

Информатика, вычислительная техника и управление

УДК 658.514.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАЦИЙ: ДИСЦИПЛИНЫ НАЗНАЧЕНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ LP*

М.А. Бражников, Е.Г. Сафронов, И.В. Хорина

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: max.brh@yandex.ru

В условиях значительного разнообразия производственной номенклатуры ведущая роль отводится определению последовательности запуска-выпуска партий предметов. Разработка методики установления последовательности рабочих заданий является одним из опорных инструментов бережливого производства. Математические модели определения оптимальной последовательности имеют ограниченное применение. Эвристические подходы отличаются простотой и достаточно легко вписываются в ограничения различного характера. Представленные дисциплины назначения позволяют установить комплекс приоритетов в процессе разработки производственного графика. Основная задача менеджмента предприятия – разработка некоторой комбинации приоритетов, обеспечивающих повышение эффективности производственных процессов. Выбор оптимальной последовательности выполнения операций обеспечивает соблюдение принципов рациональной организации производства.

Ключевые слова: дисциплины назначения, правила очередности, производственная система, экономико-математические модели, эвристические подходы, трудоемкость, длительность цикла, приоритет выпуска, бережливое производство.

Одним из важнейших приоритетов современной производственной системы, ориентированной на разработку и внедрение инноваций, является решение задачи установления четкой последовательности производственных заданий. Особую актуальность указанная проблема приобретает в условиях значительного расширения номенклатуры выпуска (разнообразия продукции).

Определение очередности и разработка графика выполнения работ – ключевой инструмент бережливого производства. Формирование производственного

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 16-36-00334 «Обновление и модернизация основных производственных фондов в машиностроении».

LP – lean production – бережливое производство.

Максим Алексеевич Бражников (к.э.н., доцент), доцент кафедры «Экономика промышленности и производственный менеджмент».

Евгений Геннадьевич Сафронов (к.э.н., доцент), доцент кафедры «Экономика промышленности и производственный менеджмент».

Ирина Вениаминовна Хорина (к.э.н.), доцент кафедры «Национальная и мировая экономика».

графика заключается в упорядочении комплекса запланированных рабочих заданий в условиях некоторого ряда ограничений. Цель решения – оптимизация установленного критерия или совокупности оценочных показателей.

В качестве объекта планирования (производственного задания) могут быть использованы партии предметов труда (деталей или сборочных единиц), отдельные технологические операции или комплекс работ, закрепленные за соответствующим оборудованием или группой взаимосвязанных рабочих мест.

Среди основных показателей единицы планирования следует выделить трудоемкость изготовления, календарный срок выпуска, удельную себестоимость, длительность производственного цикла.

Определение состава ограничений обусловлено специфическими особенностями конкретной производственной системы:

- разработка технологического маршрута, регламентирующего последовательность выполнения производственных операций;
- расчет времени запуска партии предметов на основе графиков поставки сырья и материалов, заготовок и комплектующих с учетом согласования работ смежных подразделений;
- обоснование сроков выполнения работ или длительности производственного цикла в соответствии с установленной производственной программой;
- определение эффективного фонда времени работы технологического оборудования или рабочих мест в пределах исследуемого горизонта планирования;
- выбор способа перемещения партии предметов труда на смежных операциях, по производственным участкам или цехам;
- установление режима работы производственной системы, регламентирующего продолжительность рабочего периода, время необходимых перерывов и естественных процессов;
- уточнение параметров реального функционирования производства – коэффициента выполнения норм, коэффициента сменности.

В целях решения задачи формирования расписаний в каждом конкретном случае (в рамках исследуемой производственной системы) устанавливается соответствующий набор ограничений. Производственное расписание, которое удовлетворяет условиям ограничений, называется допустимым.

Для оценки качества сформированного расписания используется система целевых показателей (критерий оптимальности). Среди целевых показателей наибольшее распространение получили следующие критерии:

- минимизация времени выполнения общего объема работ;
- сокращение суммарного времени простоя рабочих мест;
- уменьшение времени ожидания партией своей очереди на обработку;
- снижение объемов незавершенного производства;
- обеспечение соответствия сроков выпуска предметов установленным планом календарным датам.

С точки зрения теоретической постановки задачи формирования расписаний математические методы приводят к достижению требуемого оптимума, но вызывают необходимость достаточно «тонкой» настройки учета реальных условий производства. Иначе говоря, в общем случае решения задачи формулировка условий использования математических методов практически невозможна. Оптимизация результата достижима лишь в частных случаях, что ограничивает применение математических моделей.

С практической стороны информационные системы и стандарты управления

производством также содержат различные методы оптимизации последовательности выполняемых работ в рамках оперативно-календарного планирования. В то же время в условиях динамичности производственной системы и решения задачи соответствия выпуска партий предметов срокам завершения работ общие подходы не обеспечивают оптимизации результата [1, с. 547]. Это вызвано тем, что представленные методы исходят из статической постановки задачи с использованием одного критерия – максимизации пропускной способности системы. Однако в условиях реального производства необходимо обеспечить своевременность выполнения работ, скорость исполнения заданий или достижение других показателей. В этом случае определение последовательности работ посредством методов векторной оптимизации приводит к альтернативности вариантов.

В различных производственных процессах при установлении порядка выполнения работ используются эвристические правила очередности [2, с. 548] или дисциплины назначения [3, с. 85], определяющие приоритет выпуска.

Эвристические подходы отличаются простотой, меньшей трудоемкостью вычислений, легко вписываются в ограничения различного характера. Несмотря на то, что подобные подходы не обеспечивают оптимальности расписаний, они способствуют достижению приемлемых результатов решения.

В зависимости от конкретных условий производства и выбранной дисциплины назначения эффективность расписания варьируется. Оценка качества установленной последовательности работ в каждом отдельном случае должна подтверждаться экспериментальным путем.

Группировка приоритетов в виде «правил», регулирующих последовательность предметов и получивших наиболее широкое распространение, может быть представлена следующим образом.

Правило 1. Случайный выбор: последовательность выполнения работ определяется на основе цепочки случайных событий (случайных чисел).

Правило 2. FIFO «Первый пришел – первый обслужен»: последовательность выполнения комплекса производственных заданий (операций) устанавливается согласно порядку их поступления на рабочее место или в подразделение.

Обратное правило. LIFO «Последний пришел – первый обслужен»: последовательность выполнения устанавливается в обратном порядке, последняя операция из списка находится на вершине пирамиды, а значит – с нее надо начинать.

Правило 3. Срочный заказ: операция с более высоким приоритетом выпуска, который определяется на основе ранжирования работ по сроку исполнения или степени важности производственного задания, должна быть выполнена первой.

Основное противоречие использования представленной совокупности приоритетов на основе правил 1–3 заключено в неравномерности загрузки станочного парка и производственных площадей. В условиях формирования случайной последовательности выполнения разнообразных работ более продолжительные операции, если они размещены в начале списка, задерживают срок исполнения производственных заданий всех следующих за ними технологических операций. Рассматриваемая ситуация приводит к увеличению потерь времени – простоя на всех следующих рабочих местах в силу необходимости соблюдения технологической последовательности в выполнении заданий на смежных рабочих местах или в подразделениях.

Однако в некоторых ситуациях, если оценка времени выполнения операций

носит прогнозный характер, а значит – невозможно точно установить конкретный срок завершения работ, указанные приоритеты очередности необходимы. Их использование обеспечит «личную справедливость» в размещении производственных заданий (обслуживание «живой» очереди).

Очевидное преимущество представленных подходов заключается в простоте исполнения.

Правило 4. Минимальное время выполнения: ранжирование партий предметов осуществляется в соответствии с трудоемкостью их изготовления.

$$t_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где t_{ij} – время выполнения операции (i) по предмету (j).

Обратное правило. Максимальное время выполнения: самая трудоемкая операция должна быть выполнена в первую очередь.

$$t_{ij} \rightarrow \max. \quad (2)$$

Использование дисциплин назначения (4) в случае минимизации критерия, как правило, способствует сокращению среднего времени обработки партий предметов и уменьшению объемов незавершенного производства. В свою очередь, это обеспечивает рост производительности труда и пропорциональность выполнения работ.

Стержневая проблема заключена в том, что операции с наибольшей длительностью обработки отправляются в конец списка, что вызывает неуклонный рост времени ожидания партиями предметов своей очереди, особенно в тех случаях, когда более короткие операции непрерывно поступают на рабочее место. Решение указанной проблемы лежит в применении различных комбинаций приоритетов «минимальное – максимальное время выполнения». Например, при достижении определенного периода времени (календарной даты) наиболее трудоемкие операции должны быть перемещены в начало последовательности.

Правило 5. По установленным срокам: очередность выполнения производственных заданий определяется наименьшим крайним сроком выпуска предметов.

$$k'_j \rightarrow \min, \quad (3)$$

где k'_j – крайний срок выпуска предмета (j).

Дисциплина назначения «установленный срок» ориентирована на минимальное время выпуска, что обеспечивает своевременность выполнения заданий, определяя сферу ее применения. Однако есть и противоречие: трудоемкость выполнения производственного задания не учитывается, что приводит к увеличению перерывов, связанных с ожиданием партией деталей или сборочных единиц своей очереди на обработку. Следовательно, объемы незавершенного производства непрерывно растут. В ряде случаев при значительном увеличении интервала горизонта планирования стремление ранжировать производственные задания на основе сроков выполнения может привести к преждевременному выполнению ряда технологических операций относительно установленного срока выпуска. В этой связи время пролеживания партии предметов труда в ожидании их перемещения по технологическим переделам увеличивается.

Правило 6. Минимальная длина «хвоста»: партия предметов с наименьшей

остаточной длительностью цикла должна быть включена в план выпуска первой.

$$(k'_j - t_{ij}) \rightarrow \min. \quad (4)$$

Обратное правило. Максимальная длина «хвоста»: партия предметов с наибольшей остаточной длительностью обработки получает приоритет.

$$(k'_j - t_{ij}) \rightarrow \max. \quad (5)$$

Правило 7. Критическое отношение: очередность определяется на основе наименьшего отношения установленного срока к трудоемкости обработки.

$$\frac{k'_j}{t_{ij}} \rightarrow \min. \quad (6)$$

Рассмотренные выше правила 6–7 ориентируются на минимизацию остаточной длительности производственного цикла, что позволяет выявить возможный резерв времени осуществления текущей операции в общем потоке планируемых производственных заданий. Цель выражается в минимизации совокупного времени запаздывания работ и обеспечении своевременности передачи партии предметов на следующую стадию изготовления продукции. Совокупность представленных дисциплин назначения будет наиболее актуальной в условиях строгого соблюдения принципа непрерывности производственного процесса на основе ликвидации нерегламентированных перерывов.

Однако в отдельных случаях применение подобных правил приводит к ухудшению оценочных показателей производственной системы, вызывая необоснованное увеличение объемов незавершенного производства и длительности производственного цикла.

Правило 8. Напряженность выпуска: порядок выполнения работ определяется по иерархии степени напряженности, которая рассчитывается как отношение длины «хвоста» ко времени, оставшемуся до установленного срока выпуска.

$$\frac{(k'_j - t_{ij})}{(k'_j - k)} \rightarrow \max, \quad (7)$$

где k – текущий планово-учетный период.

Правило 9. Критический запас времени: приоритет запуска устанавливается по минимальной величине запаса времени в среднем на одну операцию.

$$\frac{(k'_j - t_{ij})}{h_j} \rightarrow \min, \quad (8)$$

где h_j – число операций по предмету (j).

Таким образом, в науке и практике существует достаточно большое число эвристических правил определения последовательности производственных заданий или дисциплин назначения, основанных на различных (в некоторых случаях противоположных) содержательных подходах, что обуславливает вариативность возможных результатов.

Представленные приоритеты формирования последовательности работ можно классифицировать по условиям динамичности производства. Особенность статических правил в том, что принятый индекс приоритета остается неизмен-

ным в течение достаточно продолжительного периода времени (пока не возникнет необходимость в определении новой последовательности выполнения работ). В отличие от них в динамических дисциплинах назначения индекс приоритета представляет собой некоторую функцию от времени (установленная последовательность корректируется при поступлении на рабочее место новых производственных заданий).

Как показывают результаты исследования, моделирование последовательности работ и разработка производственных графиков на основе дисциплин назначения не обеспечивают математического оптимума, что требует выбора определенной комбинации правил. Основная задача производственной системы – экспериментальным путем сформировать перечень «удобных» приоритетов, обеспечивающих нормальное протекание процесса производства, и разработать алгоритм составления расписаний на основе эффективной комбинации правил, гарантирующих достижение ключевых показателей или ликвидацию текущих проблем [4, с. 188].

В конечном счете, выбор установления различных вариантов (приоритетов в разработке оперативного плана) определяется общей длительностью выполнения и комбинацией ряда показателей [5, с. 756].

