

Формализация представлений о производственной системе на примере процесса бурения нефтяных и газовых скважин

Власенко Александра Владимировна, кандидат технических наук, доцент
Жданов Андрей Андреевич, аспирант
Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар)

Аннотация. Рассмотрение пространства как множества точек, обладающих структурой показывает, что в производственной среде пространство становится дискретным, а структура отношений между элементами представляется соединенной тем или иным образом линиями, плоскостями, многомерными объемами (в общем случае), которые в совокупности составляют пространство-структуру, т. е. производственную среду. Такую интерпретацию технических задач может дать геометрический подход. Переход к геометрической интерпретации производственных систем осуществляется введением гипотетического пространства, системы координат, а также точных геометрических эквивалентов физическим понятиям и процессам. Состояние производственной системы в некоторый момент времени определяется вершиной графа и соответствующим значением временного ряда. Переход из одного состояния в другое описывается дискретным отображением.

Ключевые слова: Прогнозирование, временной ряд, производственная система, математическая модель, бурение нефтяных и газовых скважин

В основу общего подхода к прогнозированию производственного процесса как организационно-технической системы можно положить представление о том, что производственное пространство, его структура и технология образуют единое пространство.

Такую интерпретацию технических задач может дать геометрический подход, позволяющий отобразить физические объекты и процессы, которые используются на различных этапах производства, геометрическими преобразованиями. Переход к геометрической интерпретации производственных систем осуществляется введением гипотетического пространства, системы координат, а также точных геометрических эквивалентов физическим понятиям и процессам [1].

Для изучения геометрических свойств объектов и систем производства будем рассматривать их как объединение простых элементарных геометрических фигур — симплексов.

При этом узлам (монтажным точкам) производственной системы будем ставить в соответствие нульмерный симплекс $[a_0]$, технологической связи, соединяющей два узла — одномерный симплекс $[a_0, a_1]$, а цепи — формально составленную сумму ориентированных одномерных симплексов [2, 3]:

$$C^1 = \alpha_1 S_1^1 + \alpha_2 S_2^1 + \alpha_n S_n^1, \quad (1)$$

где S_1^1, S_2^1, S_n^1 — одномерно-ориентированные симплексы;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_n$ — целые числа.

Последовательность (1) представляет собой линейную комбинацию переменных S_1^1, S_2^1, S_n^1 с коэффициентами $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_n$. Умножение симплекса на (-1) означает изменение его ориентации.

Границей одномерного симплекса $S = [a_0, a_1]$ называется нульмерная последовательность вида [4]:

$$\partial S = a_1 - a_0, \quad (2)$$

а граница последовательности определяется формулой:

$$\partial C^1 = \sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i S_i^1. \quad (3)$$

Геометрическое изображение технологической цепи есть граф, в котором каждый симплекс — ребро, соединяющий вершины a_i, a_j . Топологическим эквивалентом сети производственной системы является геометрический комплекс (K), т. е. совокупность одномерных симплексов, обладающих определенными свойствами.

Состояние производственной системы в некоторый момент времени определяется вершиной графа и соответствующим значением временного ряда. В следующий момент времени состояние системы изменяется, если граф разветвляется, то система может вести себя неоднозначно. Переход из одного состояния в другое описывается дискретным отображением.

Производственный комплекс (производственную систему) можно отобразить в виде суммы цепей с целыми коэффициентами [2]:

$$C^1(K) = \sum_V \left\{ \sum_{k=1}^n \alpha_k S_k^1 \right\}. \quad (4)$$

В производственных циклах участвуют только детерминированные объекты и системы, которые можно представить в виде упорядоченных пар:

$$A = \langle S, f \rangle, \quad (5)$$

где S — множество одномерных симплексов, f — описывающая функция. Описывающая многозначная функция f ставит в соответствие одномерным симплексам натуральные числа:

$$f : S \rightarrow Z, \quad (6)$$

где Z – множество натуральных чисел.

Топологический эквивалент объекта (системы), для которого определена описывающая функция f будем называть детерминированным графом или просто графом объекта (системы).

При рассмотрении многих сторон функционирования производственных систем (ПС) не требуется учета функциональных особенностей оборудования, технологических линий, элементов производства, их геометрических параметров, детализированных структур и др., и можно отобразить производственные объекты нульмерными объектами с определенными характеристиками. Часто достаточно знать наличие или отсутствие у объекта определенных характеристик, связей.

Тогда, выбирая нужные для рассмотрения параметры и прибегая к бинарному алфавиту, можно отобразить объект символом Кронекера, если в качестве базиса выбирается система координат в соответствие с рассматриваемыми характеристиками объекта:

$$0 = \delta_{ik} = \begin{cases} 1, i = k \\ 0, i \neq k \end{cases}. \quad (7)$$

Для формализации этапов производства будем считать, что они составляют систему актов преобразования объектов, опосредствованных структур, отношений, взаимодействий. Непосредственные преобразования, связанные с тем или иным этапом производства, можно записать в виде:

$$M_A = \{m_1, m_2, \dots, m_k\}, \quad (8)$$

где вектор m_1 означает реализацию конкретных параметров объекта.

