

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРУЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. Рассмотрена самоорганизация, как способность открытых систем к самосовершенствованию. Показано, что в процессе самоорганизации любой технологии всегда присутствует антропоморфная составляющая. Отмечено, что организация и самоорганизация проектируемой системы всегда может быть определена. Приведен конкретный пример определения самоорганизации технологии работы тепломассообменного аппарата. Рассмотрены синергетические аспекты технологии, дано обоснование критерия работоспособности технологии, осуществлена формализация технологии, сформулированы выводы и рекомендации. Отмечено, что абсолютное взаимодействие пары элементов технологии (максимальная организация) достигается при пропорциональном распределении рабочего материала по взаимодействующим элементам, а наилучший результат (максимальная организованность) — при абсолютном соответствии энтропий взаимодействующих элементов технологии.

Ключевые слова: синергетика, организованность, самоорганизация, технология, тепломассообменный аппарат.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что синергетика — наука о самоорганизации. Семантический смысл этого слова трактуется как самосовершенствование, поскольку самоорганизация присуща только открытым системам (системам, обменивающимся энергией и веществом с внешней средой). Для таких систем самосовершенствование — продиктованный эволюцией процесс, в результате которого существование открытых систем становится возможным. Утверждается, что в процессах самоорганизации наблюдаются кооперативные взаимодействия [1], что будто бы противоречит понятию самоорганизации.

Рассмотрим пример. На заре своего развития, для того, чтобы определить, будет ли охота успешной, первобытный человек рисовал на стене пещеры животное, на которое он собирался охотиться. Пытаясь предугадать результаты охоты, охотник совершал манипуляции (например, бросал в изображение животного копье) и по их результатам пытался прогнозировать итог охоты. Точность прогноза зависит от организованности охотника (эта величина определяет порядок или степень упорядоченности системы в ее строении и функционировании и т.д.). Организованность можно определить путем сопоставления фактических итогов охоты с прогнозируемыми (1, 0). Таким образом, по совпадению реальных результатов охоты с прогнозируемыми можно определить относительную организованность охотника, как итог кооперативного взаимодействия функционально однонаправленных открытых систем, а именно, прогнозируемого итога охоты с ее результатами.

Поскольку открытые системы — это субстраты информационных самоорганизующихся процессов, обнаружить самопроизвольно протекающие информационные процессы самоорганизации неживого материала невозможно. В силу этого возникает сакральная точка зрения на происхождение жизни, в соответствии с которой в настоящее время его трактуют как спонтанное возникновение биологической информации. Исходя из этого, в процессе самоорганизации, происходящей, например, на технологическом уровне, всегда можно обнаружить антропоморфную составляющую [2].

Следовательно, самозарождение организации не осуществимо без реализации целенаправленных действий, что является самым серьезным возражением атеистам [3, 4].

Как следствие, возникает вопрос: можно ли, базируясь на синергетических аспектах, определить организацию и самоорганизацию проектируемой системы? В случае положительного ответа критерий работоспособности открытой системы очевиден. Такой ответ можно получить из примера, который для полноты формальной аксиоматики должен содержать:

- вербальное описание выбранной для примера технологии;
- синергетические аспекты технологии;
- обоснование критерия работоспособности технологии;
- формализацию технологии;
- выводы и рекомендации.

Допустим, что на начальной стадии создания технологии у лиц, принимающих решения (ЛПР), существует еще не воплощенная ни в чертежах, ни в металле идея ее создания — открытая система.

Готовый проект — другая открытая система, однонаправленная с первой. Относительную организованность проектируемой технологии можно определить по результату взаимодействия функционально однонаправленных открытых систем — проекта и идеи, которую он воплощает. Относительная самоорганизация проектируемой технологии может определяться ее модификациями, осуществляемыми ЛПР, что соответствует таким тезисам:

- организация — это свойство материальных и абстрактных систем обнаруживать взаимозависимое поведение в рамках целого;
- самоорганизация — это свойство материальных и абстрактных систем, приводящее к изменению их организации.

ВЕРБАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ

В качестве примера рассмотрим процесс создания теплообменного аппарата химической технологии [5]. Аппарат представляет собой вертикально установленный цилиндр, в нижнюю часть которого подается газ (например, коксовый), проходящий через весь аппарат и выходящий из верхней его части. В последней устанавливается ороситель (например, форсунка) для подачи жидкой среды. Из нижней части жидкость откачивается (рис. 1). Из названия аппарата понятно, какие функции выполняет он и подобные ему устройства. Они осуществляют теплообмен и массообмен между газом и жидкостью. Поэтому время контакта и поверхность контакта этих двух сред являются важнейшими факторами, влияющими на процессы теплообмена. Для интенсификации процесса часть аппарата заполняется так называемой насадкой (некоторым материальным телом выбранной формы), которая, с одной стороны, увеличивает поверхность и время контакта, а с другой стороны — сопротивление прохождению газа и жидкости.

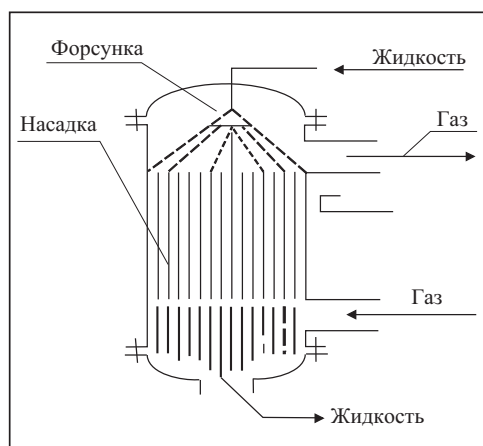


Рис. 1. Схема теплообменного аппарата

Благодаря большому разнообразию конструктивных решений оросителей и насадок, перед разработчиком открываются широкие возможности для выбора их сочетаний. Однако, зачастую этот выбор производится без достаточных на то оснований и, в основном, определяется традициями.

Если в теплообменном аппарате с нерегулярной насадкой (например, в форме колец Рашига, т.е. керамических колец, загружаемых в корпус аппарата) устанавливают форсуночный ороситель, то выбор такого сочетания можно объяснить тем, что нерегулярная насадка нивелирует неизбежные

неравномерности форсуночного орошения. Когда же форсуночный ороситель устанавливается в аппарат с регулярной насадкой (например, плоскопараллельной, выполненной из листового материала), на последней наблюдается неравномерно распределенное по плоскостям насадки струйное течение жидкости.

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИИ И КРИТЕРИЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Принято считать, что чем ниже скорость течения жидкости, тем лучше система организована относительно цели ее создания. Следовательно, естественным образом мы приходим к тому, что единым критерием, обуславливающим свойства, характеристики, функциональные возможности и структурные особенности проектируемой технологии, является организованность, которая с учетом ограничений определяется результатами синхронного взаимодействия системы «ороситель–насадка». Под организованностью системы, состоящей из пары указанных элементов, будем понимать согласованность в их работе. Она характеризуется динамической связью, изменение которой приводит к ухудшению показателей работы данной пары и сокращению времени ее «жизни».

Таким образом, организованность системы оценивается с позиции эффективности достижения поставленных человеком целей. Термин «организованность» подчеркивает принципиальную роль взаимодействия процессов организации пары «ороситель–насадка» [6].

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ

При выборе взаимодействующей пары «ороситель–насадка» выполним сравнение уровня организованности различных их сочетаний. Для этого обратимся к известному в кибернетике закону «необходимого разнообразия» У.Р. Эшби [7].

Согласно этому закону, степень организованности системы должна соответствовать степени организованности среды, в которой данная система функционирует. Если среда богата внутренними связями, то система с надлежащей сложностью организации лучше приспосабливается и выживает в такой среде.