1. Среднее время выполнения работ – определяется как отношение общей суммы продолжительности операций или длительности производственного цикла к числу запланированных операций.

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^{h_j} T_{ij}}{h_j}, \quad (9)$$

где T_{ij} – общая продолжительность выполнения работ.

Во-первых, общая продолжительность выполнения работ T_{ij} включает в себя фактическое время исполнения работы. Во-вторых, в структуре величины T_{ij} отражены перерывы ожидания партиями своей очереди на обработку, а также время на транспортировку предметов. В-третьих, в показателе T_{ij} учитываются потери времени, обусловленные режимом работы конкретного производственного подразделения, а также возникающие при отклонениях от нормального хода производства (выход оборудования из строя, задержка партии предметов и т. п.). В этой связи расчет величины T_{ij} выполняется нарастающим итогом.

2. Время запаздывания операций – вычисляется как разница между реальным сроком выполнения операции и его плановым значением. Время запаздывания отражает период времени, величина которого показывает фактическое превышение времени выполнения работ над установленным сроком.

$$\bar{k}_3 = \frac{\sum_{i=1}^{h_j} (k - k'_j)}{h_j}, \quad (10)$$

где k – установленный планом срок выпуска.

3. Среднее число выполняемых работ – определяется как отношение общей длительности выполнения всех технологических операций к величине времени,

необходимой для завершения всех распределяемых работ. Среднее число работ показывает условную величину оборотных средств, связанных в незавершенном производстве.

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^{h_j} T_{ij}}{\sum_{i=1}^{h_j} t_{ij}} . \quad (11)$$

В целях окончательного выбора условно оптимальной (адекватной конкретным условиям) последовательности назначения работ следует разработать производственный график с учетом реальных параметров функционирования системы – сменный режим, выходные дни и перерывы, коэффициент выполнения норм. Анализ графического материала способствует выявлению уязвимых мест – интервалов времени, характеризующих простой оборудования, и отрезков пролеживания (потерь времени) партий обрабатываемых предметов в ожидании своей очереди обработки [6, с. 56–57].

Таким образом, процесс определения последовательности работ в условиях высокой динамичности производственной системы (выпуск партий неоднородных видов продукции, ориентированных на удовлетворение потребностей разнообразных целевых групп и учитывающих неопределенность уровня рыночного спроса) следует рассматривать как стержневой элемент организации бережливого производства. Задача установления очередности должна быть представлена в упрощенных терминах диспетчирования как установление приоритетов назначения работ в пределах одного рабочего места (группы рабочих мест).

Процесс разработки алгоритма решения и моделирования графика выполнения производственных операций [7, с. 152–153] задает следующие ключевые приоритеты:

- максимальная величина трудоемкости работ на единицу длительности производственного цикла;
- интервал времени, отражающий возможный срок выпуска партии предметов, ограниченный ранней и крайней календарной датой;
- минимальный объем условной потребности в оборотных средствах, вложенных в незавершенное производство.

Установленная на основе разработанного алгоритма последовательность работ должна пройти всестороннюю оценку для уточнения предварительного расписания на основе корректирующего алгоритма.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Производственный менеджмент: учебник / Под ред. В.А. Козловского. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 574 с.
2. *Чейз Р.Б., Эвилайн Н.Д., Якобс Р.Ф.* Производственный и операционный менеджмент / Пер. с англ. О.И. Медведь, А.И. Мороза, О.Л. Пелявского / Под ред. Н.А. Коржа. – М.: Вильямс, 2001. – 704 с.
3. *Чудаков А.Д., Фалевич Б.Я.* Автоматизированное оперативно-календарное планирование в гибких комплексах механообработки. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
4. *Бражников М.А.* Управление ритмичностью производства: моделирование оперативно-календарных планов. – Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2013. – 258 с.
5. *Стивенсон В.* Управление производством / Пер. с англ. под. общ. ред. Ю.В. Шленова. – М.: БИНОМ, 1998. – 928 с.
6. *Бражников М.А.* Моделирование производственных процессов на основе приоритетов в зада-

че определения последовательности выполнения работ // Высшее образование, бизнес, предпринимательство '2012: Материалы XVII Международной научно-практической конференции «Наука, бизнес, образование» и IV Международной научно-технической конференции «Экономика и управление: теория, методология, практика»: Сборник научных трудов. – Самара: СамГТУ, ПИБ, 2012. – С. 51–57.

7. Бражников М.А., Сафронов Е.Г., Мельников М.А., Лебедева Ю.Г. Стратегические приоритеты машиностроительного комплекса: инновационное развитие предприятий / Под ред. М.А. Бражникова, Е.Г. Сафронова. – М.: Дашков и К°, 2015. – 212 с.

Статья поступила в редакцию 17 августа 2016 г.

SIMULATION OF THE OPERATIONS SEQUENCE DISCIPLINES OF THE DESIGNATION AS THE INSTRUMENT LP

M.A. Brazhnikov, E.G. Safronov, I.V. Horina

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

In conditions of considerable diversity production range the leading part is removed to the determination of the sequence of the launch-release of the parties of objects. Development of methods of sequence of work tasks is one of the key tools of lean manufacturing. Mathematical model of determining the optimal sequence are of limited use. Heuristic approaches are simple and easy enough to fit into the constraints of a different nature. Represented disciplines of designation make it possible to establish the complex of priorities in the process of development of production schedule. The main objective of the company's management – development of some combination of priorities that enhance the efficiency of production processes. The selection of the optimum sequence of fulfilling the operations ensures the observance of the principles of the rational organization of production.

Keywords: *discipline of designation, rule of priority, production system, economic and mathematical models, heuristic approaches, labor expense, the duration of cycle, the priority of release, lean production.*

*Maksim A. Brazhnikov (Ph.D. (Econ.)), Associate Professor.
Evgeny G. Safronov (Ph.D. (Econ.)), Associate Professor.
Irina V. Horina (Ph.D. (Econ.)), Associate Professor.*

УДК 681.3

СИСТЕМНАЯ МОДЕЛЬ И КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПРОЕКТА РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РЕГИОНА

Н.Г. Губанов, А.А. Кимлык

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Предлагается системная модель проектов развития транспортной инфраструктуры региона. Предложена системная характеристика проектов развития транспортной инфраструктуры региона, показывающая процесс оценки эффективности инвестиционных проектов развития транспортной инфраструктуры региона. Процесс оценки эффективности разбит на два этапа: оценка эффективности инвестиционного проекта в целом и оценка эффективности участия в проекте. Предложена системная модель инвестиционного проекта развития транспортной инфраструктуры региона, а также комплексная оценка проекта развития транспортной инфраструктуры региона. Комплексная оценка позволяет системно оценить этапы принятия решений по проекту.

Ключевые слова: общественная значимость, общественная эффективность, коммерческая эффективность, системная модель, инвестиционный проект развития транспортной инфраструктуры.

Введение

В настоящее время в крупных городах все более остро встает проблема транспортной доступности инфраструктурных объектов, составляющих жизнеобеспечение города и его функционирование. Успешное управление и развитие транспортных систем обуславливает перспективы развития промышленности, определяет специфику структуры экономики и инвестиционную привлекательность региона.

Опыт экспертов показывает, что только системное решение таких стратегических задач, как улучшение транспортной обстановки в городе, позволяет гармонизировать проблемные области и приводить к устойчивым системным результатам. Игнорирование же системного подхода и попытка решения задач только путем увеличения ресурсов зачастую не только неэффективны, но и могут приводить к ухудшению состояния системы в целом. Например, реконструкция и улучшение отдельных участков транспортной сети может приводить к смещению транспортного спроса и предложения [1], перераспределению нагрузок и в итоге к незапланированному возникновению дополнительных заторов.

Транспортной системе присущи свойства сложных систем, среди которых следует выделить многоаспектность и неопределенность поведения, иерархию, структурное подобие и избыточность основных элементов и подсистем ТС, связей между ними, многовариантность реализации функций управления на каждом из уровней ТС, территориальную распределенность компонент.

В этой связи инвестирование в развитие транспортной инфраструктуры ре-

Николай Геннадьевич Губанов (к.т.н., доц.), заведующий кафедрой «Автоматизация и управление технологическими процессами».

Александр Александрович Кимлык, аспирант.

гиона представляется сложной и многоаспектной задачей, требующей системного подхода на этапе принятия ключевых решений.

Системная характеристика оценки эффективности проекта развития транспортной инфраструктуры региона

Определим комплексный алгоритм выбора инвестиционных проектов развития транспортной инфраструктуры региона. В этом алгоритме оценка эффективности проекта будет проводиться в два этапа:

- 1) определяем эффективность проекта в целом;
- 2) определяем эффективность участия в проекте.

На первом этапе при определении эффективности исходят из допущения, что проект будет полностью финансироваться без привлечения кредитов, т. е. за счет собственных средств. Такой подход позволяет представить эффективность технической составляющей проекта (содержательной части), что является необходимым условием для привлечения потенциальных инвесторов.

Затем оценивается общественная значимость проекта. В том случае, если проект признается общественно значимым, дальнейшая оценка происходит по схеме, представленной на рис. 1.

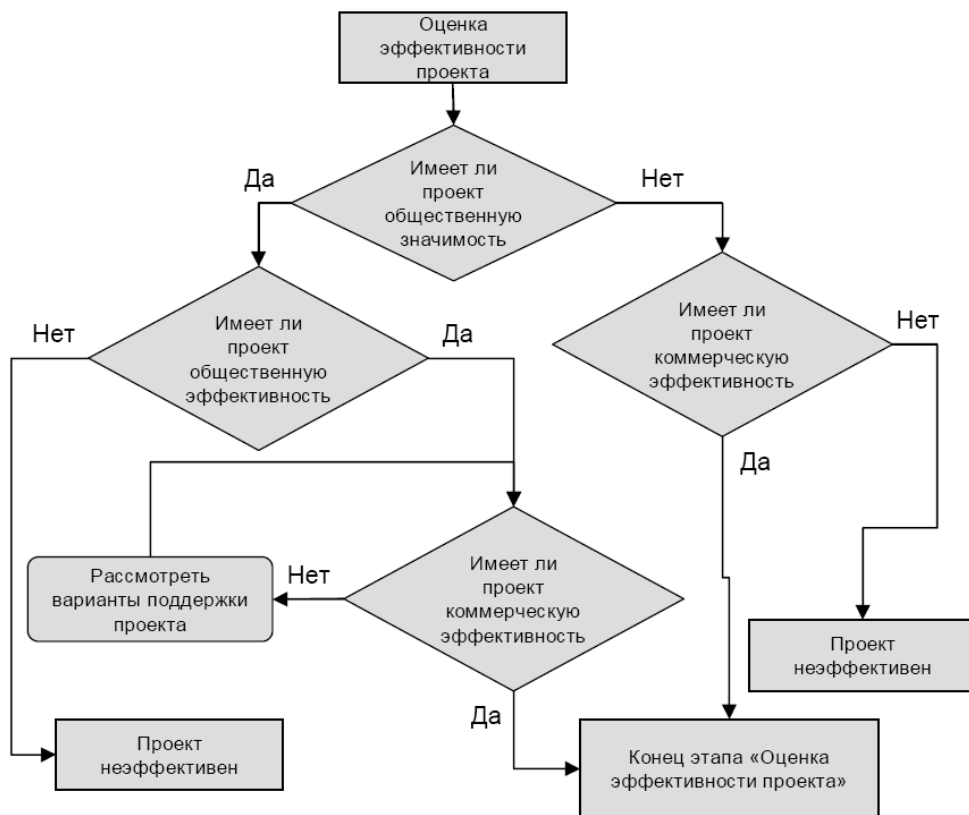


Рис. 1. Оценка инвестиционного проекта развития транспортной инфраструктуры в целом

После рассмотрения возможных схем финансирования переходят ко второму этапу оценки, на котором происходит оценка финансовой реализуемости и эффективности участия в проекте привлеченных инвесторов (рис. 2).

