

## УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОЕКТА. ПОДХОД, ОСНОВАННЫЙ НА СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКЕ

Статья посвящена вопросам исследования устойчивости проекта. В работе используются подходы к исследованию устойчивости, принятые в кибернетике и системной динамике, выдвигается гипотеза о возможности стабилизации проекта путем внесения изменений в систему коммуникаций. Автор рассматривает различные задачи управления, возникающие в проектном менеджменте.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** системная динамика, теория управления, устойчивость проекта, устойчивость расписания, макромоделирование, обратная связь

### ВВЕДЕНИЕ

В исследованиях, посвященных управлению проектами, большое внимание уделяется причинам проектных неудач и выявлению ключевых факторов, влияющих на успех проекта. Интерес исследователей отнюдь не является праздным, поскольку более половины всех проектов выполняются со значительным превышением сроков и/или бюджетов, а после их реализации не производятся продукты или услуги, удовлетворяющие требованиям заказчика или пользователя. Лишь в 35% случаев эти неудачи обусловлены причинами технической природы, остальные 65% приходится на плохой менеджмент [10, 16].

В данной работе автор предлагает способ прогнозирования успешности выполнения проекта в условиях неопределенности на основе устойчивости — интегрального показателя, учитывающего все критические процессы проекта в их взаимосвязи. Кроме того, ниже выдвигается гипотеза о том, что можно придать проектам устойчивость путем установления между участниками проекта дополнительных каналов обмена информацией либо устранения или преобразования существующих.

**Зуйков Кирилл Александрович** — заместитель генерального директора по развитию ОАО «Московский завод тепловой автоматики», студент магистратуры факультета менеджмента НИУ ВШЭ (кафедра управления проектами), член правления Молодежной ассоциации управления проектами IPMA Young Crew SOVNET (г. Москва)

В статье также приводится анализ различных моделей проектов, применяемых для исследования устойчивости. Часть моделей основана на микротехнике организации [9, 11]. В них применяются стохастические методы, а взаимосвязи между объектами в проекте (работами, исполнителями, коммуникационными каналами) описаны на элементарном уровне. Другие модели оперируют макропараметрами проекта, такими как текущие и кумулятивные трудозатраты, ожидаемый срок окончания проекта, количество непредвиденных исправлений. Эти модели детерминированы, они представляют собой системы дифференциальных уравнений, описывающих макропроцессы в проекте [8, 15]. Среди них можно выделить линейные и нелинейные. Нелинейные модели могут более полно описывать внутренние процессы и поэтому давать более точные результаты при моделировании. Линейные легче поддаются аналитическому исследованию, что позволяет не только сделать заключение, например, об устойчивости или неустойчивости, но и, возможно, дать рекомендации по стабилизации системы.

Большинство исследований устойчивости проектов, проведенных до настоящего времени, относятся к реализации плана в условиях неизменности целей. Однако эта ситуация довольно редко встречается на практике, особенно в высокотехнологичных отраслях, где компании вынуждены менять свои цели, для того чтобы успевать за изменениями во внешней среде. Поскольку компании реализуют свои стратегии через проекты, то очевидно, что цели проектов также могут меняться. В данной работе делается попытка расширить понятие устойчивости, с тем чтобы оно было применимо и в условиях изменения целей, обусловленного неопределенностью внешней среды.

## 1. ПРОЕКТ КАК ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА

Любую организацию можно рассматривать как систему, в которой информация преобразуется

и передается между структурными звеньями [12]. Такой подход вполне соотносится с идеями кибернетики, сформулированными в середине XX в. и получившими наибольшее развитие с повсеместным распространением вычислительной техники. Подобной системой является и проект.

Члены команды получают задания от менеджеров, составляют отчеты, далее осуществляются контроль выполнения заданий, коррекция планов и выдача новых заданий. Участники проекта осуществляют непрерывные коммуникации, используя разнообразные каналы. Информация обуславливает принятие всех решений по проекту. События, происходящие при его реализации (назначение сотрудника на работу, завершение работы, достижение вехи и др.), также являются информацией.

В этой системе есть звенья, обрабатывающие информацию (участники проекта), и каналы передачи информации. При этом качество информационных каналов также может оказывать значительное влияние на динамику системы в целом.