Формальное понятие «преобразование» и построение абстрактной модели преобразований представлений основано на использовании тензора преобразований как группы матриц преобразования, которые определяются с помощью матрицы преобразования C_a^a .

Объекты и ПС состоят из множества различных деталей и компонентов. Однако это многообразие может быть отображено в структурированном пространстве монтажными точками, над которыми выполняются операции, и цепями, отображающими процессы в ПС. Преобразования такого пространства будут сводиться к формированию соединений и связей между компонентами и монтажными точками этих компонент.

Для преобразований абстрактного пространства-структуры, моделирующего производственную систему, введем отображение некоторого множества M на себя. Совокупность преобразований абстрактных объекта или системы отобразим множеством матриц преобразования $C = C_a^a$, каждая из которых соединяет заданные пары монтажных точек компонент этих объектов или систем [2]

$$M = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_n\}. \quad (9)$$

Введем систему правил и ограничений в виде постулатов, которые позволят рассматривать различные объекты и ПС с общих позиций.

П1. Допускается разбиение агрегатов и систем на определенное число образующих – функциональных подсистем, если детали подсистем ПС связываются элементами фиксированного набора.

П2. Агрегаты, ПС и их компоненты отображаются тремя структурами: объектной, соединений и обмена, причем каждая из этих трех структур строится, опираясь на их основные характеристики.

П3. Структуры агрегатов, ПС и их составляющих определяются одной или несколькими формально составленными суммами ориентированных симплексов s_k^i .

Постулаты П1-П3 позволяют обратиться любой рассматриваемый объект или систему в геометрический комплекс K , который определяется одной или несколькими формально составленными суммами ориентированных симплексов в зависимости от сложности объектов или ПС [5]

Дальнейшие постулаты будут апеллировать к содержательному смыслу связей между реальными элементами объектов и производственными участками. Естественно считать, что выполняется постулат:

П4. Принадлежность реальных элементов одному и тому же функциональному агрегату, производственному участку однозначно определяется связями деталей, потоков.

При этом также естественно считать, что связям деталей, потоков между двумя реальными компонентами присущ определенный характер (частный и общий). При выделении функционального агрегата, участка не учитываются носящие общий характер связи, т.е. имеет место следующий постулат:

П5. Если две реальных компоненты входят в исследуемый объект, то их принадлежность к функциональному агрегату или участку определяется частным характером связей.

Существует ряд объектов, частный характер связей которых не позволяет отнести их к отдельным функциональным агрегатам, участкам; для учета этого факта вводится следующий постулат:

П6. Каждая реальная компонента может иметь частные связи не только с компонентами функционального агрегата, участками, в который она входит, но и с любыми компонентами функциональных агрегатов, участков этого объекта или производства.

Таким образом, постулаты П4-П6 служат для формализации структуры связности. В этом случае каждая компонента объекта рассматривается как точка (вершина графа), представляющая собой, чаще всего, узел связей в структуре.

Следующие постулаты позволяют перейти к матричному виду описания структуры связей объектов или ПС.

П7. Существует единственная единичная несингулярная матрица, представляющая соединения компонентов объекта или ПС.

П8. Для любой сети, задающей соединения между монтажными точками конкретного объекта или ПС, может быть найдена несингулярная матрица свертки C_a^a .

При этом матрицы свертки можно представить физически посредством каналов связи, соединяющих различные монтажные точки реальных компонент объекта.

Заключительный набор постулатов связан с преобразованием производственного пространства и формированием структур обмена этого производства.

П9. Конкретный объект или ПС могут быть представлены инвариантом, определяемым критериями взаимодействия, при описании их в различных пространствах представлений.

П10. Существует преобразование специального типа, определяемое матрицей свертки C , формирующей структуру обмена любого объекта, системы и их производства.

С учетом введенных понятий при формализации действий над объектами и системами, участками их производства основную роль будут играть такие их физические характеристики, которые можно представить в виде l -мерных матриц и тензоров свертки C и формул преобразований (уравнений).

Если рассматривать процессы создания объектов и систем с позиций математических методов описания, то любые объекты или системы создаются действиями, реализующими формулы преобразования, которые постоянно связаны с ними, и, в которые входит, в качестве обязательного члена, тензор свертки C , представляющий определенные операции, выполняемые над объектом или системой.

Формирование связей между компонентами объекта или производственными участками является одним из основных видов изменений в физической структуре этих объектов или систем, которые могут быть математически представлены тензором свертки C .

Найдем физическую интерпретацию тензора свертки C обобщенной производственной системы, который представляется посредством специальных компонент, соединяющих различные процессы организационно-технической системы.

Введем в рассмотрение абстрактные действия над объектами и системами, которым дадим определенную физическую и геометрическую интерпретацию. Конкретные структуры однотипных объектов (систем) подобны и, следовательно, их можно рассматривать как звенья общей цепи, уравнения которых определяются системами координат.

