

---

---

**ИМИТАЦИОННОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ**

---

---

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВСЕДНЕВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ\***

© 2014 г. В.А. Истратов

(Москва)

Несмотря на то что планирование собственных действий играет важную роль в жизни людей при осуществлении в том числе и экономической деятельности, экономика рассматривает данный вопрос вскользь – как побочный эффект решения других задач. Однако проблема ежедневного планирования вполне заслуживает особого внимания. В настоящей работе предлагается алгоритм, имитирующий процесс составления ежедневных планов и приближенный к реальному процессу принятия решений. В заключение при помощи эксперимента с участием реальных людей оценивается адекватность алгоритма.

**Ключевые слова:** планирование, деятельность, алгоритм, поведение человека, микроэкономика.

**Классификация JEL:** D010, D030.

## 1. ВСТУПЛЕНИЕ

Традиционная экономика смотрит в будущее одним глазом через мутную призму теории ожиданий, стараясь решить одну из важнейших концептуальных проблем: как человек пытается укротить неопределенность, связанную с будущим. Одно из средств такого укрощения – составление личных планов, однодневных, недельных или даже на всю жизнь (назовем такие планы будничными, чтобы подчеркнуть, что в них учитываются любые дела, связанные с повседневной жизнью, а не только те, что связаны с профессиональной деятельностью или с исключительными событиями в жизни). И это средство остается толком неизученным. Между тем очевидно, что планы напрямую влияют на многие наши решения, в том числе и экономические: люди планируют покупки, поездки, свадьбы, выход на пенсию и т.д. Схожие методы планирования могли бы пригодиться и в организационно-производственной сфере экономики (например, при составлении расписания поездов транспорта, телевизионных трансляций, переговоров и т.п.).

При этом понятие “планирование” употребляется достаточно широко, зачастую применительно к процессам, по своей сути не имеющим отношения к планированию как таковому. Например, при описании “умных” роботов и автоматов часто пишут, что они умеют планировать (заказы необходимых вещей, например: холодильник заказывает продукты, а сборочный робот – производственные детали). Однако очень часто на деле все сводится к банальной сверке наличных запасов и расчету средних темпов расходования. В некотором формальном роде это – тоже планирование, но как оно далеко от того, что делают люди! Подмена сложных рассуждений расчетами средних показателей и трендов – далеко не редкость. И если применить такой усредняющий подход к описанию человеческого планирования, то это приведет лишь к одинаковости получающихся планов, которые не будут адаптированы к динамично меняющимся условиям среды. Иначе говоря, это приведет к выхолащиванию сути планирования.

Однако традиционная экономическая теория не интересуется будничными планами отдельных людей.

При этом результаты планирования могут оказаться гораздо интереснее, чем банальное упорядочивание действий по времени их исполнения. Одним из эффектов может стать воздержание от выполнения действия или, наоборот, выполнение действия заранее. Иными словами, влияние

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 12-06-31108).

планов может привести к выполнению действия, которое на данный момент не является самым желанным. Главное – чтобы подобные эффекты не задавались в явной форме, а вытекали из правильно определенных глубинных закономерностей поведения агента.

## 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В ходе работы над моделью поведения человека (Истратов, 2009) несколько лет назад возникла необходимость в описании процесса, который в обиходе называют планированием и которое принципиально отличается от планирования в экономике. Суть последнего заключается в составлении индикативного или нормативного плана производства, потребления или реализации товаров или услуг. Для модели требовалось планирование, при помощи которого люди организуют свои ежедневные дела, в том числе и экономические. Суть такого планирования состоит в изменении очередности выполнения действий в течение некоторого периода времени или отказе от выполнения действий с целью обеспечения возможности выполнить желаемые действия, уменьшить потери времени, исключить конфликты действий. Люди составляют планы и с иными целями, но на данном этапе разработки алгоритма от них позволительно отвлечься, чтобы излишне не усложнять задачу.

