

ние возобновляемых ресурсов по времени между работами, что

$$T_j^* - T_i^* \geq W_p(Y_{ij}), \text{ для всех дуг } (i, j); \quad (1)$$

$$l_i \leq T_i^* \leq L_i, \text{ для некоторых событий}; \quad (2)$$

$$V^k \geq F_t^k, \text{ для всех } t \text{ и } k; \quad (3)$$

$$T_n^* \rightarrow \min. \quad (4)$$

Здесь  $T_i^p$  и  $T_i^n$  - ранний и поздний сроки совершения события  $i$ .

Соотношения (1) задают взаимосвязи между всеми событиями сети, включая дуги-связи, дуги-работы и абсолютные временные ограничения.

Соотношения (2) задают абсолютные ограничения на момент реализации некоторых контрольных событий  $i$ . Здесь  $l_i$  и  $L_i$  - самый ранний и самый поздний сроки наступления  $i$ . Событием  $i$  могут быть начало или завершение какой-нибудь работы.

Ограничение (3) учитывает ограниченность возобновляемых ресурсов, т.е. в каждый момент времени потребность в ресурсе из пула  $k$  не должна объема данного пула.

Целевая функция (4) обеспечивает построение расписания производственного процесса с минимальным временем.

Алгоритм решения поставленной задачи схож с алгоритмов, описанном в [1].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воропаев В.И., Гельруд Я.Д. Циклические альтернативные сетевые модели и их использование при управлении проектами [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.sovnet.ru/pages/casml.rar>.
2. Маклаков С. Имитационное моделирование с Arena [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.interface.ru/fset.asp?Url=/sysmod/ar1.htm>.
3. Системы оперативного управления производством [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.mesa.ru/>

#### МЕХАНИЧЕСКАЯ ТРАКТОВКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ МЕЖФАЗНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЕРЕХОДНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ

Готовцев В.М., Пуговишников П.С.  
Ярославский государственный  
технический университет

Нанотехнологии по заявлению президента В.В. Путина в настоящее время составляют одно из наиболее перспективных направлений современной науки. Нанозффекты, т. е. эфффекты, возникающие в физических объектах с линейными размерами, сопоставимыми с размерами молекулы вещества, могут существенно сказаться на свойствах этих объектов. Чаще всего их проявление сказывается в дисперсных системах, где преобладающее влияние имеют поверхностные эфффекты. В качестве примера можно рассмотреть пенную структуру, состоящую из жидкой и газо-

вой фаз. Ни одна из составляющих фаз не обладает свойствами твердого тела, в данном случае способностью сохранять форму своего объема. Пена такой способностью обладает. Сказанное позволяет сделать вывод о том, что создание физических объектов с линейными размерами, сопоставимыми с размерами молекул вещества, может существенно сказаться на свойствах конечного продукта. В случае пены такими объектами являются тонкие жидкостные прослойки между пузырьками газа.

На первый взгляд проявление эфффектов подобного рода выглядит как координальное изменение свойств вещества в системах подобного плана. Однако рассмотрение классических теорий строения жидкостей, в частности, теории Ван-Дер-Ваальса [1] предсказывает подобное поведение вещества в сверхтонких физических объектах, какими являются жидкостные прослойки пены.

Эфффекты подобного плана являются объектом исследования физической химии. В настоящее время рассматривается достаточно большое количество механизмов для описания таких эфффектов. В качестве примера можно привести монографию Дерягина Б.В. [2], в которой проявление поверхностных эфффектов представляется действием как минимум семи факторов различного плана. Однако конечным результатом проявления всех этих факторов является возникновение новых форм механического взаимодействия между молекулами рассматриваемого объекта и внешней средой. Установление таких связей возможно путем введения межфазных напряжений [3] и анализа тензора введенных напряжений.

Рассмотрим простейший вариант образования межфазного слоя над свободной поверхностью жидкости. Как известно, такой слой обладает особыми свойствами, проявляющимися в возникновении поверхностного натяжения жидкости. Трактовка поверхностного натяжения обычно связана с возникновением некоторого запаса поверхностной энергии, приводящего к появлению новых свойств вещества. Однако энергетические представления обычно не позволяют установить механизма того или иного явления.

Механическая трактовка поверхностного натяжения состоит в следующем. Представим свободную поверхность жидкости, контактирующую, например, с воздушной средой. Проявление поверхностных свойств жидкости происходит в достаточно тонком контактном слое, толщина которого неизвестна. Давление жидкости в объемной фазе и прилежащем слое насыщенного пара отличается на несколько порядков (как минимум на 3). В соответствии с этим на толщине межфазного слоя происходит изменение плотности вещества от плотности жидкости до плотности насыщенного пара с соответствующим изменением давления.

Давление насыщенного пара является известной величиной, зависящей от значения температуры. Однако вопрос о давлении жидкости в ее объеме остается открытым. Гидростатическое давление жидкости зависит от атмосферного давления, т.е. действия гра-

витационного поля. С другой стороны капиллярные явления проявляются в невесомости. В соответствии с этим при учете давления в жидкости следует исключить внешние факторы и рассматривать жидкость, как структуру, зависящую от действия только внутренних факторов. По-видимому, такими факторами являются силы межмолекулярного взаимодействия в объеме жидкости.