В инженерных задачах производства объектов и систем изменения их физической структуры разделены на последовательные этапы, которые выполняются каждый отдельно.

Введем для каждого из составляющих этапов изменений структуры объекта или системы матрицы преобразований C_1, C_2, \dots, C_n и матрицу свертки C , которая является результирующей. Известно, что все матрицы $C_i (i = 1, 2, \dots, n)$, изменяющие соединения различных компонент, т. е. преобразующие в нашем случае обобщенный объект или систему в конкретные, образуют группу матриц свертки.

Результирующую матрицу свертки $C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$ можно получить в виде: $C_a^a = C_1 + C_a^{a1} + \dots + C_a^{an}$.

Разделение матрицы свертки C на ряд последовательных матриц дает эффективный способ уменьшения размерности инженерных задач технологического анализа и синтеза. При этом каждый этап анализа может быть осуществлен независимо от других, а затем, используя свойства действия сложения (ассоциативность, коммутативность, действия с нейтральным и обратным элементами) на элементах группы C_i синтезировать технологический процесс как заданную последовательность преобразований.

Для формализации детальных описаний организационно-технических задач дифференцируем рассмотренное выше понятие компоненты, и введем две фундаментальные компоненты: простую компоненту элемента объекта (вершина графа) и особую компоненту сети объекта – связь (ребро графа).

Простые компоненты деталей объекта являются либо связями (ребрами), либо составными частями сложных реальных компонент производства. Простые компоненты элементов объектов и связи образуют все главные структуры производственной системы. Эти компоненты образуют пространство-структуру, полностью замкнутое и самосогласованное единство (сборочно-монтажное пространство – преобразования – образующие), составляющие тот или иной производственный участок.

В работе [6] показано, что для построения дискретных уравнений производственного процесса бурения нефтяных и газовых скважин необходимо рассматривать проходку некоторой отдельной скважины. В каждый интервал времени скважина углубляется, на это расходуется некоторая часть ресурса. Ресурс ограничен начальными условиями – глубиной залегания нефтегазоносного слоя, но за пределами этих границ имеется резерв для восполнения ресурса, например, в случае наличия наклонно-направленных и горизонтальных участков.

Особенностью производственных систем является наличие разрывов данных в отслеживаемом временном ряде, которые связаны с производственными простоями, среди которых в зависимости от причин возникновения можно выделить следующие разновидности: ожидание оборудования и материалов, ожидание бригады, отсутствие спецтехники, приостановка работ по причине неблагоприятных погодных условий, сезонное бездорожье, отсутствие разрешительной документации на производство работ, ожидание согласования планов работ [7].

Рассмотрение нами выше пространства как множества точек, обладающих структурой, позволило сблизить понятия самого пространства и объектов, в нем расположенных. В производственной среде пространство становится дискретным, а структура отношений между элементами представляется соединенной тем или иным образом линиями, плоскостями, многомерными объемами (в общем случае), которые в совокупности составляют пространство-структуру, т. е. производственную среду. Такое пространство подходит для представления единым образом особенностей различных производственных систем.

Литература:

1. Кусова А.Ю. Оптимизация взаимодействия основных и вспомогательных производственных процессов мелкосерийного производства изделий из композиционных материалов / Кусова А.Ю., Кусов В.Е. // Образование. Наука. Научные кадры. – 2015. – № 6. – С. 192-197.
2. Кусова А.Ю. Моделирование технологических операций мелкосерийного производства изделий из композиционных материалов для летательных аппаратов / Кусова А.Ю. // Образование. Наука. Научные кадры. – 2015. – № 1. – С. 231-236.
3. Коптев А.Н. Задача синтеза модели сути для контроля и диагностики при производстве бортовых комплексов оборудования летательных аппаратов / Коптев А.Н., Кириллов А.В., Яковенко Н.А., Дронов Д.Ю. // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2011. – № 2 (26). – С. 72-78.
4. Коптев А.Н. Вопросы синтеза модели процессов контроля и диагностики бортовых комплексов оборудования летательных аппаратов [Электронный ресурс] / Коптев А.Н., Кириллов А.В., Яковенко Н.А., Дронов Д.Ю. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – т. 13, № 6. – Режим доступа: http://ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2011/2011_6_99_105.pdf. (Дата обращения: 20.05.2018).
5. Коптев А.Н. Тензорная методология в теории представлений организационно-технических систем / Коптев А.Н., Коротнев Г.И. // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва. – 2002. – № 1 (1). – С. 91-94.
6. Власенко А.В. Исследование математической модели скорости бурения нефтяных и газовых скважин / Власенко А.В., Жданов А.А. // Материалы конференций ГНИИ «Нацразвитие». Сборник избранных статей – Август 2017. – С. 78-80.
7. Власенко А.В. Особенности прогнозирования скорости бурения нефтяных и газовых скважин [Электронный ресурс] / Власенко А.В., Жданов А.А. // Научные труды КубГТУ. – 2017. – № 3. – Режим доступа: <https://ntk.kubstu.ru/file/1533>. (Дата обращения: 10.05.2018).