В этом случае с организацией отождествляется преобразование значений входов в значения выходов, что естественным образом приводит к трактовке этого закона с позиций теории управления, т.е. управление объектом является адекватным тогда и только тогда, когда разнообразие состояний системы управления будет больше или равно разнообразию состояний объекта управления при условии, что разнообразие состояний системы управления включает все возможные значения управляющих воздействий, адекватных всем возможным состояниям объекта управления. Поскольку прямым следствием разнообразия состояний конкретного объекта является степень его неопределенности, этим показателем может быть информационная энтропия.

Взаимодействующие элементы пары $\{a, b\}$ (a — ороситель, b — насадка) всегда можно представить как «управляющий» и «управляемый». Это позволяет распространить на пару взаимодействующих элементов закон «необходимого разнообразия». Основываясь на доказательстве второй части десятой теоремы Шеннона [8], следствием которой и явился закон «необходимого разнообразия», запишем его формальное выражение в таком виде:

$$\begin{cases} H(a) \geq H(b), \\ H(a) - H(b) \leq \delta, \end{cases} \quad (1)$$

где $H(a)$ — информационная энтропия системы управления, $H(b)$ — информационная энтропия объекта, δ — порог, за пределами которого соответствие взаимодействующих элементов нарушается. Под нарушением взаимодействия элементов будем понимать выбор системы управления, для которой из множества управляющих воздействий выбраны те, что, являясь адекватными оптимальному состоянию объекта, все же приводят к затратам, эквивалентным его гибели. Для каждой конкретной технологии эту величину следует выбирать отдельно.

Энтропию можно трактовать, как меру неопределенности. Ведь не случайно соответствующий английский термин «equivocation» иногда переводят, как «неопределенность», хотя он имеет семантический смысл «ненадежность». Это позволяет записать систему (1) в таком виде:

$$\begin{cases} -\sum_{i=1}^m P_i(a) \log P_i(a) \geq -\sum_{j=1}^n P_j(b) \log P_j(b), \\ -\sum_{i=1}^m P_i(a) \log P_i(a) + \sum_{j=1}^n P_j(b) \log P_j(b) \leq \delta, \end{cases} \quad (2)$$

где $P_i(a)$, $P_j(b)$ — вероятности того, что элемент с соответствующим индексом находится в одном из состояний $\{1, 2, \dots, i, \dots, m\}$, $\{1, 2, \dots, j, \dots, n\}$.

Изучая процесс функционирования аппаратов конкретной технологии, всегда можно определить вероятности того или иного их состояния путем проверки выполнения неравенства (2). При нарушении этого неравенства производится замена одного из элементов пары $\{a, b\}$, что можно рассматривать как изменение уровня организованности, который в дальнейшем будем понимать как изменение степени соответствия элементов технологического узла (изменение организации — самоорганизованность). Для оценки уровня организации можно воспользоваться мерой, предложенной Форестером

$$R = 1 - H_{i,j} / H_{\max}, \quad (3)$$

где $H_{i,j}$ — неопределенность (энтропия) пары $\{a, b\}$; H_{\max} — максимально возможная неопределенность пары $\{a, b\}$; R — мера относительной организации пары $\{a, b\}$.

Известно, что максимальная неопределенность возникает при равновероятности событий

$$H_{\max} = \log mn. \quad (4)$$

Вероятность того, что пара $\{a, b\}$ находится в одном из состояний mn при равновероятности исходов всех состояний, определяется как

$$P_{i,j} = 1 / mn. \quad (5)$$

Подставляя (3) и (4) в (5), оцениваем организованность пары $\{a, b\}$ как

$$R = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{i,j} \log P_{i,j}}{\log mn}. \quad (6)$$

Предположим, что эффективность (организация) технологии будет тем выше, чем более пропорциональным будет перераспределение жидкости по площади каждой пластины насадки. Для оценки уровня организации технологии достаточно определить суммарное количество жидкости, попадающей на поверхность каждой пластины насадки.