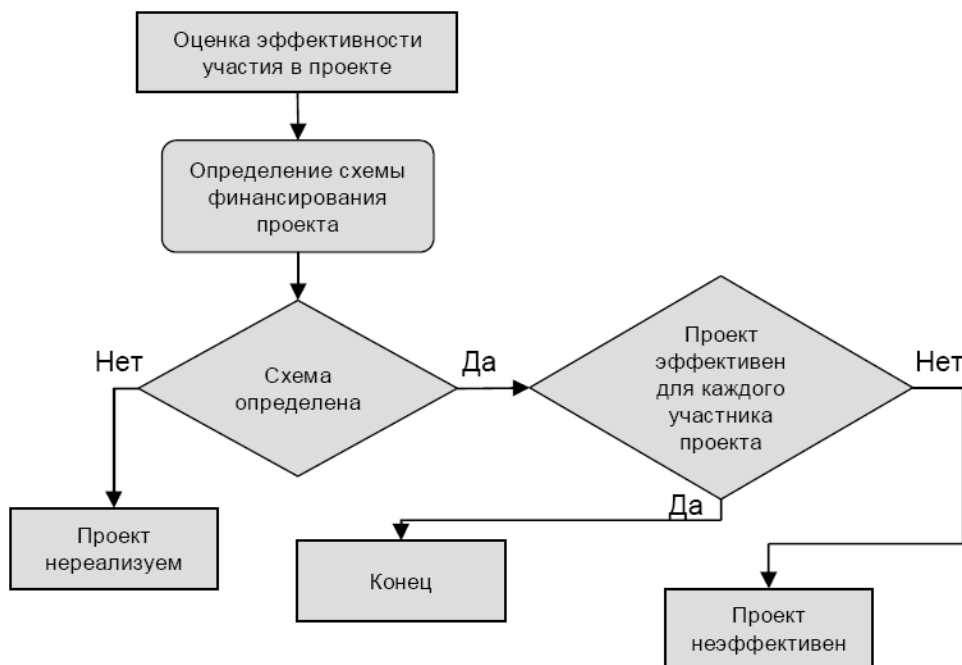


Рис. 2. Оценка эффективности участия в проекте

Данная задача является примером многокритериальной задачи принятия решения. Одна из ключевых сложностей анализа многокритериальных задач – эффект несравнимости исходов. Несравнимость исходов является в некотором смысле формой неопределенности, которая связана со стремлением лица, принимающего решение, «достичь противоречивых целей» и является т. н. ценностной неопределенностью [2].

Математическая модель многокритериальной задачи принятия решения может быть представлена в виде множества векторных оценок, содержащего полную информацию о полезности этого исхода для лица, принимающего решение.

Системная модель проекта развития транспортной инфраструктуры региона

Обозначим систему оценки проекта развития транспортной инфраструктуры региона как E . Тогда, если воспользоваться общесистемным подходом, эту систему оценки можно представить в виде структуры, состоящей из системы управления СУ R , объекта управления ОУ Pr и среды E . В описываемом случае это будет выглядеть следующим образом [3]:

$$E = \langle R, Pr, E \rangle, \quad (1)$$

где R – система управления, которая в данном случае представляет собой управляющие региональным бюджетом институты,

$$Pr = \{p_1, p_2, \dots, p_n\} = \bigcup_{i=1}^n p_i, \quad (2)$$

где Pr – совокупность проектов p_i развития транспортной инфраструктуры региона.

Система управления в данном случае будет характеризоваться совокупностью целей T и управляющих воздействий I :

$$R = T \cup I. \quad (3)$$

Управляющие воздействия осуществляются принятием решений по заданному проекту на различных этапах оценки: этапе оценки общественной значимости, этапе оценки общественной эффективности, этапе оценки коммерческой эффективности.

Комплексная оценка проекта развития транспортной инфраструктуры региона

Согласно описанной выше системной модели подсистема управления проектами может быть представлена различными экспертами региональных институтов, которые будут осуществлять принятие решений по инвестиционным проектам развития транспортной инфраструктуры. В качестве объекта управления будем рассматривать модель инвестиционного проекта развития транспортной инфраструктуры региона M . На первом этапе оценки эффективности инвестиционного проекта развития транспортной инфраструктуры среда E является пассивной нецеленаправленной системой. По определению $|I| \geq 2$, $|I| = 2$ при $|M| = 1$, т. е. принятие или отказ поддержки безальтернативного инвестиционного проекта [4].

Управляющие воздействия I символизируют принятие решений по поддержке инвестиционного проекта развития транспортной инфраструктуры региона на следующих этапах: оценки общественной значимости, оценки общественной эффективности, оценки коммерческой эффективности.

Структура задачи принятия решения может быть представлена в следующем виде [5]:

$$V = (I, E, M, F^R), \quad (4)$$

где I – множество управляющих воздействий;

E – множество состояний среды, характеризуемой состоянием региона;

M – реализация выбранного инвестиционного проекта развития транспортной инфраструктуры региона;

F^R – функция реализации выбранного инвестиционного проекта развития транспортной инфраструктуры региона.

Оценочная функция $\langle M, \xi \rangle$ ставит в соответствие исходу M_i некоторое значение ξ_i .

Если рассмотреть системно алгоритм принятия решений по проекту, то на этапе оценки общественной значимости инвестиционного проекта он будет представлен в виде

$$O^{sc} = (I, E, M, F^{sc}), \quad (5)$$

где F^{sc} – функция реализации принятия решения на этапе оценки общественной значимости инвестиционного проекта. Фактически происходит оценка соответствия последствий инвестиционного проекта планам развития региона и опреде-

ление целям управления T . Соответственно, F^{sc} определяет, насколько совпадает направление \vec{q}^{sc} с направлением $\vec{T} - F^{sc} = (\vec{q}^{sc}, \vec{T})$.

Алгоритм принятия решения на этапе оценки общественной эффективности суть количественная оценка совпадающих результатов инвестиционного проекта с целями развития региона:

$$O^{se} = (I, E, M, F^{se}), \quad (6)$$

где F^{se} – функция реализации принятия решения на этапе оценки общественной эффективности инвестиционного проекта развития транспортной инфраструктуры региона, F^{se} оценивает расстояние между \vec{q}^{se} и \vec{T} . Самым распространенным расстоянием является декартово расстояние [6]

$$F^{se} = \sqrt{|q^{se}| + |T|}. \quad (7)$$

Алгоритм принятия решения на этапе коммерческой эффективности выглядит следующим образом:

$$O^{ce} = (I, E, M, F^{ce}), \quad (8)$$

где $F^{ce} = (q^{ce})$ – совокупность показателей коммерческой эффективности.

Выбор какой-либо альтернативы заключается в решении задачи многокритериальной оптимизации. Решение такой задачи обычно осуществляется методом сравнения множеств по Парето.

Заключение

Предложена системная модель комплексной оценки проекта развития транспортной инфраструктуры региона, состоящая из системы управления, объекта управления и среды. Объект управления, в свою очередь, состоит из совокупности инвестиционных проектов развития транспортной инфраструктуры региона.

Рассмотрена системная характеристика оценки эффективности инвестиционного проекта развития транспортной инфраструктуры региона, а также комплексная оценка проекта развития транспортной инфраструктуры региона. Приведен алгоритм принятия решения по проекту развития транспортной инфраструктуры региона, состоящий из трех этапов: принятия решения на этапе общественной значимости, принятия решения на этапе общественной эффективности и принятия решения на этапе коммерческой эффективности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Батищев В.И., Губанов Н.Г.* Методы автоматизации формирования информационных систем транспортного моделирования // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса: межвузовский сб. научных статей. – Самара: Самар. гос. тех. ун-т. 2010. – С. 182–185.
2. *Рилмер М.И., Касатов А.Д., Матиенко Н.Н.* Экономическая оценка инвестиций: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Самара: СГЭА, 2003. – 452 с.
3. *Губанов Н.Г.* Методы классификации знаний технических проектов // Материалы III Междунар. науч.-практ. конф. «Ашировские чтения». Самара, Самарский гос. техн. ун-т, 2006. – С. 177–179.
4. *Загоруйко Н.Г.* Прикладные методы анализа данных и знаний. – М.: Высшая школа, 1999.
5. *Губанов Н.Г.* Метод формирования баз знаний поддержки жизненного цикла сложных технических объектов // Труды V Всеросс. межвузовск. науч.-практ. конф. «Компьютерные техно-

- логии в науке, практике, образовании». Самара, Самарский гос. техн. ун-т, 2006. – С. 83–86.
6. *Батищев В.И., Губанов Н.Г.* Категорные методы комплексного представления и структуризации разнородных данных в информационных системах анализа сложных объектов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Тр. XII Международ. конф. – Самара: СНИЦ РАН, 2010. – С. 263–267.

Статья поступила в редакцию 18 августа 2016 г.

SYSTEM MODEL AND COMPLEX EVALUATION OF REGIONAL TRANSPORT INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT PROJECT

N. Gubanov, A. Kimlyk

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

The paper describes system model of regional transport infrastructure development project. System characteristic of regional transport infrastructure development project is suggested. The characteristic shows the process of efficiency evaluation of investment project development of regional transport infrastructure. The process of evaluation is split by two stages: evaluation of efficiency of investment project in general and evaluation of efficiency of participating in project. System model of regional transport infrastructure development investment project is suggested as well as complex evaluation of regional transport infrastructure development project. Complex evaluation suggests to evaluate stages of taking the decisions in projects systematically.

Keywords: *social meaning, social efficiency, commercial efficiency, system model, investment project of regional transport infrastructure development.*

*Nikolay G. Gubanov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.
Alexander A. Kimlyk, Postgraduate Student.*

УДК 622.692.12; 681.58

СПОСОБ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ СЕПАРАЦИИ НЕФТИ

В.А. Зеленский, А.И. Щодро

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва
Россия, 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34

E-mail: vaz-3@yandex.ru

Перед предприятиями нефтегазового комплекса стоит задача повышения производительности имеющихся ресурсов. Разработка и исследование новых способов, математических моделей и алгоритмов управления технологическим процессом сепарации нефти направлены на решение этой задачи, что обуславливает актуальность выполненной работы. Предлагаемый способ основан на косвенном измерении плотности нефтегазовой смеси с последующей коррекцией показаний по результатам измерения плотности уже сепарированной нефти. Способ основан на более прогрессивной градиентной модели перехода между фазовыми слоями нефтегазовой смеси. Приводятся аналитические выражения, позволяющие определить среднюю скорость движения глобул нефти различных фракций. Для определения времени образования сплошного фазового слоя выполнено имитационное моделирование в программной среде LiteSMO. Алгоритм управления технологическим процессом сепарации выполнен в виде диаграммы активностей стандарта UML. Применение разработанного способа, математической модели и алгоритма позволит повысить эффективность системы управления подготовкой нефти, что имеет большую практическую значимость для нефтегазового сектора отечественной экономики.

Ключевые слова: *градиентная физико-химическая модель структуры нефтесодержащей смеси, обводненность нефтесодержащей смеси, управление технологическим процессом сепарации, время сепарации, сплошной фазовый слой, косвенное измерение плотности, имитационное моделирование процесса сепарации, диаграмма активностей.*

Предприятия нефтегазового комплекса в условиях неблагоприятной конъюнктуры столкнулись с необходимостью повышения эффективности использования ресурсов [1, 2]. В системе сбора и подготовки нефти ключевым устройством, определяющим ее производительность, является нефтегазосепаратор (НГС). Поэтому разработка и исследование новых способов, математических моделей и алгоритмов управления технологическим процессом сепарации нефти является актуальной научно-технической задачей.

Существует способ управления технологическим процессом сепарации с помощью мультифазного датчика уровня жидкости (МДУЖ). Его недостатком является несовершенная модель физико-химической структуры нефтесодержащей смеси в первой камере сепаратора, предполагающая четко выраженные границы раздела фаз [3]. Данный подход приемлем при невысокой обводненности

Владимир Анатольевич Зеленский (д.т.н., доц.), профессор кафедры «Конструирование и технология электронных систем и устройств».

Артём Игоревич Щодро, аспирант.

нефтесодержащей смеси. Например, в [4] авторы исследовали работу МДУЖ в диапазоне обводненности от 15 до 60 %. В то же время обводненность скважин нефтегазовых предприятий Татарстана, Самарской, Оренбургской областей достигает 90 %. Кроме того, МДУЖ имеет погрешность определения содержания воды на границе фаз нефть – эмульсия до 5 %, в то время как содержание воды в нефти третьей группы не должно превышать 1 %, а в нефти первой и второй групп – 0,5 % [5].

Обладающий научной новизной предлагаемый способ основан на косвенном измерении плотности нефтегазовой смеси с последующей коррекцией показаний по результатам измерения плотности уже сепарированной нефти. Способ основан на более прогрессивной градиентной физико-химической модели перехода между фазовыми слоями нефтегазовой смеси [6].

Для реализации предлагаемого способа в известную конструкцию трехфазного горизонтального нефтегазосепаратора (НГС), осуществляющего деэмульгирование нефтесодержащей смеси гравитационным путем, вводятся новые элементы (рис. 1).