В теории Ван-Дер-Ваальса значение давления в жидкости (в данном случае оно принимается отрицательным, т.е. определяет силы притяжения между молекулами) составляет порядок  $10^8$  Па, т.е. около 1000 атмосфер. С учетом этого перепад давления в пределах межфазного слоя жидкости примерно равен обозначенной величине. Формирование такого перепада на малой толщине межфазного слоя должно приводить к возникновению существенных градиентов свойств вещества. С точки зрения механики подобный перепад должен быть уравновешен некоторыми внутренними силовыми факторами. В рассматриваемой ситуации такими факторами могут быть только межфазные напряжения.

В рамках объема данной работы не представляется возможным подробно раскрыть сущность предлагаемого подхода. Отметим, что его использование позволило определить толщину межфазного слоя воды, которая при температуре  $20^0$  С, которая составляет  $10^{-8}$  м. Подобный порядок предполагает расположение как минимум 10 молекул воды в межфазном слое.

Изотропность вещества в межфазном поверхностном слое приводит к возникновению межфазных напряжений, которые в рассматриваемом случае имеют смысл межфазного поверхностного натяжения. Аналогичная ситуация складывается на границе жидкости и смоченной твердой поверхности. Здесь, так же как в рассмотренном случае, возникает поверхностный слой, обусловленный взаимодействием жидкой и твердой фаз. Характер такого взаимодействия экспериментально может быть выявлен по значению краевого угла смачивания. Рассмотренный подход позволяет рассчитать значения толщин межфазных слоев и действующих в них межфазных напряжений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дж. Роулинсон, Б. Уидом. Молекулярная теория капиллярности.- М.: Мир, 1986. 375 с.
2. Дерягин Б.В. Исследования в области поверхностных сил. – М.: Наука, 1964. 363 с.
3. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Ч.1. – М.: Наука, 1987. – 464 с.

### СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫМИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВЛИЯНИЮ ВОЗМУЩЕНИЙ

Краснов И.Ю.

*Томский политехнический университет*

Принципиально важным желаемым свойством адаптивных методов синтеза управляющих воздейст-

вий является робастность, под которой, в данном случае, понимается нечувствительность результатов к изменениям условий наблюдения. Робастность алгоритмов достигается посредством компенсации возмущений, влиянию которых подвергается объект управления (эффект выдвигание руки с зажатой деталью в захвате на поворот руки промышленного робота, подключение к валу электродвигателя механической нагрузки и т.д.). В свою очередь, компенсировать возмущения возможно различными способами, одним из которых является использование элементов адаптации в контуре управления. В настоящей работе предложен алгоритм синтеза оптимального управления нестационарными электромеханическими объектами с компенсацией возмущений с помощью параметрической адаптации регулятора.

Пусть математическая модель функционирования электромеханического объекта описана системой линейных нестационарных разностных уравнений вида [1]:

$$x(k+1) = \tilde{A}(k)x(k) + \tilde{b}(k)u(k), \quad x(0) = x_0, \quad (1)$$

где  $x(k)$  –  $m$ -мерный вектор, компоненты которого определяют состояние электромеханического объекта в такт времени  $k$ ;  $u(k)$  –  $m$ -мерный вектор управляющих воздействий;  $\tilde{A}(k)$  – матрица параметров объектов управления размерности  $(n \times n)$ ,  $\tilde{b}(k)$  – матрица влияния управляющих воздействий размерности  $(n \times m)$ ;  $x_0$  – начальное состояние электромеханического объекта в момент времени  $t_0$ ;

$(t_0, N)$  – период моделирования; такт  $k$  соответствует моменту времени  $t_k = t_0 + k \Delta t$ ,  $\Delta t$  – период квантования сигнала по времени.

Функционал качества имеет вид:

$$J(x(k), U(k)) = \Phi(x(N), N) + \sum_{k=t_0}^N L(x(k), U(k), k). \quad (2)$$

Образует гамильтониан:

$$H(x(k), p(k), u(k)) = L(x(k), u(k), k) + p(k)^T f(x(k), u(k), k). \quad (3)$$

Вспомогательный вектор  $p(k)$  является решением разностного уравнения:

$$p(k+1) = - \left\{ \frac{\partial H(x(k), p(k), u(k))}{\partial x(k)} \right\}^T,$$

краевое условие которого на правом конце определяется условиями трансверсальности [2].

В качестве управляющего воздействия рассматривается выходное напряжение импульсного преобразователя, модулированное по широтно-импульсному закону и поступающее на исполнительный элемент электромеханического объекта.

В аналитической теории при нахождении управлений, доставляющих минимум функционала качества (2), учитывается то обстоятельство, что на оптимальной траектории управления есть точка стационарности гамильтониана (3) (на управление не наложено ограничений), и не используется тот факт, что