Плотность орошения конкретным форсуночным оросителем определяли экспериментальным путем. В результате было подтверждено, что плотность орошения хорошо согласуется с нормальным законом распределения, которая может быть представлена функцией

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp \left\{ -\frac{(x - m_x)^2 - (y - m_y)^2}{2\sigma^2} \right\}. \quad (7)$$

В исследуемой плотности орошения приводятся главные средние квадратические отклонения x и y . При любом выборе системы прямоугольных координат задача определения количества жидкости, попадающей за определенный период времени на каждую пластину насадки, сводится к определению объема δ .

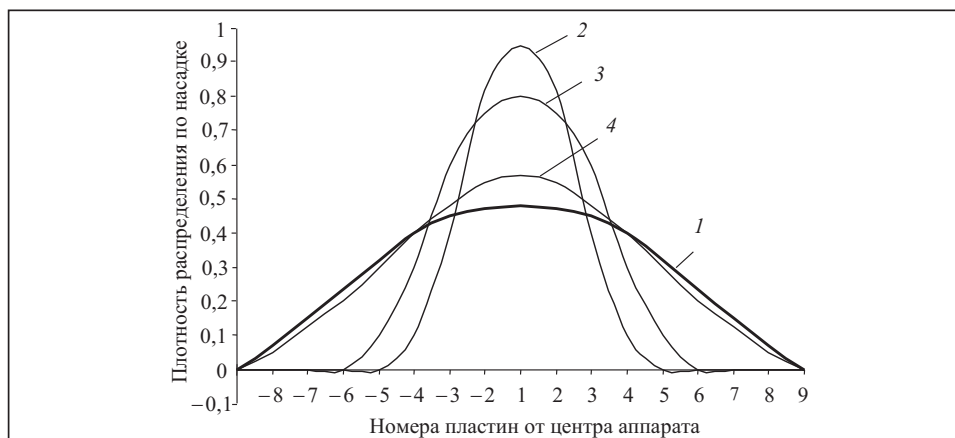


Рис. 2. Плотность распределения поступающей по насадке жидкости в зависимости от номера пластин

Поскольку первообразная функции (7) является сложной, вычисление интегралов

$$J_0 = \iiint_{V_0} f(x, y) dx dy, \dots, J_k = \iiint_{V_0} f(x, y) dx dy, \quad (8)$$

определяющих объемы жидкости, попадающей на каждую пластину насадки за определенное время, не могло быть выполнено с помощью элементарных средств. Эти объемы определены методом Монте-Карло [9] и вычислены при заданных значениях радиуса теплообменного аппарата $r=1$, числе пластин насадки $N_k=17$ и определенных фиксированных расстояниях от форсунки до верхней кромки насадки $0,5r, 1,0r, 1,5r$. Полученные результаты приведены на графиках рис. 2, где кривая 1 представляет распределение площади поверхности пластин насадки по объему аппарата, а кривые 2–4 — распределение жидкости по этим пластинам форсункой, установленной на высоте $0,5r, 1,0r, 1,5r$.

Поставив в соответствие ординатам точек каждой кривой значения вероятностей попадания капли жидкости на соответствующую пластину насадки P_{ij} и подставляя численные значения этих вероятностей в уравнения (5)–(7), определяем энтропию пары $\{a, b\}$ при различных положениях форсунки, организованность которой определяется по Форстеру.

Абсолютное соответствие пары (максимальная организация) рассматриваемых элементов достигается при пропорциональном распределении жидкости по поверхности каждой пластины насадки, а уравнение (8) может быть представлено условием

$$R = H_{i,j} / H_{\max} \rightarrow 1.$$

Как следует из анализа результатов, представленных в табл. 1, энтропия отображает соответствие количества поступающей жидкости той насадке, по которой она распределяется. Например, экспериментально установив плотность распределения жидкости, исходящей из форсунки, и плотность распределения насадки в заданном сечении теплообменного аппарата, всегда можно определить степень организованности этого аппарата как соответствие между элементами a и b с помощью закона «необходимого разнообразия» с проверкой выполнения неравенства (2).