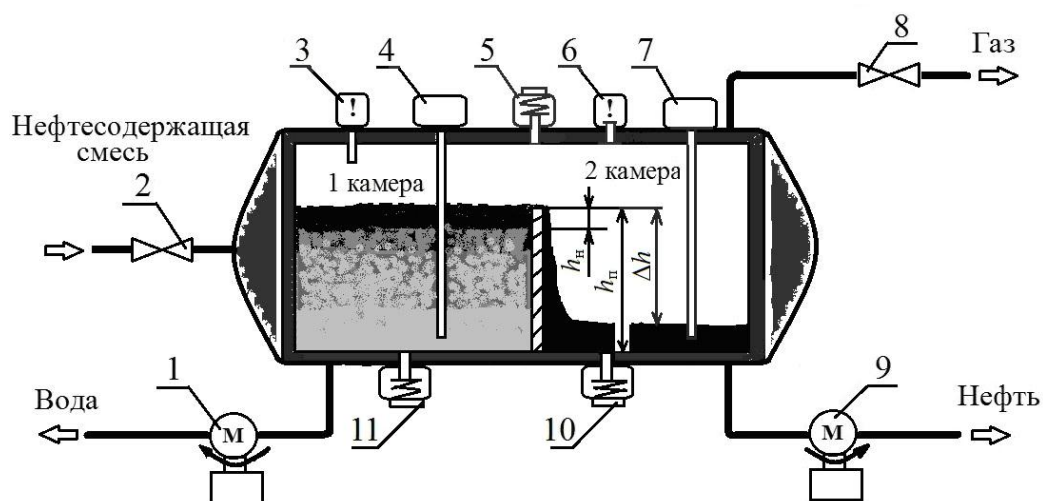


Рис. 1. Нефтегазосепаратор с элементами управления процессом сепарации нефти

В состав устройства входят водяной насос 1, входной вентиль 2, аварийный датчик уровня 3, датчик уровня жидкости первой камеры (ДУЖ-1) 4, датчик давления газа 5, аварийный датчик газа 6, датчик уровня жидкости второй камеры (ДУЖ-2) 7, газовый вентиль 8, нефтяной насос 9, датчик гидростатического давления второй камеры 10, датчик гидростатического давления первой камеры 11.

Введение в схему управления датчиков 5, 10 и 11 позволяет использовать градиентную физико-химическую модель нефтесодержащей смеси, более приближенную к реальной ситуации и потому более совершенную. В этом случае вместо МДУЖ можно использовать простой и более надежный датчик уровня 4. Использование датчика давления газа 5 позволяет более точно определить плотность нефтесодержащей смеси и, соответственно, ее обводненность.

Для случая плоского дна горизонтального сепаратора справедливо выражение

$$p_{\partial} = p_n + \rho g h_{жс},$$

где p_{∂} – давление на дне;
 p_n – давление на поверхности;
 ρ – плотность жидкости;
 g – гравитационная постоянная;
 $h_{жс}$ – уровень жидкости в камерах.

Тогда плотности жидкости в первой и во второй камерах соответственно равны

$$\rho_1 = \frac{p_{\partial 1} - p_{n1}}{g h_{жс1}}; \quad \rho_2 = \frac{p_{\partial 2} - p_{n2}}{g h_{жс2}}.$$

При непрерывной работе устройства постоянно происходит перелив жидкости из первой камеры во вторую. При невысоком скважинном давлении можно считать, что $h_{ж1} = h_n$, где h_n – высота разделяющей камеры перегородки. Уровень жидкости во второй камере будет меняться в процессе эксплуатации устройства и может быть выражен как $h_{ж2} = h_n - \Delta h$, где Δh – разность уровней в камерах НГС. Величина Δh является переменной, зависящей от давления жидкости на входе вентиля 2, степени открытия вентиля 2, работы нефтяного насоса 10 и водяного насоса 11. В результате гравитационного отстоя воды на поверхности первой камеры образуется сплошной фазовый слой нефти толщиной h_n . Тогда плотность жидкости можно выразить через конструктивные параметры устройства:

$$\rho_1 = \frac{p_{\partial 1} - p_{n1}}{g h_n}.$$

Поскольку h_n – постоянная величина, погрешность определения плотности практически не зависит от метрологических характеристик ДУЖ 1, а определяется только точностью датчиков давления газа 5 и жидкости 11.

Производительность НГС, определяемая количеством товарной нефти, производимым в единицу времени (в сутки), является сложной функцией:

$$Q = f(P_{ex}, d_m, V, k, T_c),$$

где P_{ex} – давление на входе устройства;
 d_m – диаметр трубопровода;
 V – объем НГС;
 k – параметр, определяющий конструктивные особенности устройства;
 T_c – время сепарации.

Выразить аналитически эту зависимость затруднительно по многим причинам, поэтому ограничимся оценкой отдельных параметров.

Важнейшим параметром, необходимым для управления НГС в автоматизированном режиме, является время сепарации. Рассчитать эту величину предлагается через скорость всплытия глобул эмульсии и геометрические размеры НГС. Размеры глобул распределяются по фракциям на основании эмпирических данных [7]. Скорость всплытия глобул нефти со средним диаметром i -й фракции d_i определяется из выражения

$$v_{ni} = \frac{(\rho_n - \rho_c) d_i^2 g}{18 \mu_c} (1 - V)^{4.75},$$

где v_{ni} – скорость всплытия глобул i -й фракции;
 ρ_d, ρ_c – плотности дисперсионной фазы и дисперсной среды соответственно;

μ_c – вязкость дисперсной среды;
 d_i – средний диаметр глобул i -й фракции;
 g – ускорение свободного падения;
 V – объемная доля дисперсной фазы.

В процессе всплытия глобулы нефти разного диаметра движутся с разной скоростью. Предлагается использовать следующее выражение для описания расчета скорости всплытия глобул в сильно обводненной смеси:

$$v_{ni} = \frac{(\rho_n - \rho_g)d^2 g}{18\mu_c} \left[1 - \frac{1-V}{1-V\sqrt{1-\left\{\frac{d_i}{d_{\max}}\right\}^2}} \right]^{4,75},$$

где d_{\max} – максимальный диаметр глобул в эмульсии.

Данное соотношение позволяет получить только средние значения скорости движения глобул каждой отдельной фракции. Для определения времени сепарации необходимо построить и проанализировать гистограмму распределения времени образования сплошного фазового слоя глобулами всех фракций.

Эта задача решена методом имитационного моделирования с помощью программной среды *LiteSMO*. Программа написана на языке программирования *Delphi*, оперирует понятиями и терминами систем массового обслуживания, позволяет создать структуру имитационной модели (ИМ) и выполнить имитационный эксперимент. Структура имитационной модели представлена на рис. 2.

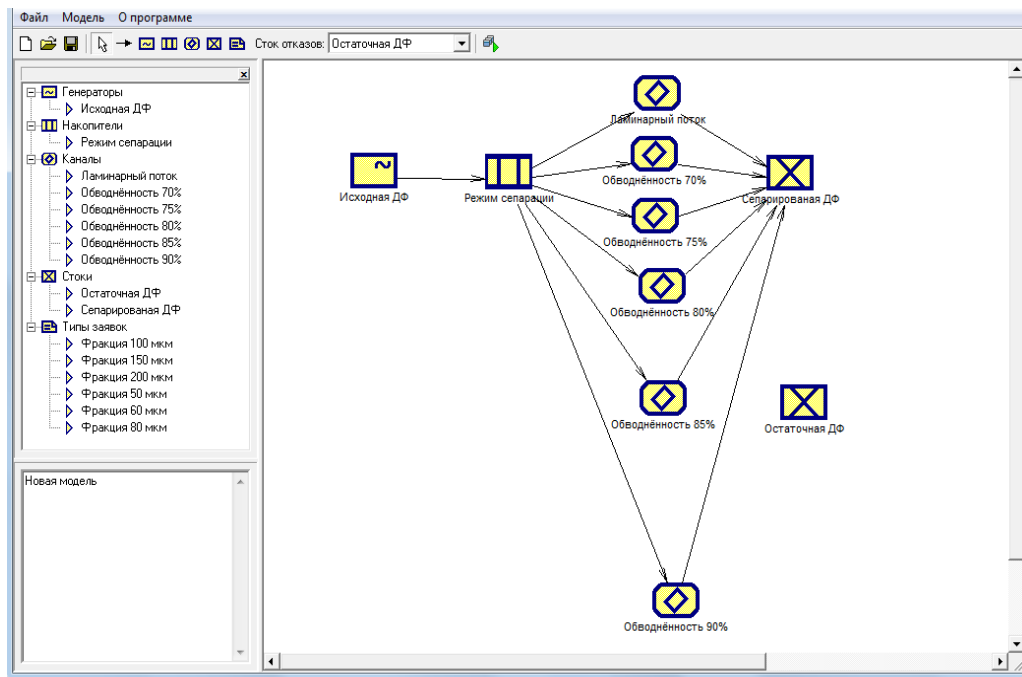


Рис. 2. Структура имитационной модели

Элемент ИМ «Исходная ДФ» имитирует поступление глобул нефтесодержащей смеси в первую камеру сепаратора и состояние исходной дисперсной фазы, разделенной на фракции. Для генерации псевдослучайной последовательности использовалось преобразование Бокса – Мюллера. Элемент «Режим сепарации» осуществляет выбор величины обводненности нефтегазовой смеси от 70 до 90 % с дискретным шагом в 5 %. Элемент «Обводненность» имитирует процесс коагуляции и коалесценции глобул в соответствии с выбранным режимом сепарации. Элемент «Ламинарный поток» служит для проверки работоспособности ИМ в тестовом режиме. Результат процесса сепарации учитывается в элементах ИМ «Сепарированная ДФ» и «Остаточная ДФ». Параметры ИМ рассчитаны по результатам ранее выполненных исследований [7]. Гистограмма распределения времени образования сплошного фазового слоя глобулами различных фракций представлена на рис. 3.

Время сепарации для третьей группы нефти определяется путем отбрасывания «хвоста» распределения, который составляет 1 % от общего объема выборки. При высоте перегородки $h_n = 2$ м, толщине сплошного фазового слоя нефти $h_n = 0,4$ м, обводненности 70 % время сепарации $T_c = 445$ с. Точность вычисления равна 5 с.

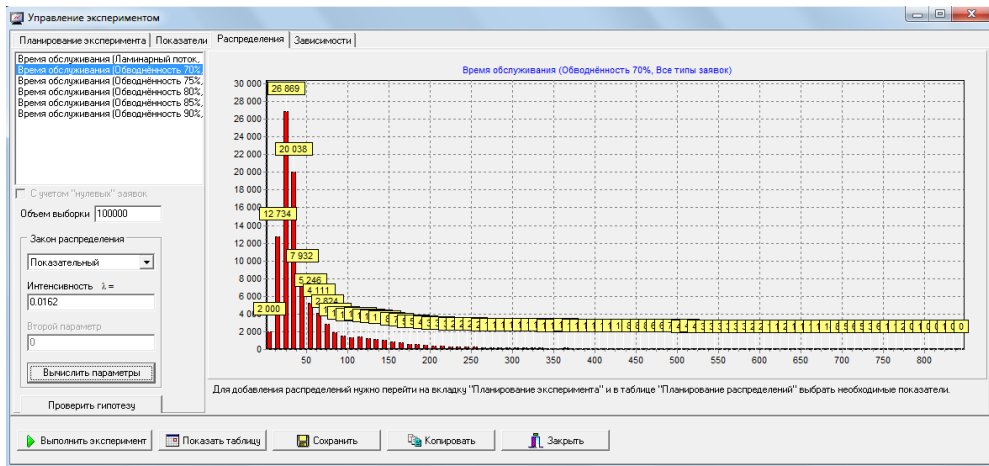


Рис. 3. Гистограмма распределения времени образования сплошного фазового слоя глобулами различных фракций

Предлагаемый способ управления технологическим процессом сепарации требует разработки нового алгоритма. Алгоритм выполнен в виде диаграммы активностей стандарта *UML* с помощью программы *StarUML* (рис. 4). Основные стадии технологического процесса, поддерживаемые разработанным алгоритмом, следующие:

1. Заполнение первой камеры НГС до уровня, не превышающего высоты перегородки между первой и второй камерами h_n .

2. Выдерживание времени сепарации T_c больше расчетного для гарантированного образования сплошного фазового слоя нефти толщиной h_n . Время сепарации увеличивается путем сброса воды и/или уменьшения подачи нефтесодержащей смеси.

3. Определение обводненности в первой камере НГС. Для деэмульгированной жидкости со сплошными фазовыми слоями величина обводненности будет

определяться из соотношения $W_n = (h_n - h_{п})/h_{п}$.

4. Определение средней плотности в первой камере. Научным обоснованием применения способа является разность плотности воды ($1,0 \text{ г/см}^3$) и нефти ($0,8\text{--}0,9 \text{ г/см}^3$). Соответственно, средняя плотность ρ_1 будет пропорциональна величине обводненности.

5. Перелив нефти через перегородку во вторую камеру НГС.

6. Измерение плотности нефти во второй камере НГС. Полагая содержание воды во второй камере НГС не более 1 %, можно с такой же точностью определить плотность нефти.

7. Уточнение обводненности нефтесодержащей смеси. На основе математической модели рассчитывается время сепарации, необходимое для образования сплошного фазового слоя нефти толщиной h_n . Уменьшение времени сепарации приводит к повышению производительности устройства при сохранении качества товарной нефти.