Существуют два основных подхода к построению модели проекта как информационной системы: микро- и макро-модель проекта. При описании системы на микроуровне как можно точнее характеризуются объекты, относящиеся к проекту: работы и исполнители, а также их взаимосвязи. Для работ задается сложность, неопределенность, вероятность исключительных событий при выполнении. Команды исполнителей характеризуются квалификацией участников, а также горизонтальными и вертикальными коммуникационными связями, способом разрешения проблем и принятия решений. Вся эта информация впоследствии используется при имитационном моделировании выполнения проекта [9, 11].

Макромодели очень полезны при исследовании динамики проектов, в том числе и для анализа устойчивости [13], т.к. позволяют достаточно точно прогнозировать динамику проекта, оценивать результаты, выявлять слабые места.

В макро-модели не фигурируют отдельные работы и исполнители. В ней задаются лишь общие

закономерности развития проекта, например, в виде дифференциальных уравнений или структурных схем. Линейная (или линеаризованная) система может быть также описана в пространстве состояний, что эквивалентно системе линейных дифференциальных уравнений:

$$\dot{x} = Ax + Bu,$$

$$y = Cx + Du,$$

где  $x = n \times 1$  — вектор состояния;

$n$  — размерность пространства состояний;

$u = m \times 1$  — вектор управления;

$m$  — размерность пространства управляющих воздействий;

$y = r \times 1$  — вектор выходов;

$r$  — размерность пространства выходов системы;

$A = n \times n, B = n \times m, C = r \times n, D = r \times m$  — матрицы коэффициентов [3].

Полезность макромоделей проекта состоит в том, что они позволяют изучать потоки информации и общую логику ее преобразования. При помощи макромоделей можно не только прогнозировать результаты проекта, но и проводить синтез систем, т.е. планировать систему коммуникаций в проекте, обеспечивающую требуемые динамические показатели.

## 2. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В предыдущей главе мы затронули подход к исследованию проекта как информационной системы. Попробуем классифицировать проекты с точки зрения кибернетики, иными словами, рассмотрим типы проектов как систем управления. Выявим также задачи управления, которые возникают в системах разных типов.

Прежде чем приступить к описанию видов систем управления и движений, которые в них возникают, дадим определение движения. Под движением системы мы будем подразумевать любое изменение переменных состояния, т.е. значений, тем или иным способом описывающих динамические

характеристики. В случае если исследуется проект, переменными состояниями могут быть текущие и кумулятивные трудозатраты, прогнозируемый срок завершения проекта, потребность в ресурсах. Необходимо различать переменные состояния, характеризующие динамику объекта управления, и параметры — значения, свойственные самому объекту. Параметрами системы являются, например, задержка найма и адаптации персонала, качество коммуникационных связей, производительность и мотивация.

Если параметры системы с течением времени не меняются, то система называется стационарной. Если параметры системы не зависят от ее состояния, описываемого набором переменных состояния, то система линейна. Система, параметры которой являются случайными величинами, называется стохастической, в отличие от детерминированной системы, в которой значения параметров определены неслучайным образом. Система, в которой переменные состояния могут принимать только определенные значения (квантование по уровню) либо меняться только в определенные моменты времени (квантование по времени), называется дискретной. Если же переменные состояния принимают значения всего числового ряда и могут изменяться в любой момент времени, то это непрерывная система [3].

Проект является одновременно нестационарной, нелинейной, стохастической и дискретной системой, что делает практически невозможным его исследование. Однако, как мы покажем далее, возможно построение моделей, которые хотя и являются в известной степени упрощением реальности, но в целом достаточно точно описывают объект. Эти модели, как правило, линейны, стационарны, детерминированы и непрерывны, что значительно упрощает анализ. Так, например, поскольку постоянные времени (значения, характеризующие временные параметры) в проекте во много раз больше шага квантования (интервала получения информации), то на основе теоремы Котельникова — Шеннона [3] мы можем исследовать проект как непрерывную систему.

Иерархию системы управления проектом можно условно представить следующим образом (рис. 1). На нижнем уровне находится подсистема, ответственная за осуществление плана. Ее задача — обеспечить движение в соответствии с определенным графиком (управляющее воздействие) с наименьшими возможными отклонениями. Эта подсистема является аналогом классической системы регулирования. В данной подсистеме, как правило, присутствует обратная связь, реализуемая в управлении проектами посредством группы процессов мониторинга и контроля [6]. Наличие обратных связей — вообще характерная особенность таких систем, поскольку основной в них является задача программного управления — обеспечение программного режима движения объекта управления [4].