Из приведенных результатов следует, что наилучшее соответствие элементов теплообменного аппарата достигается в случае распределения, представленного кривой 4. В паре элементов «форсунка–на-

Таблица 1

Номера кривых	Характеристики пары взаимодействующих элементов		
	$H_{i,j}$	H_{\max}	R
1	1,117	1,850	0,603
2	0,474	1,850	0,256
3	0,561	1,850	0,303
4	0,984	1,850	0,531

садка» всегда можно выбрать управляющий и управляемый. В рассматриваемом примере управляющим элементом является насадка, поскольку она предназначена для перераспределения жидкости по всему объему аппарата. Тогда согласно (2)

$$H(a) = 1,117 \geq H(b) = 0,984.$$

Следуя логике наших рассуждений, наилучший результат (максимальная организованность) достигается при абсолютном соответствии энтропий взаимодействующих элементов, т.е. когда $H(a) \cong H(b)$.

Практически абсолютное соответствие энтропий получить невозможно. Поэтому, исходя из точности проводимых экспериментов и вычислений, для рассматриваемого примера имеем $\delta \cong 0,12H(a)$, что соответствует приведенным в табл. 1 результатам. Следует отметить, что столь очевидный факт динамического соответствия элементов тепломассообменного аппарата с целью его усовершенствования послужил стимулом к созданию ряда изобретений, улучшающих данную технологию [10–13].

Еще раз остановимся на вопросе самоорганизации технологии, поскольку зачастую проектировщики, интуитивно стремясь обеспечить максимальную организованность взаимодействующих элементов, прибегают к их различным модификациям. Примером может служить попытка «урегулирования» взаимодействующей пары «ороситель–насадка» за счет изменения конструкции насадки [6]. Следствием одного из таких «урегулираний» стала разработка тепломассообменного аппарата с форсуночным оросителем и плоскопараллельной насадкой, пластины которой выполнены из сетки. Для проверки рациональности замены сплошных пластин на сетчатые была разработана методика, по которой определяли закон распределения жидкости по поверхности насадки, выполненной из сетки. При этом вычисляли вероятность попадания капли жидкости, исходящей из форсунки, в прямоугольную ячейку сетки. Оказалось, что энтропия взаимодействующих элементов аппарата, насадка которого выполнена из сплошных пластин, не намного отличается от энтропии пары взаимодействующих элементов форсуночный ороситель–насадка, выполненная из сетки (0,822, и 0,926 соответственно). Отсюда следует, что эффективность этих аппаратов практически одинакова, а затраты на улучшение перераспределения жидкости по пластинам плоскопараллельной насадки за счет ее исполнения в виде сетки с ячейками заданного размера не оправданы. При этом время работы аппарата, насадка которого выполнена из сетки, снижается за счет низких прочностных характеристик.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе показана значимость применения синергетического подхода при моделировании технологий для определения соответствия работы элементов и их составляющих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волькенштейн М.В. Молекулы и жизнь. Введение в молекулярную биофизику. Москва: Прогресс, 1965. 505 с.
2. Большаков В.И., Дубров Ю.И. «Самоорганизация материала» как процесс детерминированной адаптации. *Доповіді НАН України*. 2004. № 9. С. 97–104.
3. Бостром Н. Искусственный интеллект. Этапы. Угрозы. Стратегии. Санкт-Петербург: Манн, Иванов и Фербер, 2016. 496 с.
4. Ильясов Ф.Н. Разум искусственный и естественный. *Известия АН Туркменской ССР. Серия общественных наук*. 1986. № 6. С. 46–54.
5. Дубров Ю.И. Оценка эффективности оросителей на основе информационной энтропии. Теоретические основы химической технологии. *Доклады АН СССР*. 1981. С. 219–226.
6. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. Москва: Наука, 1988. 206 с.