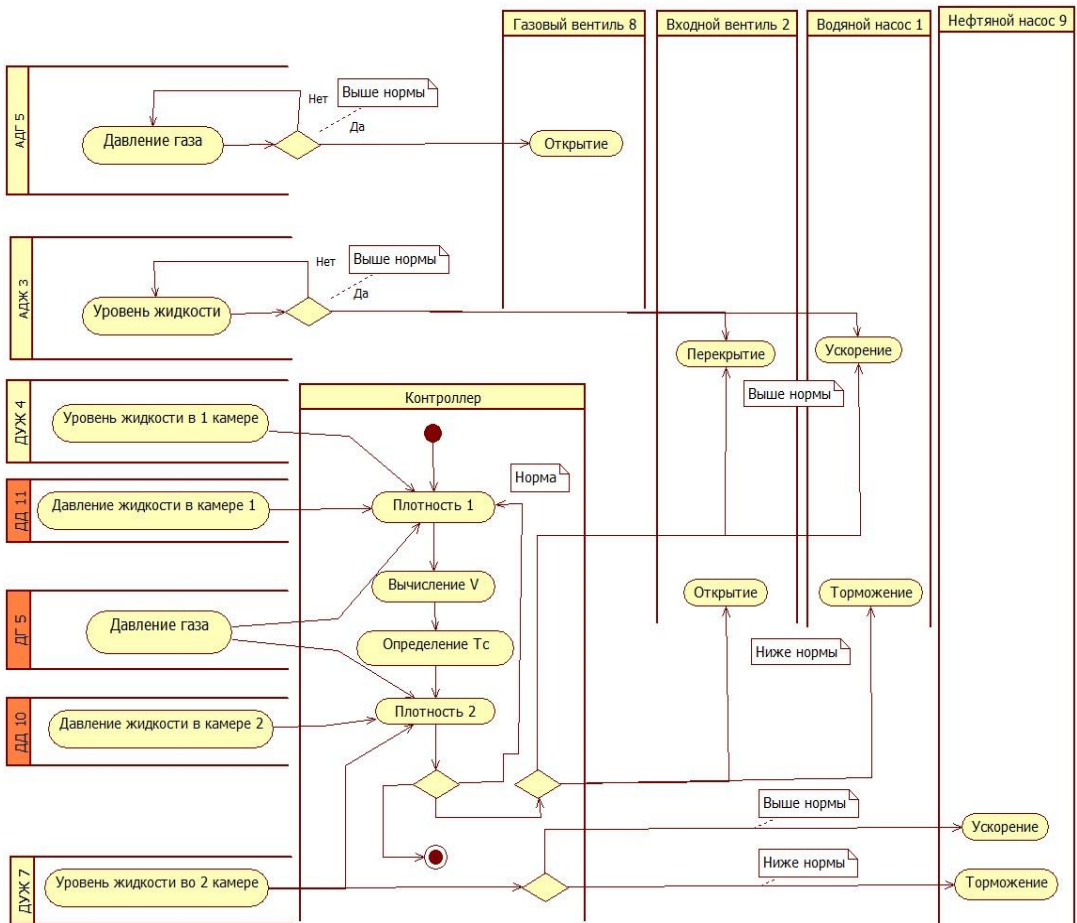


Рис. 4. Алгоритм в формате диаграммы активностей стандарта *UML*

Таким образом, по результатам исследования можно сформулировать следующие положения, обладающие признаками научной новизны:

1. Предложенный способ позволяет использовать более прогрессивную градиентную физико-химическую модель перехода между фазовыми слоями нефтесодержащей смеси.

2. Аналитическая математическая модель позволяет определить среднее время всплытия глобул нефти в обводненной смеси, что позволяет определить исходные параметры для имитационной модели.

3. Имитационная модель позволяет рассчитать время сепарации с точностью до 5 с, что является одним из условий повышения производительности в режиме автоматизированного управления.

4. Алгоритм управления технологическим процессом сепарации путем измерения плотности жидкости с точностью до 1 % позволяет корректировать время сепарации исходя из величины обводненности нефтесодержащей смеси.

Использование разработанного способа, математической модели и алгоритма в совокупности позволит повысить производительность системы управления подготовкой нефти при сохранении требований к качеству продукта, что имеет большую практическую значимость для нефтегазового сектора отечественной экономики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Щербинин А.И., Назаров В.А., Соколов А.Г. и др. Техническое обеспечение мероприятий по повышению уровня добычи нефти и газа и снижению себестоимости // Сфера. Нефть и Газ. – 2012. – № 3. – С. 166–168.
2. Иванов С.С., Тарасов А.А., Зобнин А.А. и др. Увеличение выхода нефти и снижение содержания легких жидких углеводородов в нефтяном газе при проектировании установок подготовки нефти // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 8. – С. 138–140.
3. Зеленский В.А., Щодро А.И. Повышение эффективности сепарации с помощью контроля дифференциальной плотности нефтегазовой смеси // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2015. – № 1(45). – С. 178–183.
4. Жданов О.П., Шаталов В.И. Система изменения уровня и межфазных границ многокомпонентных продуктов УМФ300 в решении актуальных технологических задач подготовки нефти // Сфера. Нефть и Газ. – 2011. – № 1. – С. 34–40.
5. ГОСТ 31378. Нефть. Общие технические условия. – М.: Госстандарт РФ, 2009.
6. Зеленский В.А., Щодро А.И. Система автоматизированного управления нефтегазосепаратором с контролем плотности нефтесодержащей смеси // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2016. – № 1(49). – С. 15–23.
7. Зеленский В.А., Щодро А.И., Никитин Д.А. Определение скорости всплытия глобул в нефтесодержащей смеси высокой степени обводненности // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: Труды Всероссийской научно-технической конференции. – Самара: СГАУ, 2016. – С. 109–111.
8. Зеленский В.А., Щодро А.И. Объектно-ориентированный подход к моделированию трехфазного горизонтального нефтегазосепаратора // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: Труды Всероссийской научно-технической конференции. – Самара: СГАУ, 2015. – С. 97–100.

Статья поступила в редакцию 1 августа 2016 г.

METHOD, MATHEMATICAL MODEL AND CONTROL ALGORITHM OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF OIL SEPARATION

V.A. Zelenskiy, A.I. Shchodro

Samara national research university named after academician S. P. Korolev
34, Moscow highway, Samara, 443086, Russian Federation

Before the oil and gas industry faces the challenge of increasing productivity of existing resources. Development and research of new methods, mathematical models and algorithms of management of technological process of oil separation is aimed at the solution of this problem that causes the relevance of the work performed. The proposed method is based on indirect measurement of density of oil and gas mixture with subsequent correction of the readings according to the results of measurement of the density of already separated oil. The method is based on a more progressive gradient model the phase transition between layers of oil and gas mixture. Provides analytical expressions to determine the average velocity of the oil globules of various fractions. To determine the time of formation of the solid phase layer is made of simulation modeling in the software environment LiteSMO. The control algorithm of technological process of separation is made in the form of a diagram of the actions of the UML standard. Application of the developed method, mathematical models and algorithms will improve the efficiency of management system preparation of oil, which has great practical significance for the oil and gas sector of the domestic economy.

Keywords: *the gradient of physico-chemical structure of oily mixtures, oily water mixtures, control of technological process of separation, time separation, solid phase layer, indirect density measurement, simulation of the separation process, the chart of activities*

*Vladimir A. Zelenskiy (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Artem I. Shchodro, Postgraduate Student.*

УДК 007.51

ЭЛЕМЕНТЫ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ КОРПОРАТИВНОГО РАЗВИТИЯ

Л.Б. Иванова

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
Россия, 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого, 23

E-mail: lixt@psati.ru

Отражены проблемы корпоративного развития. Показана целесообразность создания концептуальной модели развития корпорации. Рассмотрены ресурсы как комплекс элементов, составляющих концептуальную модель развития. Даны определения указанных элементов и основных связей между ними. Рассмотрены вопросы создания и распределения ресурсов, показана роль интеллектуальных ресурсов. Показана возможность корпоративного развития на базе партнерских взаимоотношений между инвесторами и производителями материально-энергетических ресурсов. Сделан вывод о снижении противоречий между трудом и капиталом и возможности создания между ними партнерских отношений. В качестве модели дальнейшего корпоративного развития предлагается трансформация корпорации в партнерство собственников средств производства и трудового коллектива.

Ключевые слова: концептуальная модель, ресурсы, элементы, связи, корпоративное развитие.

Введение

В настоящее время основной формой производственной организации и развития является корпорация. Однако до сих пор не найдено устойчивого решения двух известных проблем корпоративного развития. Первая из них – это конфликт интересов владельцев средств производства и наемного менеджмента. Вторая – малая заинтересованность персонала во внедрении предпринимательских новаций и необходимость жесткой централизации управления со стороны владельцев с целью увеличения прибыли. Сегодня идет активный поиск основополагающих принципов устройства модели корпоративного развития [1, 2]. Для определения условий возможности указанной трансформации автором ведутся работы по созданию имитационной модели развития корпораций [5, 6]. Моделирование процессов развития таких сложных систем, как корпорации, связано с необходимостью описания отдельных элементов, образующих концептуальную модель. Одним из элементов такой модели является понятие «ресурсы».

Создание ресурсов

Любой живой организм для поддержания своей жизнедеятельности всегда требует потребления некоторых энергетических ресурсов. Растения способны потреблять непосредственно солнечную энергию, животные – более высокоразвитые организмы – энергию растений и других животных. В отличие от других животных человек способен не только потреблять, но и создавать дополнительные энергетические и другие ресурсы, необходимые для обеспечения его жизнедеятельности. При этом он способен создавать также некоторое дополнительное количество ресурсов. Все ресурсы создаются в результате целенаправленной

трудовой деятельности человека. При объединении людей в коллективы производительность их труда может существенно увеличиваться, а следовательно, может увеличиваться и количество добываемых и создаваемых ими продуктов. В современном обществе приходится уже говорить не только об энергетических, но и об информационных ресурсах, представляющих для человека определенные ценности.

Распределение ресурсов

Таким образом, возникают определенные группы людей, объединенных общей целью получения энергетических ресурсов. В разных работах такие группы называются по-разному: в работах В.А. Виттиха [3] – «акторы», в работах В. Зеланда [4] – «маятники». Получаемые ресурсы имеют определенную ценность для человека, и в последнее время все большую ценность приобретает информационная составляющая. Денежные отношения позволяют производить оценку ресурсов с единых позиций, приводя их к общему эквиваленту. В целом такая группа людей действует как единый объект, обладающий рядом свойств, основным из которых является стремление к приобретению максимального количества ресурсов. Если же рассмотреть указанные объекты изнутри, то можно убедиться, что каждая его составляющая также стремится увеличить свою долю полученных ресурсов. Возникает проблема их распределения. Простейшей формой распределения, конечно, является равномерное распределение. Однако вследствие неоднородности составляющих распределение полученных ресурсов чаще всего производится неравномерно. Так возникают люди или группы людей, обладающие избыточными ресурсами, а также группы людей, у которых этих ресурсов не хватает. На приобретение недостающих ресурсов последняя группа должна затрачивать некоторые дополнительные усилия, в то время как первая группа, имея избыточные ресурсы, может осуществлять их накопление.

Стоимость ресурсов

Ценность материально-энергетических ресурсов для человека зависит от той ситуации, в которой этот человек ими пользуется. Голодному человеку, находящемуся на необитаемом острове, мало пользы от золотого самородка, который он нашел. Поэтому ценность не следует путать с понятием стоимости.

Средняя стоимость ресурса определяется средними трудозатратами, необходимыми для получения этих ресурсов. Следовательно, и трудозатраты также могут быть оценены в денежном выражении. Трудозатраты на получение одного и того же ресурса могут быть различными в зависимости от производительности труда.

Производительность труда человека может быть существенно повышена за счет предоставления ему дополнительных средств производства, которые также имеют свою стоимость. Таким образом, всегда можно сформировать две группы людей, одна из которых имеет избыточное количество ресурсов, а вторая – недостаточное и готова обменять свои трудозатраты на недостающие ресурсы. Так, люди, владеющие избыточными ресурсами, всегда имеют возможность обменять их на трудовые ресурсы, а инвестируя средства производства, еще получать прибыль за счет повышения производительности труда и уменьшения объема требуемых трудозатрат.

Обмен ресурсами

Итак, мы имеем две категории людей: первая категория – это люди, владеющие накопленными или избыточными ресурсами, вторая категория – люди, ко-

торые владеют только своими трудовыми ресурсами и готовы обменять их на недостающие ресурсы, необходимые для обеспечения жизнедеятельности.

