с последствиями потерь первого пуска систем преобразовательного класса (далее – СПК) и связыванием запасов готового продукта. Чем выше верхний уровень запасов, тем меньше приведенные потери первого пуска, но больше объем балластных запасов готовой продукции, поэтому при повышении верхнего уровня запасов эффективность системы вначале повышается, а затем достигает максимума и начинает снижаться.

При определенном уровне запасов связывание большого количества ценностей в системе буферизации оказывает большее отрицательное влияние на эффективность системы, чем снижение издержек первого пуска СПК.

Таким образом, в ситуации, когда производительные возможности СПК превышают средний уровень спроса, а уровень запасов СБ близок к верхнему уровню, оптимизация операционных процессов системы должна осуществляться по критерию максимума добавленной стоимости.

При этом режим пониженной производительности СПК приводит к отрицательным последствиям тогда, когда уровень запасов в СБ достигает нижней отметки. В этот момент система буферизации формирует сигнал для СПК на пополнение запасов.

Однако на интервале времени, пока СПК осуществляет первую, самую продолжительную операцию цикла пополнения запасов, уровень запасов СБ продолжает снижаться. Следовательно, чем ниже производительность системы преобразовательного класса, тем выше должен быть нижний уровень запасов системы буферизации.

Другими словами, при достижении нижнего уровня запасов системы буферизации система преобразовательного класса функционирует в режиме максимальной производительности.

Система преобразования с порционной подачей/выдачей сырьевых продуктов в комплексе с системой буферизации технологического продукта обеспечивает возможность независимого изменения подачи энергетического продукта при независимой установке в системе буферизации страхового запаса и верхнего уровня запасов. При этом обеспечивается возможность передачи готового продукта с заданными потребительскими качествами и в необходимом количестве системе потребления.

В рамках предложенной управляемой системы возможно независимое изменение таких переменных:

- объема подаваемого исходного продукта на вход системы преобразования;
- интенсивности подачи энергетического ресурса;
- нижней и верхней границы уровня продукта в системе буферизации. Границы регулируются независимо.

Предлагаемая структура относится к классу обобщенных кибернетических систем с четырьмя степенями свободы. Это обеспечивает повышение оптимизационных возможностей управления [20].

Подобную структуру можно реализовать в рамках предприятия и на организационном уровне, сохраняя идеологию буферизации, преобразования, регулирования и контроля. Для этого необходимо, чтобы те функции, которые требуется осуществлять в рамках управляемой системы, были явно определены и регламентированы. Затем эти функции должны быть распределены между сотрудниками предприятия, играющими роль агентов.

**Выводы.** Синтезирована архитектура управляемой системы, отличающаяся тем, что функции обеспечения заданного качества потребительского продукта и функции обеспечения выдачи потребительского продукта требуемого объема разделены между специализированными системами (системой преобразования и системой буферизации).

Показано, что в процессе выполнения своей технологической функции система обеспечивает интерактивное взаимодействие процессов преобразования и процессов буферизации с системным окружением.

Обосновано, что такая структура является кибернетической, поскольку замена базового технологического механизма на другой технологический механизм в рамках своего класса не приведет к изменениям в структуре системы управления.

Список литературы:

1. Gershenson C., Csermely P., Érdi P., Knyazeva H., Laszlo A. The Past, Present and Future of Cybernetics and Systems Research. *Systems connecting matter, life, culture and technology*. 2013. Vol. 1, Iss. 3. P. 4–13.
2. Фатхутдинов Р.А. Организация производства. Москва : ИНФРА-М, 2004. 344 с.
3. Елашкин М. SAP Business One. Строим эффективный бизнес. Москва : КУДИЦ-ПРЕСС, 2007. 236 с.
4. Анохин П.К. Кибернетика функциональных систем Москва : Медицина, 1998. 400 с.
5. Питерс Т., Уотермен Р. В поисках совершенства. Уроки самых успешных компаний Америки. Москва : Альпина Паблишерз, 2010. 528 с.
6. Дивеев А.И., Пупков К.А., Софронова Е.А. Синтез системы управления – задача тысячелетия. *Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования»*. 2011. № 2. С. 113–124.
7. Ободовський Ю.В. Синтез структур управління. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. 2016. Вип. 7, ч. 2. С. 142–144.
8. Lutsenko I. Systems engineering of optimal control. Synthesis of the structure of the technological product conversion system (part1). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014. Vol. 6, Iss. 2 (72). P. 29–37.
9. Шахова Н.Д. Методика параметрического синтеза замкнутой системы управления. *Труды Братского государственного университета. Серия «Естественные и инженерные науки»*. 2008. Т. 1. С. 93–96.
10. Смородин В.С. Синтез структуры технологического цикла управляемых производственных систем. *Проблемы физики, математики и техники*. 2012. № 2 (11). С. 108–111.
11. Минц А.Ю. Методы синтеза структуры интеллектуальных систем принятия решений. *Проблеми системного підходу в економіці*. 2017. Вип. 2. С. 158–163.
12. Родионов И.Б. Теория систем и системный анализ. Москва : Наука. 2007. 229 с.
13. Коптев В.Ю. Структурная оптимизация транспортных систем. *Наука, техника и образование*. 2015. № 4 (10). С. 108–110.
14. Fenghui W., Ming Y., Ruqing Y. Simulation of Multi-Agent based Cybernetic Transportation System. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2008. Vol. 16, Iss. 10. P. 1606–1614.
15. Щепетова С.Е. Синтез гибких экономических систем. *Стратегии бизнеса*. 2014. № 1(3). С. 9–12.
16. Игнатъева А.В., Максимцов М.М. Исследование систем управления. Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2010. 157 с.
17. Васин С.М. Структура экономической системы: от традиционной промышленности к виртуальному производству. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион*. 2013. № 3 (27). С. 208–216.
18. Evlanov M. Development of the model and method of selecting the describing of rational architecture of information systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 1, Iss. 2 (79). P. 4–12.
19. Оксанич И.Г. Обоснование использования системного подхода в задачах синтеза структуры функциональных систем. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2018. № 5 (112). С. 52–58.
20. Lutsenko I. Optimal control of systems engineering. Development of a general structure of the technological conversion subsystem (part 2). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. Vol. 1. Iss. 2 (73). P. 43–50.

**Oksanych I.G. SYNTHESIS OF CONTROL SYSTEM ARCHITECTURE USING AN AGENT APPROACH**

*The paper proposes the synthesis of the cybernetic structure of a controlled system with a batch supply of a technological product. The process of rebuilding and buffering an active product is discerned as basic technological process. At a controlled system basic complete and additional technological mechanisms are ensure possibility of conversion of input products to output products. For conversion assurance we need to secure the products flow to the input of complete mechanism and to realize set of function unconnected to conversation function, but needed to ensure conversation process. This set of function is control functions of complete control mechanisms.*

*The cybernetic structure provides the possibility of producing a finished product with the given consumer qualities and in the required quantity. The synthesis process is based on using simple functional mechanisms in the developed architecture. The complete conversion class mechanism model, the buffering mechanism is used to synthesize the internal structure of the controlled system. Other technological and control functions are implemented using the agent approach. The synthesis approach of control system architecture is proposed. Developed approach is characterized by dividing the functions of specified consumer product quality ensuring and the functions of consumer product delivery in required volume ensuring between specialized systems (conversion system and buffering system). The similar structure can be realized in organization framework and in organizational level keeping ideology of buffering, conversation, regulation and control. For providing of the similar structure the function set of control system must be determined and regulated. The determined function set need to distribute between company staff. In this case company staff is used as agents.*

*The system provides an interactive interaction of conversion processes and buffering processes with the system environment under ones technological function processing. The cybernetic character of developed system is proved by constant control system structure under replacement of a basic technological mechanism with another technological mechanism.*

**Key words:** system, synthesis, architecture, product, mechanism.