7. Эшби У.Р. Конструкция мозга. Москва: Мир, 1964. 463 с.
8. Шеннон К. Математическая теория связи. Работы по теории информации и кибернетике. Москва: ИЛ, 1963. С. 333–369.
9. Бусленко Н.П., Шрейдер Ю.А. Метод статистических испытаний Монте-Карло и его реализация в цифровых машинах. Москва: Физматгиз, 1961. 228 с.
10. А. с. № 575121 СССР, МПК (7) В 01 D 53/18. Щелевой ороситель для тепло-массообменных аппаратов. Ю.И. Дубров, В.М. Гуляев, И.М. Ханин (СССР). № 2364169/25-26. Заявл. 26.05.1976. Опубл. 05.10.1977, Бюл. № 37.
11. А. с. № 565699 СССР, МПК (7) В 01 D 53/18. Устройство для распределения жидкости в тепло-массообменном аппарате. Ю.И. Дубров, О.В. Федулов, Ф.Я. Обуховский, И.М. Ханин, Н.П. Жениевский, М.Ю. Силенко (СССР). № 2335648/26. Заявл. 17.03.1976. Опубл. 25.07.1977, Бюл. № 27.
12. А. с. № 637136 СССР, МПК (7) В 01 D 53/18. Устройство для распределения жидкости в тепло-массообменном аппарате. В.К. Тарханов, Ю.И. Дубров, И.М. Ханин, В.П. Сидогин, В.П. Коваленко (СССР). № 2525773/23-26. Заявл. 21.09.1977. Опубл. 15.12.1978, Бюл. № 46.
13. А. с. № 622485 СССР, МПК (7) В 01 D 53/18. Ороситель для тепло- и массообменных аппаратов. Ю.И. Дубров, В.М. Гуляев, И.М. Ханин, Ю.И. Гуляев (СССР). № 2451975/23-26. Заявл. 14.02.1977. Опубл. 05.09.1978, Бюл. № 33.

Надійшла до редакції 16.01.2018

Ю.І. Дубров

СИНЕРГЕТИЧНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЬОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Анотація. Самоорганізацію розглянуто як самовдосконалення відкритих систем. Показано, що в процесі самоорганізації будь-якої технології завжди є антропоморфна складова. Зазначено, що організацію і самоорганізацію проєктованої системи можна визначити завжди. Наведено конкретний приклад визначення самоорганізації технології роботи тепломасообмінного апарата, що включає синергетичні аспекти технології, обґрунтування критерію працездатності технології, формалізацію технології, висновки та рекомендації. Зазначено, що абсолютна взаємодія пари елементів технології (максимальна організація) досягається для пропорційного розподілу робочого матеріалу по поверхні елементів, що взаємодіють. Найкращий результат (максимальна організованість) досягається для абсолютної відповідності ентропій взаємодіючих елементів технології.

Ключові слова: синергетика, організованість, самоорганізація, технологія, тепломасообмінний апарат.

Yu.I. Dubrov

SYNERGETIC ASPECTS OF SIMULATED TECHNOLOGIES

Abstract. In the paper, self-organization is considered as self-improvement of open systems. It is shown that in the process of self-organization of any technology, there is always an anthropomorphic component. It is noted that organization and self-organization of the projected system can always be determined. A specific example of the determination of self-organization of the heat-exchange equipment operation technology is given, which includes: synergetic aspects of technology, justification of the working capacity of the technology, technology formalization, conclusions and recommendations. It is noted that absolute interaction of a pair of technology elements (maximal organization) is achieved when the working material is proportionally distributed over the interacting elements. The best result (maximum organization) is achieved when the entropy of the interacting elements of technology is absolutely consistent.

Keywords: synergetics, organization, self-organization, technology, heat and mass transfer apparatus.

Дубров Юрий Исаевич,

доктор техн. наук, профессор кафедры Приднестровской государственной академии строительства и архитектуры, Днепр, e-mail: volchuky@gmail.com.