Сущность этих отношений заключается в том, на каких условиях происходит обмен между этими двумя группами. Простейший способ – силовой, т. е. заставить силой отдать свой труд. Этот способ оказался неэффективным, поскольку трудящийся не был заинтересован в производительности своего труда. Это рабство, крепостничество. Второй способ – договорный, когда работодатель и трудящийся договаривались об условиях обмена. На ранних стадиях, при низкой производительности труда трудящийся получал лишь минимальное количество ресурсов, необходимых для удовлетворения его непосредственных жизненных потребностей.

Интеллектуальный труд

Общий недостаток ресурсов при низкой производительности труда приводил к возможности неравноценного обмена и соответствующей эксплуатации. В дальнейшем при введении разделения труда и увеличении его производительности общий объем производимых ресурсов возрастал. Однако с развитием общества возрастали и потребности производителей, и дисбаланс оставался. Помимо материальной и энергетической составляющих производимых ресурсов все большее значение начинает принимать информационная составляющая («хлеба и зрелищ», «не хлебом единым сыт человек» и т. д.). Однако при всех условиях обмен был неравноценным и трудящийся за свой труд получал меньше его стоимости. Всегда возникала некоторая прибавочная стоимость или ресурс с некоторой прибавочной стоимостью, который присваивался работодателем. В современном обществе происходят аналогичные процессы, но при этом увеличивается не только объем передаваемых ресурсов, но и доля ресурсов, передаваемых трудящимся. Это происходит, в частности, за счет того, что меняется структура труда. На смену силовому труду приходит все чаще интеллектуальный труд, который имеет весьма высокую стоимость. Повышается общий интеллектуальный уровень работников, и становится все труднее диктовать им невыгодные условия. И чем более развитым становится общество, тем меньше должна становиться разница между трудом и капиталом.

Корпорация

В дальнейшем, с развитием общества, образуются две категории людей, первая из которых владеет трудовыми и интеллектуальными ресурсами, а вторая – финансовыми и материальными ресурсами. Обе группы людей, взаимодействующие между собой, могут рассматриваться как единый объект, который мы назовем корпорацией.

Участники корпорации объединены общими интересами, заключающимися в том, что они хотят произвести взаимный обмен ресурсами. Развитие производительных сил приведет к существенному уменьшению доли силовых ресурсов и повышению доли интеллектуальных ресурсов. Интеллектуальный труд становится все больше продуктом потребления, а человек интеллектуального труда трудится потому, что это является его естественной потребностью, и безвозмездно отдает обществу часть продуктов своего интеллектуального труда. С другой стороны, владельцы финансовых и материальных ресурсов для поддержания своего высокого жизненного уровня должны все большую часть этих ресурсов передавать в первую группу.

Так, мы приходим к совершенно крамольному, с точки зрения коммунистической идеологии, выводу о снижении противоречий между трудом и капиталом

и возможности создания между ними партнерских отношений. Партнерство состоит в том, что владельцы средств производства готовы делиться частью своей прибыли с владельцами трудовых ресурсов. И между ними возможно возникновение партнерских отношений. Человек труда как бы вкладывает свои интеллектуальные ресурсы, свою интеллектуальную собственность в общее дело, при этом производительность труда и капитализация предприятия увеличиваются.

Заключение

Авторская позиция состоит в том, что в качестве модели дальнейшего корпоративного развития предлагается трансформация корпорации в партнерство собственников средств производства и трудового коллектива, применяющего указанные средства производства, на условиях конкретно зафиксированной пропорции распределения и присвоения ресурсов [5, 6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Белобок А.Я., Козенков А.Н., Лихтциндер Б.Я.* Будущее корпорации: партнерство владельцев и трудового коллектива в условиях аренды трудовым коллективом основных средств производства // Век качества. – 2013. – № 4. – С. 28–34.
2. *Перслегин С.* Новые кадры будущего. – М.: АСТ: АСТ Москва, СПб.: Terra Fantastica, 2009. – 701 с.
3. *Виттих В.А.* Введение в теорию интерсубъективного управления. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2013. – 64 с.
4. *Зеланд В.* Трансфертинг реальности: пространство вариантов. – СПб.: ВЕСЬ, 2004.
5. *Белобок А.Я., Иванова Л.Б., Лихтциндер Б.Я.* Подход к созданию имитационной модели преобразования корпораций к партнерству владельцев и трудового коллектива // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2014. – № 4 (114). – С. 91–94.
6. *Иванова Л.Б.* Объекты как элементы концептуального моделирования сложных систем // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2014. – № 4 (44). – С. 198–201.

Статья поступила в редакцию 15 августа 2016 г.

ELEMENTS OF THE CONCEPTUAL MODEL OF CORPORATE DEVELOPMENT

L.B. Ivanova

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics
23, Lev Tolstoy st., Samara, 443010, Russian Federation

The paper reflects the problems of corporate development. The expediency of the creation of a conceptual model of the corporation. Resources are considered as a set of elements that constitute a conceptual model development. The definitions of these key elements and relationships between them. The questions of creation and distribution of resources, shows the role of intellectual resources. The possibility of corporate development, based on partnerships between investors and producers of material and energy resources. It was concluded that reducing the contradictions between labor and capital and the possibility of establishing partnerships between them. As a model for further corporate development, proposed the transformation of the corporation to a partnership of owners of means of production and the workforce.

Keywords: conceptual model, resources, elements, links, corporative development.

Lyudmila B. Ivanova (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.

УДК 621.8

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ КИБЕРФИЗИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Г.Н. Рогачев, М.Л. Паткин, Н.Г. Рогачев

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, Молодогвардейская, 244

Рассмотрена процедура синтеза оптимального по быстрдействию программного регулятора в задачах управления мобильной киберфизической системой в виде машины Дубинса. При оценке качества решений учитывалось общее время выполнения задачи по переводу объекта в заданную точку, включая время расчета программы управления и время движения объекта к цели. Рассмотрены оперативный и автономный варианты численного определения продукционной модели регулятора как системы правил «условие – действие». В качестве оперативного варианта предложено использовать генетический алгоритм с отсечением по времени. Проведено сравнение оперативного и автономного способов расчета системы правил работы регулятора. Показаны преимущества оперативного способа при решении задачи перемещения мобильной киберфизической системы в однородной среде и преимущества автономного способа в неоднородной среде.

Ключевые слова: оптимальное управление, машина Дубинса, киберфизическая система, генетический алгоритм.

Мир находится в начале новой технологической революции, которая кардинально его изменит. Перемен того масштаба, что несет четвертая промышленная революция, более известная как «Индустрия 4.0» [1], человечеству испытывать еще не доводилось. Ее суть – в повсеместном распространении киберфизических систем (CPS – cyber-physical systems), усиленной их интеграции в технологические процессы [2–4]. Существенной особенностью CPS является неразрывная связь между входящими в них физическими элементами и элементами, реализующими вычисления. Этот класс систем часто рассматривают как встроенные системы. Однако во встроенных системах акцент делается в большей степени на вычислительные аспекты, чем на неразрывную взаимосвязь между вычислительными и физическими компонентами системы.

Сегодня киберфизические системы могут быть найдены в самых разнообразных областях – это космос, гражданская инфраструктура, энергетика, здравоохранение, производство, транспорт и бытовые устройства [5, 6]. Важной подкатегорией киберфизических систем являются мобильные CPS. Физическая часть таких систем обладает собственной мобильностью. Примеры мобильных CPS включают мобильную робототехнику и бортовую электронику.

Использование цифровых процессоров даже в простейшей системе управления принципиально изменяет качество функционирования обслуживаемых системой устройств, позволяет оптимизировать режимы работы управляемых объ-

Геннадий Николаевич Рогачев (д.т.н., доц.), профессор кафедры «Автоматика и управление в технических системах».

Михаил Львович Паткин, аспирант.

Николай Геннадьевич Рогачев, магистрант.

ектов или процессов, что существенно увеличивает адаптивность, автономность, эффективность, функциональность, надежность, безопасность, удобство использования таких систем. Вместе с тем при разработке киберфизических систем необходимо учитывать, что такая система – это единый комплекс взаимодействующих вычислительных, коммуникационных и физических процессов. Встроенные (в реальный физический мир) компьютеры непосредственно воздействуют на физические процессы и, в свою очередь, действуют под их влиянием. Вычисления и физический процесс становятся единым целым; предсказать и понять поведение любой из этих двух частей в отрыве от другой невозможно. Если части такой системы (датчики, контроллеры, исполнительные устройства) обмениваются друг с другом информацией, в указанное единство добавляется третий компонент: процесс коммуникации (все чаще сетевой).

Тесная взаимосвязь дискретных процессов вычисления и передачи информации с непрерывными процессами в объектах управления требует создания принципиально новой технологии описания, анализа и синтеза встроенных цифровых систем управления. Определенным шагом в этом направлении является использование продукционной модели регулятора при моделировании киберфизической системы как системы цифрового управления непрерывным объектом. Динамическая часть системы, определяющая функционирование объекта управления, описывается дифференциальными уравнениями, а управляющая часть (контроллер, датчики, исполнительные устройства и сеть передачи информации от объекта к управляющей части и обратно) – алгоритмом ее работы (системой продукций, набором правил вида «условие – действие»). Продукционная (алгоритмическая) форма описания регуляторов позволяет унифицировать задачу их синтеза. Действительно, вне зависимости от конкретной задачи определению подлежит количество элементов системы продукций (пар типа «условие – действие») и ее наполнение. При этом на смену многоступенчатому синтезу, включающему выбор структуры регулятора, определение его параметров, разработку реализующих этот регулятор алгоритма и программного кода, приходит прямой синтез программы действий регулятора – системы правил, т. е. алгоритма его работы в виде псевдокода.

Необходимость обеспечить достижение предельно возможных технико-экономических показателей работы промышленного оборудования требует разработки методов совершенствования его конструктивных характеристик и соответствующей организации режимов функционирования, оптимальных по тем или иным критериям эффективности. При этом весь комплекс условий, требований и ограничений для проектируемой системы сводится к задаче поиска экстремума некоторого функционала на определенном допустимом множестве настраиваемых элементов. В основе оптимизационных подходов – формализация представления о качестве функционирования систем управления. Подобная формализация предполагает построение некоторой системы количественных характеристик качества функционирования, величины которых зависят от принимаемых проектных решений. Не менее существенным представляется вопрос задания и обеспечения ограничений. В процедуре продукционного синтеза регулятора необходим, естественно, учет традиционных видов ограничений на параметры управляемого процесса, управляющие воздействия и время регулирования. Однако помимо этого должна быть сформулирована система ограничений, выполнение которых обеспечит отсутствие дефектов системы продукций и корректность ее работы.

Вместе с тем следует подчеркнуть, что в настоящее время общий формализованный метод решения задачи синтеза регуляторов в продукционной форме отсутствует. Можно указать лишь некоторые частные способы, в основе которых лежит процедура оптимизации. Первый из подходов – процедура синтеза системы продукции с использованием необходимых (и/или достаточных) условий оптимальности [7–9]. Второй подход – автоматизация процедуры синтеза системы продукции посредством эволюционных вычислений [10–12] как стохастического метода глобальной оптимизации. Этот подход позволит в перспективе создавать технические устройства, которые будут самостоятельно генерировать программное обеспечение своих систем управления и при необходимости модернизировать его. На базе этого подхода можно будет создать программные средства, которые автоматизируют весь процесс проектирования систем управления – от постановки задачи до моделирования их работы, включая проверку программного обеспечения.

Эволюционные вычислительные методы – группа алгоритмов, использующих в своей основе идею эволюции Дарвина. Эти алгоритмы традиционно разделяют на генетические алгоритмы (ГА) и генетическое программирование. ГА в основном предназначены для поиска решения оптимизационных задач в виде набора параметров. Структуры данных (векторы вещественных или целых чисел), которыми они манипулируют, являются аналогами генов живых организмов. Алгоритм использует механизмы скрещивания, мутационной изменчивости и отбора для приспособления к условиям окружающей среды, критерием качества которого служит значение целевой функции исходной оптимизационной задачи. Этот алгоритм состоит из нескольких этапов: генерация случайным образом начальной популяции (набора решений), отбор родительских пар (особей с наилучшим значением критерия качества), их скрещивание и мутация (под скрещиванием понимается «обмен» родителей некоторой частью элементов массива, под мутацией – изменение случайным образом элементов массива какой-то особи). Если лучшее решение в популяции не удовлетворяет критериям поиска, то повторяем процесс, иначе – заканчиваем вычисления. ГА – стохастический метод глобальной параметрической оптимизации – позволяет определять $\min_x J(x)$ при наличии линейных $A_N \cdot x \leq a_N$; $B_E \cdot x = b_E$; $x_L \leq x \leq x_U$ и нелинейных $g_i(x) \leq 0$, $i = 1, 2, \dots, m$; $h_i(x) = 0$; $i = m + 1, m + 2, \dots, n$ ограничений. Алгоритм работы регулятора задается вектором параметров $x = [t_1, \dots, t_N, p_{11}, \dots, p_{j1}, \dots, p_{1N}, \dots, p_{jN}]$, формирующим систему продукции вида «если $t \in T_k$, то $u = u_k^*$ », $k = 1, \dots, N$ и, таким образом, определяющим порядок изменения алгоритма работы регулятора, последовательность смены и время действия каждого локального варианта управления. Определению подлежат моменты $t_k, k = 1, \dots, N$ разбиения промежутка T времени функционирования системы на непересекающиеся подынтервалы и действующий в пределах каждого подынтервала T_k определенный с точностью до набора параметров $p_{1k}, p_{2k}, \dots, p_{jk}$ локальный вариант закона управления u_k^* , доставляющие минимум функции $J(x)$. Особенно эффективен этот подход в условиях неединственности экстремума целевой функции $J(x)$. Однако, поскольку в ГА требуется производить анализ большого числа альтернативных вариантов решения, время расчетов будет велико, что является существенным недостатком этого метода и

может служить препятствием для его использования при синтезе алгоритмов работы регуляторов киберфизических систем в режиме реального времени.