План в данном случае понимается как предполагаемый порядок выполнения действий, который может изменяться в зависимости от обстоятельств. Это не жесткий нормативный перечень, от которого агент стремится не отступать любой ценой.

Данная работа представляет собой попытку создать алгоритм, в равной степени поддающийся количественному описанию, в котором при этом отводится место субъективным человеческим факторам (желаниям, склонностям). Ведь эти субъективные факторы зачастую играют решающую роль в вопросах планирования. Также немаловажно, что алгоритм должен как можно точнее воспроизводить процесс принятия решений реальным человеком, отходя, по возможности, от излишней абстрактности и схематичности, свойственных многим направлениям в математической экономике.

При этом стоит уточнить, что для нашей задачи несущественно, насколько человек станет или будет в состоянии придерживаться намеченного плана. В конце концов, он может передумать, могут возникнуть новые обстоятельства, которые помешают выполнению плана. Важно лишь, как, исходя из имеющейся информации и текущих желаний, человек составляет и формирует план действий на будущее.

## 3. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Поиски подходящих исследований в рамках традиционных направлений наук ни к чему не привели. Можно сказать, что вопросами планирования занимаются и экономика, и психология, и информатика. Однако каждая из этих наук видит проблему по-своему, а не так, как необходимо для решения поставленной задачи.

Экономика вовсе не интересуется планированием будничной деятельности человека. Когда экономисты говорят о планах, то за редким исключением имеются в виду планы производства, распределения или потребления материальных и нематериальных благ. И все же, несмотря на такое разночтение, при разработке алгоритма планирования можно было бы отчасти опереться на методы, получившие широкое распространение в экономике, поскольку задачи, решаемые с их помощью, имеют некоторое внешнее сходство с поставленной задачей. Например на методы исследования операций (например, метод критического пути) или операционного менеджмента (в частности, из раздела “определение очередности работ” (sequencing)), который посвящен тому, как составить наилучшую последовательность выполнения работ из возникающих производственных задач (Чейз, Эквилайн, Якобе, 2004, гл. 17). Однако заимствованные методы потребовали бы серьезной доработки для применения их в отношении индивидуального планирования деятельности с учетом психологических особенностей конкретного человека.

Психологам проблема будничного планирования давно знакома и небезынтересна (например, (Дёрнер, 1997, гл. 7; Миллер, Галантер, Прибрам, 1964)), но мне не удалось найти имитационных (математических или компьютерных) моделей, чтобы на них можно было опереться при разработке искомого алгоритма или в пользу которого можно было бы вообще отказаться от разработки такового. Более того, в большинстве изученных работ предпочтение отдавалось сугубо словесному, качественному описанию проблем и их решений в ущерб количественному, формульному, алгоритмическому описанию.

Информатика (прежде всего речь идет о ее разделе под названием “искусственный интеллект” и его подразделе “диспетчеризация” (scheduling) (Рассел, Норвиг, 2006, часть IV; Brucker, 2007)) также не занимается проблемами будничного планирования событий, но ее подходы к составлению планов работ для традиционных объектов интереса (элементов вычислительных машин и программ) могли бы оказаться полезными. Однако если попытаться взглянуть на предмет чуть шире, то информатика занимается управлением, организацией неодушевленных объектов (конвейеры, процессоры, автономные роботы, потоки команд и т.п.), и, как и в случае с операционным менеджментом (с которым, кстати, у диспетчеризации много общего), подобный фундамент потребовал бы слишком значительных доработок, чтобы заложить основы искомого алгоритма.

И все-таки можно было бы использовать некоторые идеи всех трех наук и начать разработку алгоритма, если бы не оказалось более подходящей отправной точки. К счастью, удалось найти весьма близкие исследования (по сути, и методы) в междисциплинарной области знаний под названием “транспортная наука” (transportation science). Возникшая на стыке традиционных наук, она подпитывалась идеями из географии, математики, экономики, информатики, психологии, биологии. В центре ее внимания – транспортные вопросы. Но поскольку от распорядка дня зависит режим пользования транспортом, то транспортные проблемы оказываются тесно переплетенными с поведением людей, в частности с тем, как люди планируют свое время.