На втором уровне иерархии система дополняется модулем, формирующим управляющее воздействие в соответствии с поставленной целью. Данный командный модуль вместе с подсистемой регулирования вместе образуют систему управления. В нашем случае управляющим воздействием, обрабатываемым подсистемой регулирования, является план проекта. Сама же система управления

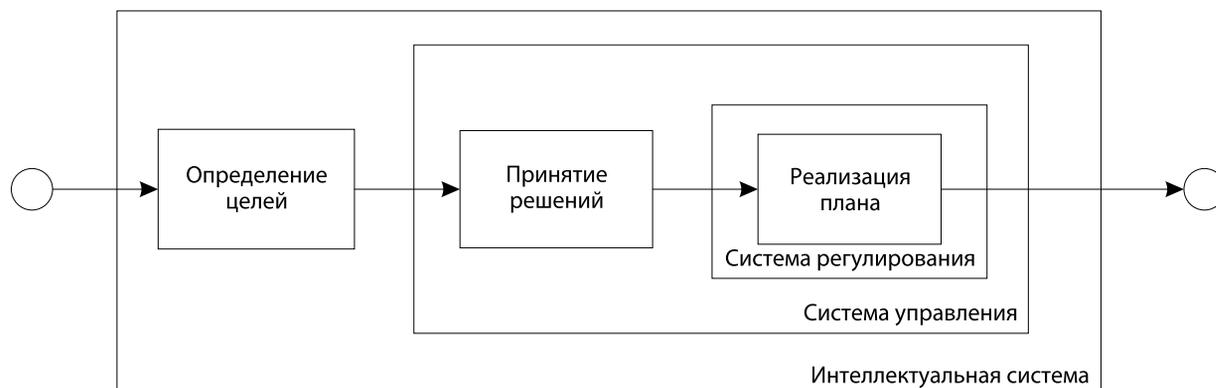
представляет собой систему, реализующую при помощи проектов стратегию компании.

На данном уровне есть смысл говорить о задаче терминального управления — перевода объекта из одного начального заданного множества  $S_0 \subset R^n$  в другое конечное заданное множество  $S_k \subset R^n$ , где  $R^n$  — пространство состояний системы [4].

Если проект предпринимается для достижения тех или иных стратегических целей компании, то критерии его успешности могут быть определены в терминах достижения этих целей. Задача управления проектом должна быть в этом случае сформулирована как переход из текущего состояния, характеризуемого такими переменными, как доля рынка, объем продаж, уровень издержек и др., в некоторое желаемое состояние, соответствующее целям компании. При этом возможно внесение изменений в расписание в зависимости от текущих условий и состояния выполнения проекта.

На верхнем уровне иерархии находится подсистема, вырабатывающая цели, или интеллектуальная система управления. С ней связаны вопросы устойчивости стратегического и портфельного управления, выходящие за рамки данной работы.

Рис. 1. Иерархическая структура системы автоматического управления



### 3. ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ ПРОЕКТА, ОСНОВАННЫЙ НА СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКЕ

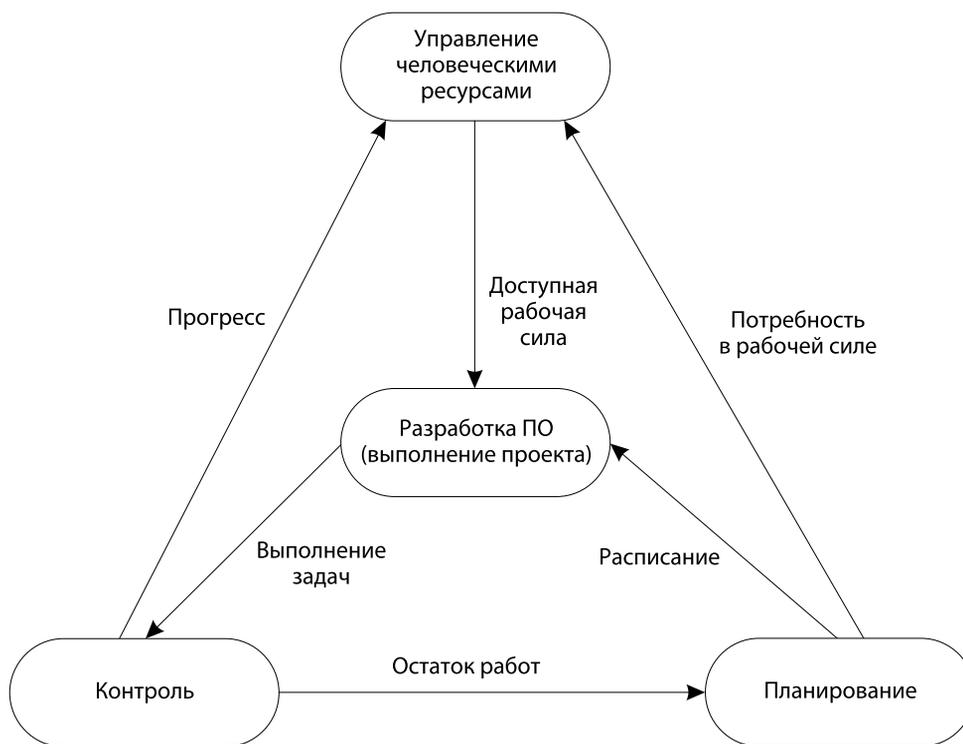
Одной из наиболее значимых и полных моделей, описывающих проект на макроуровне, является модель Т. Абдель-Хамида (ТАН) [8]. В своей диссертации он рассматривает следующую структурную схему проекта разработки программного обеспечения, основанную на системной динамике (рис. 2).

В этой структурной схеме устанавливаются информационные взаимосвязи между основными группами процессов проекта: планированием, исполнением, мониторингом и контролем [6]. Кроме того, управление человеческими ресурсами рассматривается в ней как отдельный структурный

элемент. Подсистема управления человеческими ресурсами отвечает за найм, обучение, ассимиляцию и передачу персонала в проект. Эти действия влияют на другие подсистемы и подвержены, в свою очередь, влиянию с их стороны. Например, величина «Уровень найма» является функцией переменной «Потребность в рабочей силе», определяемой необходимостью завершить проект в срок [8].

Данная подсистема, как и другие, достаточно полно описана в модели, однако нелинейна, что затрудняет ее аналитическое исследование. Уайт [15] предлагает использовать упрощенную линейную модель проекта, основанную на модели ТАН. Автор выделяет девять основных переменных состояния проекта как объекта управления и формирует описание системы в пространстве

Рис. 2. Структурная схема модели ТАН



состояний, которое представляет собой систему линейных дифференциальных уравнений.

Приведем для примера одно из уравнений системы:

$$\dot{WF} = -\frac{1}{wfat}WF + \frac{1}{wfat}WFS,$$

где  $WF$  — переменная состояния: текущее количество рабочей силы, задействованной в проекте;  $WFS$  — переменная состояния: текущая потребность в рабочей силе;

$wfat$  — константа: время адаптации персонала.

Нетрудно заметить, что система находится в состоянии равновесия, когда количество рабочей силы, задействованной в проекте, равно требуемому. В противном случае система будет двигаться в направлении равновесного состояния. При этом текущее количество рабочей силы изменяется не мгновенно, а с постоянной времени  $wfat$ , что вполне естественно, т.к. необходимо учитывать задержки назначения работника на проект, обучения (работник наращивает свою производительность постепенно), а также время, затрачиваемое на вывод его из проекта и передачу работ. Наличие этой постоянной времени отчасти объясняет действие закона Брукса: «Если проект не укладывается в сроки, то добавление рабочей силы задержит его еще больше» [1].

Автор исследовал исходную нелинейную модель, упрощенную линейную модель, а также кейс крупного проекта NASA и пришел к выводу, что линейная модель дает результаты, вполне приемлемые для качественного исследования. Кроме того, следует заметить, что линеаризованная модель является вполне адекватной для исследования устойчивости. Хотя она и не учитывает ряд ограничений, например ограниченность ресурсов, однако если в проекте потребность в ресурсах неограниченно возрастает, то такая система должна быть признана неустойчивой. В свою очередь, система, обладающая свойством устойчивости, будет работать в той части пространства состояний, в которой является линейной, иными словами, ограничения в проекте не достигаются.