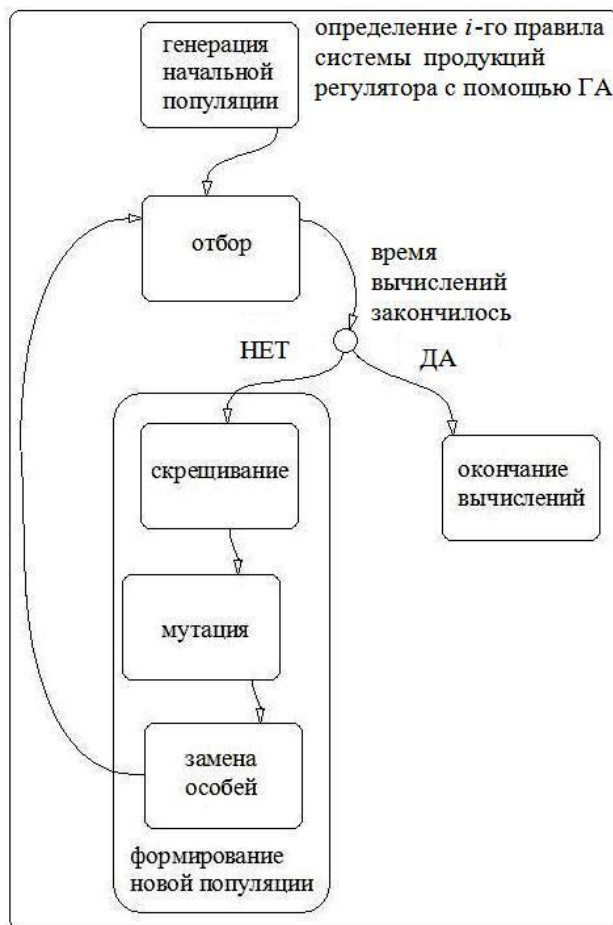


Рис. 1. Процедура вычисления управляющих воздействий методом ГА

Для преодоления этого недостатка предложено совместить процедуру вычисления управляющих воздействий (рис. 1, 2) с процессом управления. В таком варианте применения ГА следует, не дожидаясь окончания вычислений, раз в несколько эпох выбирать решение, обеспечивающее наибольшее по сравнению с другими имеющимися вариантами управления продвижение объекта управления к цели и использовать его на некотором временном интервале в качестве управляющего воздействия (рис. 3). В искусственном интеллекте этот подход соответствует оперативному режиму работы интеллектуального агента, тогда как предыдущий вариант однократного вычисления управляющих воздействий до начала процесса управления – это автономный режим. Термин «работающий в оперативном режиме» используется по отношению к алгоритмам, которые должны обрабатывать входные данные по мере их получения, а не ожидать, пока станет доступным все множество входных данных. Такой интеллектуальный агент функционирует по методу чередования вычислений и действий: вначале предпринимает действие, затем обзорекает среду и вычисляет следующее действие. В теории алгоритмов этот вариант решения задач известен как алгоритм с отсечением по времени (anytime algorithm) – итерационный вычислительный

алгоритм, который способен в любое время выдать наилучшее на данный момент решение. При совместном применении алгоритма с отсечением по времени и эволюционного метода следует, не дожидаясь окончания вычислений, раз в несколько эпох выбирать наилучшее решение. Это решение используется некоторое время как текущее управляющее воздействие.

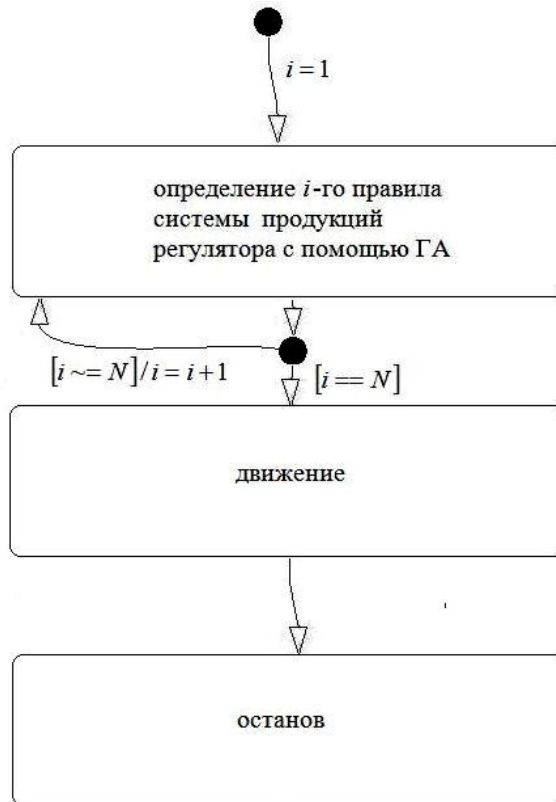


Рис. 2. Процедура вычислений управляющих воздействий методом ГА при наличии всей информации

В качестве примера применения такого подхода рассмотрим задачу синтеза посредством эволюционных вычислений реального времени закона управления мобильной киберфизической системой. В частности, решен ряд нетривиальных задач оптимального синтеза системы продукций регулятора мобильной киберфизической системы. Мобильность обеспечивается колесным роботом. Кинематическая модель колесного робота – система нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений вида

$$[\dot{x}, \dot{y}, \dot{\varphi}]^T = [v \cdot \cos(\varphi), v \cdot \sin(\varphi), u]^T, \quad (1)$$

где переменные состояния – это две координаты x и y положения объекта на плоскости и угол φ направления вектора скорости.

Модуль вектора скорости равен v . Скалярное управление u ограничено по модулю и определяет мгновенную скорость поворота вектора скорости. Примем для определенности $|u| \leq 1$. Систему (1) при $v=1$ называют Dubins Car (ма-

шина Дубинса) по фамилии ученого, изучавшего задачу наискорейшего ее перевода в заданную точку фазового пространства.

Решим задачу максимально быстрого перевода машины Дубинса из точки $[3, -3, -\pi/4]$ в малую окрестность точки с координатами $x=0$, $y=0$. Т. к. третья координата (угол φ) в конечной точке не задана, это – задача с подвижным концом траектории. При этом будем учитывать не только время, необходимое объекту управления на перемещение из начальной точки в конечную, но и время, в течение которого осуществляется вычисление закона управления. Поскольку известно точное аналитическое решение задачи быстрогодействия предполагает закрепление конца траектории и не учитывает время вычисления управления, будем решать задачу численно. В качестве метода вычисления закона управления используем ГА. Программный продукт – Global Optimization Toolbox, процессор Intel® Core™ 2 Duo 2.2 GHz.

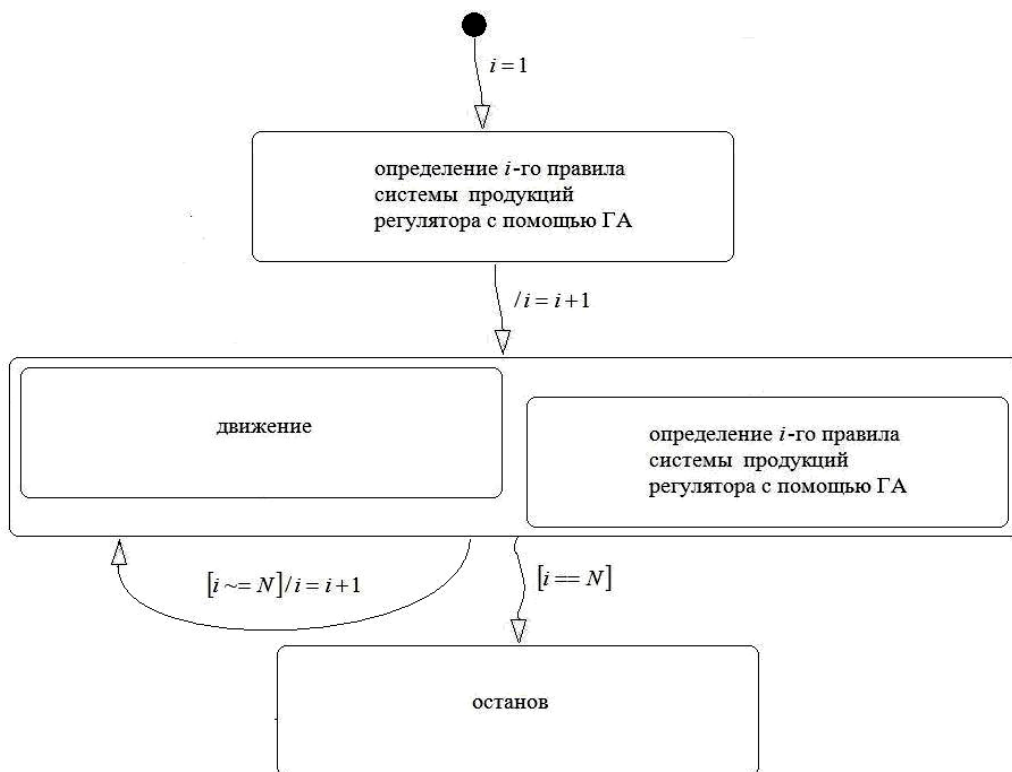


Рис. 3. Процедура эволюционных вычислений управляющих воздействий, совмещенная с процессом управления

Время вычисления управляющего воздействия ограничим некоторой наперед заданной величиной. В первом случае вначале полностью определим систему продукций программного регулятора, а затем используем ее для управления. Будем считать, что восьми секунд достаточно для гарантированного попадания машины Дубинса в требуемую точку при правильно выбранной стратегии управления и что допустимая частота изменения управляющего воздействия равна 1 с-1. Тогда система продукций регулятора приобретет вид: «если $t \in [i-1, i)$, то $u(t) = u_i$ », $i = 1, 2, \dots, 8$.

Первая серия из 15 вычислительных экспериментов проводилась при ограничении времени вычисления управляющего воздействия на уровне 8 с, что соответствовало 5 эпохам работы ГА в указанной вычислительной среде. Через 8 с начиналось движение объекта под управлением наилучшей из найденных программ работы регулятора. Общее время от момента получения задачи до окончания движения составляло, таким образом, 16 с. Как следует из рис. 4, ни в одном из 15 экспериментов окрестности точки с координатами $x=0$, $y=0$ за 16 с достигнуты не были вследствие низкого качества полученных решений.

Вторая серия экспериментов проводилась при ограничении времени вычисления управляющего воздействия на уровне 40 с (27 эпох работы ГА). В этом случае (рис. 5) треть траекторий заканчивалась в окрестностях заданной точки, но общее время решения задачи составляло уже 48 с.