Ч. Бхат и Ф. Коппельман в своей обзорной работе (Bhat, Koppelman, 2003) предложили делить подходы, которыми определяется спрос на передвижение, на те, которые основаны на поездках (trip-based), и те, что основаны на деятельности (activity-based).

Поставленной задаче удовлетворял лишь подход, основанный на деятельности (в первом подходе внимание концентрировалось не на проблеме планирования), в рамках которого можно выделить два направления: составление планов на основе максимизации полезности и на основе правил (rule-based), или поведенческое направление.

Первое из названных направлений предполагает, что человек формирует свои планы действий путем максимизации функции полезности от исполняемых действий при некоторых ограничениях (например, (Root, Recker, 1981)). Однако принцип максимизации полезности противоречит идеям, заложенным в модель поведения человека, которая дала начало алгоритму планирования. Дело в том, что модель поведения человека разрабатывается исходя из предположения, что человек редко основывает свои действия на оптимизационных расчетах, а его решения зачастую возникают ситуативно под влиянием различных факторов, чью результирующую он даже не способен отследить. Тем самым его решения могут быть и неэффективными, и уж само собой неоптимальными. Названное противоречие делает первое направление неприемлемым.

Поведенческое направление предполагает, что человек приближается к окончательному варианту плана поэтапно, принимая на каждом этапе субоптимальные решения на основе экзогенных правил (Ettema, Borgers, Timmermans, 1993; Gärling, Kalen, Romanus, Selart, Vilhelmsen, 1998). Впрочем, надо заметить, что часто авторы, придерживающиеся этого направления, не отказываются от самого понятия полезности, они лишь отклоняют идею ее максимизации (Ettema, Borgers, Timmermans, 1993). И полезность при этом понимается исключительно широко.

Одно из течений в поведенческом направлении предлагает ориентироваться на человеческие потребности (Joh, Arentze, Timmermans, 2001; Märki, Charypar, Axhausen, 2011; Nijland, Arentze, Timmermans, 2012). Считается, что оно возникло в 2006 г. (Arentze, Timmermans, 2006), хотя базовая идея к тому времени уже давно обсуждалась в психологии. Особенность данного течения состоит в том, что, принимая промежуточные решения, агент ориентируется на свои текущие

потребности, которые планируемые действия и призваны удовлетворять. Подход на основе потребностей (need-based) наиболее близок поставленной нами задаче.

Попытки классифицировать модели по используемому инструментарию приводят к обширной классификации. Ибо исследователи заимствуют самые разнообразные методы из математики (методы линейного и динамического программирования, теории вероятности и проч.), статистики (методы регрессионного и корреляционного анализа), информатики (методы поиска решения вроде полного перебора, генетического алгоритма, Q-обучения и проч.) и произвольно их комбинируют.

Если говорить о четырех направлениях работ, выделенных К. Майстером (Meister, Frick, Axhausen, 2005, p. 3), то нас будет интересовать четвертое направление, к которому будет относиться предлагаемый нами алгоритм.

Перечислим эти направления:

- 1) эмпирические исследования на основе наблюдения за исполнением планов и реализации действий;
- 2) работы на основе исследований следствий из состояний (stated-response);
- 3) эконометрические оценки функций полезности и прочие попытки воспроизвести и предсказать паттерны поведения;
- 4) концептуальные и имитационные модели процессов планирования деятельности.

Однако и транспортная наука оказалась неидеальным источником. При всем при том конечная цель проводимых в ней исследований – решение транспортных проблем. Поэтому в работах по планированию неизбежно ощущается весомая транспортная составляющая. К примеру, непременной является привязка задачи к карте, искусственной или реальной: у каждого действия есть место выполнения. Большое внимание уделяется выбору транспортных средств. И привязка к карте, и выбор транспортных средств для поставленной задачи несущественны.