Уайт также приходит к выводу, что исходная система является неустойчивой, однако стабилизируемой путем введения в нее дополнительных обратных связей. Устойчивость проекта как системы управления будет рассмотрена ниже. Физический смысл обратной связи состоит в установлении нового коммуникационного канала заданной направленности между звеньями / подсистемами или в устранении / изменении существующих.

Можно предложить следующий алгоритм исследования динамики проекта:

- 1) разработка полной нелинейной модели;
- 2) разработка адекватной линейной модели на основе полной нелинейной;
- 3) исследование динамики на линейной модели и внесение изменений для ее улучшения;
- 4) проверка синтезированной системы на исходной нелинейной модели;
- 5) проверка результатов на микромодели.

#### 4. ПОНЯТИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЕКТА

Дадим определение устойчивости проекта на основе понятий системной динамики и кибернетики. Обычно, когда говорят об устойчивости применительно к управлению проектами, имеют в виду устойчивость расписания. Под последней понимается способность расписания возвращаться «в прежнее русло» после окончания действия возмущений (система, устойчивая к возмущению). Например, существует такой взгляд: утверждается, что устойчивой является система, в которой доминирует один критический путь. «В условиях данного проекта движение от нормального времени к оптимальному не создаст новых критических или почти критических операций. При этом сокращение простоев на некритических операциях лишь незначительно повышает риск их превращения в критические по сравнению с менее устойчивой системой» [2].

Допустим, возмущение вызывает задержку в выполнении одной из работ. При этом можно рассмотреть следующие варианты поведения проекта:

1) возмущение сглаживается, и выполнение работ возвращается к изначальной расписанию;

2) задержка просто передается от работы к работе в расписании, не увеличиваясь и не уменьшаясь;

3) изначальное возмущение вызывает увеличивающиеся отставания, приводя к изменению длительности проекта более чем на величину изначальной задержки [14].

Систему 1 иногда называют положительно устойчивой, систему 2 — нейтрально устойчивой, систему 3 — системой с отрицательной устойчивостью, или неустойчивой [14].

Какие внутренние силы заставляют проект после возникшего расхождения с планом возвращаться на прежний путь или, напротив, удаляться от первоначального плана все больше? Можно предположить, например, что если команда мотивирована и вовремя получила информацию о возникшем отставании, то она может мобилизовать свои ресурсы, для того чтобы это отставание устранить. Наоборот, если мотивация недостаточна либо информированность членов команды оставляет желать лучшего, то нельзя ожидать, что план будет выполнен.

Каковы причины неустойчивости расписания проектов, если понимать устойчивость в описанном выше смысле? Они следующие:

- некоторые работы должны выполняться в строго определенное время или в конкретный интервал времени, и задержка предшествующей работы может приводить к необходимости длительного ожидания следующей возможности выполнения работы;

- в матричной структуре ресурсы могут быть задействованы одновременно в нескольких проектах, и задержка работы может привести к ограничению доступности ресурсов;

- можно ожидать, что если произошла задержка выполнения работы, то те же сотрудники в той же организационной структуре и тех же условиях задержат выполнение также всех однотипных работ;

- постоянное отставание от графика может отрицательно влиять на мотивацию сотрудников;

- введение новых ресурсов в проект приводит к усложнению системы коммуникаций и координации работ, а также требует обучения и адаптации новых сотрудников, что может снизить производительность более опытных.

Между тем можно выделить и другие аспекты устойчивости проекта, причем набор характеристик устойчивости может изменяться по мере продвижения по уровням иерархии системы управления, рассмотренной выше. Назовем некоторые наиболее важные виды проблем устойчивости, возникающих в управлении проектами:

- устойчивость расписания;
- устойчивость команды;
- устойчивость бюджета;
- устойчивость целей;
- устойчивость портфеля проектов;
- устойчивость портфеля ресурсов;
- устойчивость стратегии.

Продолжая этот ряд, можно говорить также об устойчивости проектно-ориентированной организации, а выходя за рамки организации — об устойчивости экономики и устойчивости общества в целом, что может быть актуально, когда речь идет о крупных инфраструктурных проектах и проектах устойчивого развития.

Попробуем расширить определение устойчивости таким образом, чтобы его можно было применять не только для анализа устойчивости расписания, но и для проекта в целом. Для этого рассмотрим определения, принятые в теории автоматического управления и регулирования.