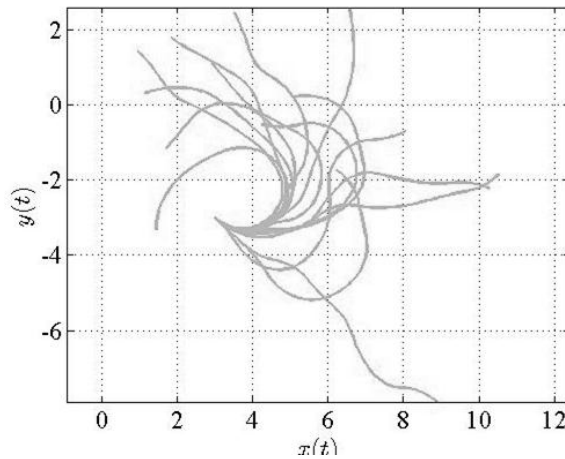


Рис. 4. Траектории движения машины Дубинса (время вычисления управляющего воздействия 8 с)

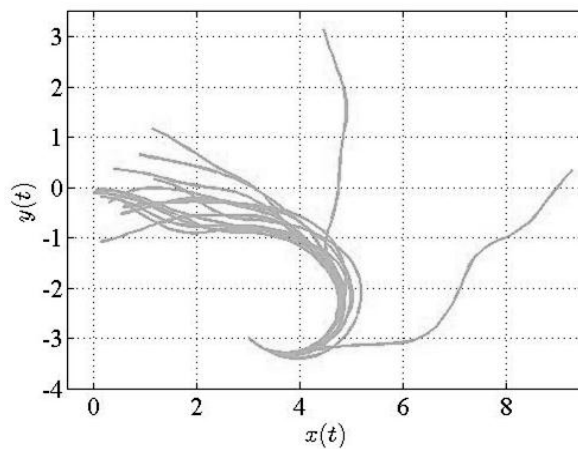


Рис. 5. Траектории движения машины Дубинса (время вычисления управляющего воздействия 40 с)

Изменим тактику. Вначале при лимите времени вычислений в 1 с определим с помощью ГА параметр u_1 таким образом, что правило «если $t \in [0,1)$, то $u(t) = u_1$ » обеспечит объекту (2.1) минимальное по сравнению со всеми альтернативными вариантами результирующее отклонение от заданного условиями $x=0$, $y=0$ требуемого конечного положения. Затем, используя это правило для управления в течение первой секунды, будем одновременно искать из таких же соображений параметр u_2 . Повторяем эти действия на протяжении первых 7 с движения. Общее время от момента получения задачи до окончания движения составит всего 9 с. Как следует из рис. 6, во всех 15 экспериментах удалось достичь малой окрестности точки $x=0$, $y=0$.

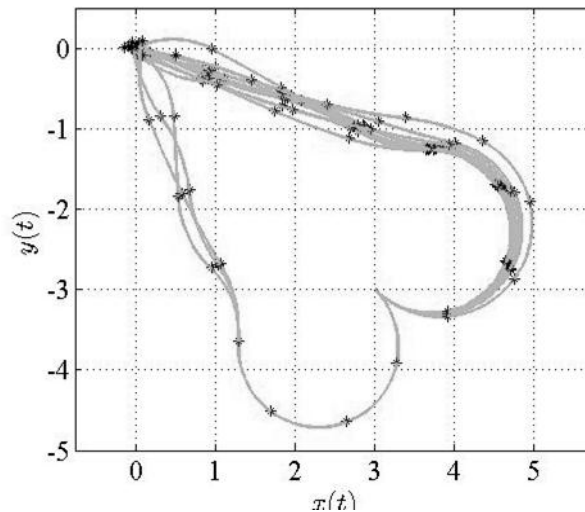


Рис. 6. Траектории движения машины Дубинса (anytime algorithm управления, полное время 9 с), засечки ставятся через 1 с

Полученный эффект повышения качества решения с одновременным существенным сокращением общего времени решения объясняется не только совмещением во времени процессов определения закона управления и движения под действием этого управления, но и уменьшением вычислительной сложности задачи. Действительно, на каждом i -том шаге определению подлежит лишь один параметр u_i вместо восьми. Таким образом, может быть преодолен главный недостаток эволюционных вычислений, заключающийся в чрезмерном времени расчетов из-за необходимости анализа большого числа альтернативных вариантов. Следовательно, задача синтеза может быть успешно решена с использованием эволюционных вычислений, в частности генетического алгоритма, в реальном масштабе времени. Причем в однородной среде несомненно преимущество оперативного режима над автономным.

В неоднородном окружении картина меняется. Пусть на пути машины Дубинса имеется область, движение по которой нежелательно в силу каких-либо причин (эта область обозначена на последующих рисунках как светло-серый шестиугольник). Теперь автономная организация вычислений на основе всей полноты знаний об окружении, в котором предстоит двигаться, демонстрирует преимущество, т. к. позволяет машине Дубинса вполне успешно миновать запрет-

ную область (рис. 7, 8). Оперативное же управление машиной Дубинса обеспечивает преодоление несложных препятствий, но не позволяет справляться с более трудными (рис. 9, 10).

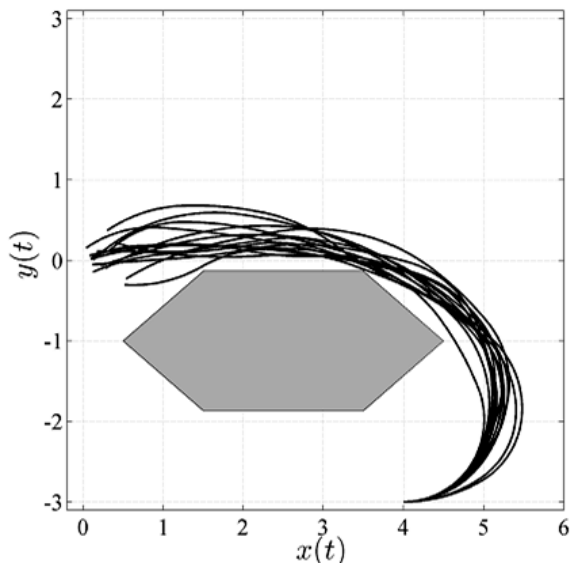


Рис. 7. Траектории движения машины Дубинса в неоднородном окружении (автономный режим, время вычисления управляющего воздействия 16 с, полное время 24 с)

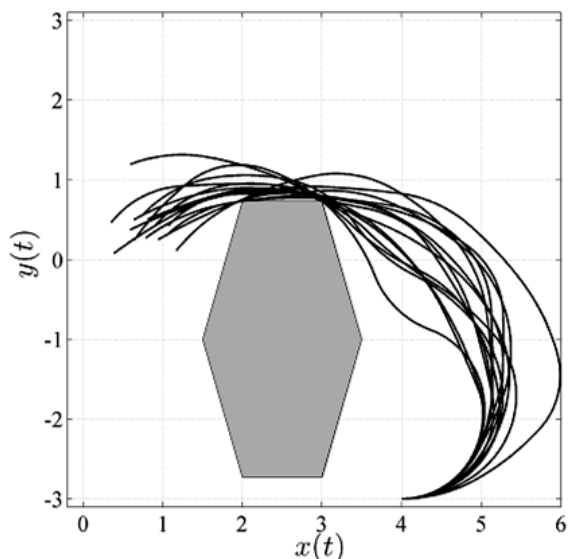


Рис. 8. Траектории движения машины Дубинса в неоднородном окружении (автономный режим, время вычисления управляющего воздействия 16 с, полное время 24 с)

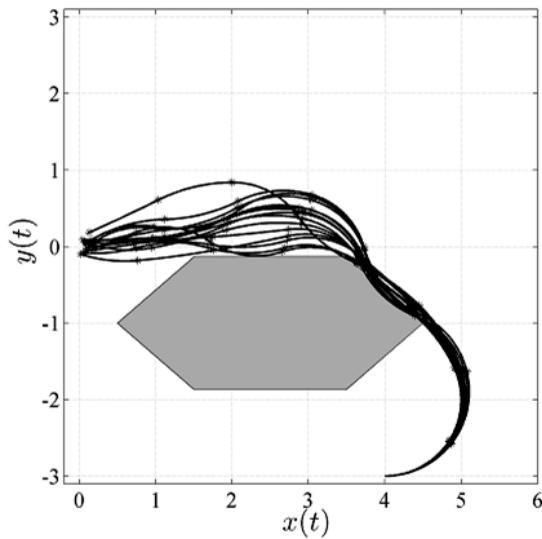


Рис. 9. Траектории движения машины Дубинса в неоднородном окружении (оперативный режим управления, полное время 9 с)

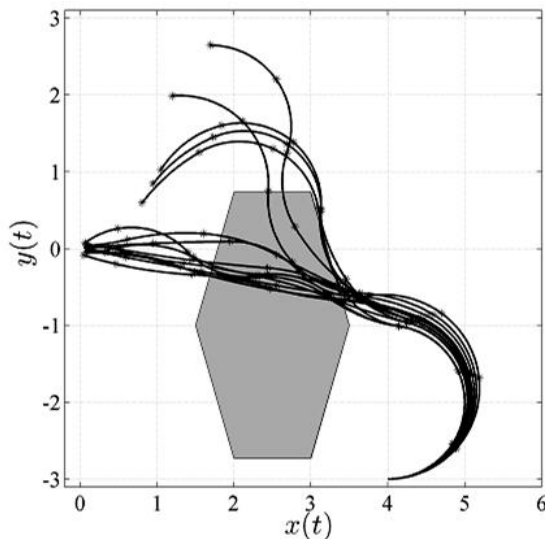


Рис. 10. Траектории движения машины Дубинса в неоднородном окружении (оперативный режим управления, полное время 9 с)

Этому факту есть рациональное объяснение. Действительно, в автономном режиме система правил работы регулятора полностью определяется до начала движения. При этом используется вся полнота информации как о среде, так и о влиянии на конечный результат всех этапов движения, осуществляется «долгосрочное» планирование. Наоборот, в оперативном режиме расчетов планирование является «краткосрочным», каждый шаг определяется исходя из локальной цели минимизации оставшегося до требуемой точки расстояния. Доступна информация не обо всей окружающей обстановке, а лишь о ближайшей ее части.

В этом случае проложить маршрут движения вне запретной области затруднительно.

Рассмотренные примеры свидетельствуют о возможности использования эволюционных вычислений в задачах синтеза систем управления реального времени колесными мобильными устройствами, перемещающимися как в однородной, так и в неоднородной среде. Установлена возможность повышения качества решения задачи управления с одновременным существенным сокращением общего времени. Это достигается путем осуществления необходимых для определения закона управления вычислений одновременно с реализацией этого закона. Кроме того, существенно уменьшается вычислительная сложность задачи за счет использования последовательных операций поочередного поиска каждого из параметров системы продукции вместо многомерного поиска. Таким способом может быть преодолен главный недостаток эволюционных вычислений, заключающийся в чрезмерном времени расчетов из-за необходимости анализа большого числа альтернативных вариантов. В условиях отсутствия помех движению можно рекомендовать совмещенный с процессом управления оперативный режим расчетов. Такой режим позволяет существенно сократить время расчетов и повысить качество найденных решений. В неоднородной среде целесообразно использовать автономный режим предварительного вычисления полного решения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Чеклецов В.В.* Чувство планеты. Интернет вещей и следующая технологическая революция. – М.: Российский исследовательский центр по Интернету вещей, 2013. – 130 с.
2. *Cyber-Physical System. Driving force for innovation in mobility, healthy, energy and production.* ACATECH 2011, Springer, 2011. – 48 p.
3. *Living in networked world. Integrate research agenda Cyber-Physical Systems (agenda CPS).* ACATECH 2015.
4. *Kranenburg R. van.* The Internet of Things. A critique of ambient technology and the all seeing network of RFID. Amsterdam, 2008. – 61 p.
5. *Colombo A., Bangemann T.* Industrial Cloud based Cyber physical Systems: The IMC AESOP Approach Cham Springer International Publishing 2014. – 245 p.
6. *Черняк Л.* Киберфизические системы на старте // Открытые системы. – 2014. – № 2.
7. *Rogachev G.N.* Production method of describing automated controllers in the analysis of continuous-discrete control systems // Automatic control and computer sciences. 2014. – Т. 48. – № 5. – С. 249–256.
8. *Рогачев Г.Н.* Гибридно-автоматный метод анализа и синтеза систем автоматического управления // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2006. – Вып. 41. – С. 43–47.
9. *Рогачев Г.Н., Егоров В.А.* Численно-аналитическая процедура оптимального синтеза гибридных систем // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2010. – № 7 (28). – С. 32–36.
10. *Рогачев Г.Н.* Генетическое программирование в задачах поиска системотехнических решений // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2006. – Вып. 40. – С. 37–42.
11. *Рогачев Г.Н.* Использование генетического алгоритма с отсечением по времени в задаче синтеза программного регулятора для машины Дубинса // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2011. – Вып. 3 (31). – С. 27–33.
12. *Рогачев Г.Н., Рогачев Н.Г.* Эволюционные вычисления в регуляторе реального времени для машины Дубинса // Аналитическая механика, устойчивость и управление. Труды X Межд. Четаевской конф. Т. 3. Секция 3. Управление. Ч. II. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. – С. 273–281.

Статья поступила в редакцию 1 августа 2016 г.

REAL-TIME EVOLUTION COMPUTATION IN MOBILE CYBER-PHYSICAL SYSTEMS' CONTROL

G.N. Rogachev, M.L. Patkin, N.G. Rogachev

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya str., Samara, 443100, Russian Federation

Considered time-optimal controller for the cyber-physical system. The quality of solutions includes the total time of moving the object at a given point, including the time of the calculation of the control program. Considered online and offline versions of the numerical determination of controller as a system of rules "condition – action". As online variant any-time genetic algorithm was used. A comparison of online and offline methods was hold.

Keywords: *optimal control, Dubins' car, cyber-physical system, genetic algorithm.*

*Gennady N. Rogachev (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Mihail L. Patkin, Postgraduate Student.
Nikolay G. Rogachev, Graduate Student.*