Во многих изученных работах используются методы поисков решений, разработанные в рамках теории искусственного интеллекта. А вместе с этими методами в модель привносятся и родовые проблемы этих методов (с точки зрения поставленной задачи). Так, нередко используются некоторые виды неполного перебора, когда агент в пространстве решений находит решение, используя различные методы сокращенного поиска, или эвристики (например, (Charupar, Nagel, 2006)). В реальной жизни в подавляющем большинстве случаев человек не прибегает к перебору для поиска решений. Гораздо вероятней, что у человека, как правило, есть несколько ключевых критериев, которые позволяют быстро отбросить непривлекательные варианты и свести разнообразие выбора лишь к нескольким альтернативам. Сложно сказать, насколько подмена алгоритмов может сказаться на результате. Вполне возможно, что существуют множества полностью взаимозаменяемых алгоритмов планирования. Но поскольку одна из главных поставленных целей – имитировать человека на компьютере в его истинном, а не улучшенном виде, то отдалиться от алгоритмов, которые он использует в естественной обстановке, не хотелось бы. Не говоря уже о том, что более объемные переборы одновременно являются и гораздо более ресурсоемкими.

Есть и другие расхождения, но, несмотря на них, планирование в транспортной науке сегодня представляется мне наиболее удачной отправной точкой для разработки алгоритма планирования.

И все же не нашлось основополагающей работы, начав с которой можно было бы взять уверенный курс на решение поставленной задачи. По видению проблемы мне представляется близким подход Т. Гэрлинга (Gärling, Kalen, Romanus et al., 1998). В разработке своего алгоритма планирования автор основывается на психологических теориях в значительно большей степени, чем на теориях поиска (почерпнутых из теории искусственного интеллекта).

На мой взгляд, путь к верному решению лежит через определение устойчивых способов поведения и принятия решений, присущих реальным людям, а не абстрактным идеальным субъектам. Однако предлагаемые способы в массе своей слишком специфичны, предназначены для решения определенных задач, представленных определенным образом. Хотелось бы, конечно, найти одинаковый для всех задач определенный класс способ, и тем более не зависящий от

формы представления задачи. По сути, и максимизация полезности, и стохастические решения, и другие упомянутые, но отклоненные методы как раз и являются такими способами. Однако их использование реальными людьми очень сомнительно или весьма маловероятно. Напомню, что основная цель разработки данного алгоритма планирования – имитация реального поведения и образа мышления человека, а не создание “правильного”, “оптимального” или “идеального” способа решения.

Наконец, перед тем как обсуждать сам алгоритм, было бы интересно узнать, какую роль играют личные планы в повседневной жизни людей. Л. Нийланд отметила в своей работе (Nijland, Arentze, Timmermans, 2012, p. 792) три исследования, в которых приводятся согласующиеся между собой данные, говорящие о том, что примерно от 20 до 45% выполняемых человеком действий планируются заранее.

#### 4. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА

Возможно, что со времен “*Kantimata*” К. Маркса возникло представление о неразрывности процессов планирования и предвосхищения будущего (в частности, предвосхищения результатов деятельности). Имеется в виду его многократно цитированное рассуждение о том, чем деятельность пчелы отличается от деятельности человека<sup>1</sup>.

И мои первые описания процесса планирования включали алгоритмы предвосхищения будущего для агентов в модели поведения человека. Однако довольно скоро стало ясно, что проблема планирования является самостоятельной, и нет необходимости рассматривать ее в привязке к проблеме предвосхищения будущего. Более того, подобное объединение создавало существенные дополнительные трудности, и поэтому было принято важное решение разделить планирование и предвосхищение. После чего усилия были сосредоточены только на планировании, т.е. на составлении плана действий, а предвосхищение потребностей и внешних обстоятельств, предвкушение исполнения и прочее были вынесены в самостоятельный алгоритм. Подобное разделение было тем более обоснованным, что результатами предвосхищения человек пользуется не только при составлении планов действий.