Допустим, что на систему действует некоторое входное воздействие произвольного вида, которое, естественно, вызывает определенную ее реакцию, в частности приводит к изменению выходной величины.

*Устойчивая система* — это система, которая после устранения указанного воздействия прекращает движение и самостоятельно приходит к некоторому установившемуся стабильному состоянию [5]. Система обычно находится в состоянии

движения, поэтому рассматривают устойчивость движения, а понятие устойчивости в динамике сложнее, чем устойчивости в статике.

Пусть заданный режим работы системы при отсутствии возмущений характеризуется координатами  $x'_1(t), x'_2(t), x'_3(t), \dots$ , а на систему действует возмущение, которое заставляет ее двигаться по другим траекториям  $x_1(t), x_2(t), x_3(t) \dots$ . Система будет находиться в возмущенном состоянии. Если система устойчива, то она снова войдет в заданный режим или в область около него:

$$\varepsilon_i = x_i(t) - x'_i(t).$$

Заданное невозмущенное состояние движения устойчиво, если в результате действия возмущений состояние движения с течением времени перейдет в некоторую конечную область, находящуюся в окрестности невозмущенного состояния, определяемого координатами:

$$\tilde{x}_1 = x_1(t) - x'_1(t)$$

$$\tilde{x}_2 = x_2(t) - x'_2(t)$$

...

$$\tilde{x}_n = x_n(t) - x'_n(t) [3].$$

Если мы определили проект как систему управления в пространстве состояний или в виде структурной схемы, то можем говорить о его устойчивости, если движения по всем каналам данной системы управления обладают свойством устойчивости.

Если применяется линейная модель, то в нее невозможно ввести такие параметры, как, например, ограниченные трудовые ресурсы. Однако данное ограничение следует из требования устойчивости, если переменные, на которые наложены ограничения, являются переменными состояниями. Если они значительно отклоняются от задания, это будет означать, что система неустойчива.

Реальность, которую необходимо учитывать при проектировании систем управления, состоит в том, что исходные данные для расчетов (структура и параметры модели объекта) задаются всегда

с некоторой, обычно даже неизвестной погрешностью. Соответственно, для полной уверенности в работоспособности системы необходимо выяснить, сохранит ли система устойчивость при возможных, пусть даже малых вариациях ее параметров относительно их расчетных значений. Системы, которые удовлетворяют этому требованию, называют грубыми [5].

Поскольку реально функционирующие системы должны быть не просто устойчивыми в определенный момент времени, но и обладать определенным запасом устойчивости (т.е. их переходные процессы должны не просто затухать, но затухать достаточно интенсивно), то и грубость системы не может еще считаться достаточным признаком ее работоспособности — необходимо, чтобы при возможных вариациях параметров система сохраняла должный запас устойчивости. Такие системы получили название *робастных* [5]. Когда мы говорим о проекте, то параметрами системы, которые подвержены вариациям, могут являться общая производительность команды, мотивация сотрудников, постоянная времени ввода сотрудника в проект и др.

Определяя устойчивость проектов таким образом, мы можем использовать аппарат кибернетики для исследования проекта как информационной системы. Полученные результаты позволяют нам судить об устойчивости и робастности проекта. Поскольку, как показал Уайт [15], неустойчивую систему часто можно стабилизировать путем введения в нее обратных связей, это дает возможность построения устойчивой и робастной организационной структуры.

Введение в проект обратной связи означает установление дополнительного коммуникационного канала. Уильямс и Парр [7] отмечают, что множество неудач в реализации программ обусловлено плохой коммуникацией с теми, кто влияет на успех программы: членами команды, сотрудниками, спонсорами и лицами, принимающими решения, заинтересованными сторонами и бизнес-партнерами. Вовлеченность этих людей в процесс расценивается как критический фактор.

Таким образом, эффективные коммуникации в программе определяются как взаимодействие с правильными людьми в правильное время, позволяющее гарантировать их вовлеченность в проектную деятельность. Исследование устойчивости проекта и выявление необходимости введения обратных связей может дать менеджеру проекта подсказку, кому, с кем и в какое время нужно взаимодействовать, чтобы гарантировать устойчивость проекта к разного рода неопределенностям.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях неопределенности проблема устойчивости проекта приобретает первоочередную важность. Как изменятся результаты проекта при возникновении какого-либо отклонения от плана? Каким образом поведет себя проект как система управления при изменении целей? Ответы на эти и другие подобные вопросы содержатся в интегральном показателе, описывающем происходящие в проекте процессы, — устойчивости.

Реальность физического мира состоит в том, что даже при отсутствии сколько-нибудь заметных возмущений система неизбежно будет находиться под воздействием мелких флуктуационных возмущений, которые для неустойчивой системы могут послужить своеобразным «запалом», приводящим к возникновению собственного движения системы с бесконечно нарастающей амплитудой [5]. Кроме того, рассмотрение проекта как информационной системы и анализ устойчивости

позволяет построить систему коммуникаций в проекте, обеспечивающую требуемый запас устойчивости и робастности системы.

Одним из направлений для будущего исследования является определение ограничений теории управления динамическими процессами и устойчивости применительно к управлению проектами, выяснение условий, при которых возможно использование определений и математического аппарата кибернетики, уточнение исчерпывающего набора переменных состояния, адекватно описывающих проект. При этом следует предложить методы синтеза устойчивых систем управления проектами путем изменения коммуникационных каналов в проекте.

Другое направление — исследование проблемы устойчивости в условиях неопределенности при изменении целей проекта (так называемой устойчивости по управлению). Эта задача отличается от задачи реализации плана тем, что рассматривается устойчивость не равновесия системы, а ее движения.

Дальнейшим развитием темы должно послужить исследование устойчивости управления портфелем проектов, стратегического управления, устойчивости организации в целом, а также выходящего за рамки организации вопроса устойчивости экономики и общества. Этот вопрос не является актуальным для небольших проектов, выполняющихся в интересах самой компании или ее клиентов, однако становится существенным, когда речь идет о крупных инфраструктурных проектах и проектах устойчивого развития.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Брукс Ф. Мифический человек-месяц, или Как создаются программные системы. — М.: Символ-Плюс, 2010. — 304 с.
2. Грей К.Ф., Ларсон Э.У. Управление проектами: Учебник / Пер. с англ., науч. ред. перевода В.М. Дудников. — М.: Дело и сервис, 2007. — 608 с.
3. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник. Т. 1: Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егулова. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. — 656 с.

4. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник. Т. 2: Синтез регуляторов и теория оптимизации систем автоматического управления / Под ред. Н.Д. Егупова. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. — 736 с.
5. Ротач В.Я. Теория автоматического управления: Учебник для вузов. — 2-е изд. — М.: Издательство МЭИ, 2004. — 400 с.
6. Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство РМВОК®). Project Management Institute, 2004.
7. Уильямс Д., Парр Т. Управление программами на предприятии. — М.: Баланс Бизнес Букс, 2005. — 304 с.
8. Abdel-Hamid T.K. (1984). *The Dynamics of Software Development Management: an Integrative System Dynamics Perspective*. Doctor of philosophy degree thesis, MIT.
9. Kunz J.C., Christiansen T.R., Cohen G.P., Jin Y. and Levitt R.E. (1998). «The virtual design team. A computational simulation model of project organizations that is usable and predictive for routine, project-oriented design task». *Communications of the ACM*, November, Vol. 41, pp. 84–91.
10. Levasseur R.E. (2010). «People kills: ensuring project success — a change management perspective». *Interfaces*, Vol. 40, No. 2, March — April, pp. 159–162.
11. Levitt R.E. (2004). «Computational modeling of organizations comes of age». *Computational & Mathematical Organization Theory*, Vol. 10, pp. 127–145.
12. March J.G., Simon H.A. (1993). *Organizations*. 2 ed. Cambridge: Blackwell Publishers.
13. Ortiz de Orue D.A., Taylor J.E., Chanmeka A. and Weerasooriya R. (2009). «Robust project network design». *Project Management Journal*, June, pp. 81–93.
14. Swartz S.M. (2008). «Managerial perceptions of project stability». *Project Management Journal*, December, pp. 17–32.
15. White A.S. (2010). «A control system project development model derived from system dynamics». *International Journal of Project Management*.
16. Zwikael O., Globerson Sh. (2006). «From critical success factors to critical success processes». *International Journal of Production Research*, Vol. 44, No. 17, September 1, pp. 3433–3449.