Еще одной ошибкой при разработке первоначальных версий алгоритма стала тяга к сложным разветвленным процедурам: многочисленные циклические перестановки действий, точечные подстройки и т.п. В естественных условиях (а ведь одна из целей – как можно достоверней описать поведение человека в момент планирования) люди крайне редко производят сложные многоэтапные вычисления без дополнительной сильной мотивации. А если мы говорим о будничном планировании, то можно с уверенностью сказать: почти никогда. Поэтому стремление к простоте, во многом созвучное видению Г. Саймона (например, (Simon, 1955)), стало одним из приоритетов в разработке алгоритма.

После ознакомления с работами на данную тему выявилась еще одна сложность: не существует единого набора данных, необходимых для решения задачи планирования. Чуть ли не в каждой работе автор предлагал свой список входных параметров для собственного алгоритма. Естественно, возникали сомнения: неужели не существует некоего минимально необходимого набора данных (предположительно – ключевых характеристик), достаточного, чтобы составить план действий? Ведь даже такие характеристики, как продолжительность действия и номер (очередность) выполнения, присутствовали не во всех работах.

В данной работе предпринимается попытка составить адекватный план на основе следующих входных данных:

- предполагаемая продолжительность действия;
- субъективная важность действия;

<sup>1</sup> “Паук совершает операции, напоминающие операции ткача, и пчела постройкой своих восковых ячеек посрамляет некоторых людей-архитекторов. Но и самый плохой архитектор от наилучшей пчелы с самого начала отличается тем, что, прежде чем строить ячейку из воска, он уже построил ее в своей голове. В конце процесса труда получается результат, который уже в начале этого процесса имелся в представлении человека, т.е. идеально” (Маркс, Энгельс, 1983, с. 170).

- желательный диапазон исполнения действия;
- допустимый диапазон исполнения действия.

Предполагаемая продолжительность действия – количество времени, которое, по мнению человека, ему потребуется для осуществления действия в полном объеме. Задается продолжительность в единицах времени в зависимости от выбранного масштаба (минуты, дни, годы и т.п.).

Субъективная важность действия представляет собой личную оценку человеком того, насколько выполнение конкретного действия значимо лично для него. Причины, стоящие за тем или иным уровнем значимости, значения не имеют. Значимость определяется дискретно: важно, очень важно, неважно и т.п. Для простоты в данном исследовании использовалась трехуровневая шкала.

**4.1. О диапазонах.** Сначала нужно было решить проблему формата данных. Похоже, что единственный способ установить минимально необходимый набор данных для решаемой задачи – метод проб и ошибок. Не существует подходящей аксиоматики и производной от нее сети теорем, как в математике. Затруднительно обратиться и к статистическим методам. Поэтому, по всей видимости, остается только предлагать варианты, строить модели и по результатам работы моделей определять, каких данных было достаточно, а каких не хватало.

После многочисленных экспериментов с формой представления и набором данных оказалось, что для составления плана очень удобно использовать три временных диапазона: горизонт планирования, желательный и допустимый диапазоны. Альтернатива была традиционной: построить функцию полезности и максимизировать ее при имеющихся ограничениях. Однако от такого подхода пришлось отказаться по двум причинам. Во-первых, он представляется мне неестественным с точки зрения того, как человек в реальной жизни решает такие задачи. А одной из главных задач разработки данного алгоритма было воспроизводство в программе именно реальных мыслительных алгоритмов. Во-вторых, использование функции полезности и подобных ей функций содержит в себе слишком большую долю произвола (в первую очередь при определении вида функции полезности). Почти невозможно надежно оправдать выбор того или иного вида функции полезности. Хотя, безусловно, вычислительная простота подхода с функцией полезности была очень соблазнительной.

Идея диапазонов кажется заманчивой по причине интуитивной ясности и благодаря относительной простоте вычислений (хотя во втором компоненте она и уступает функции полезности).

Вот что представляют собой эти диапазоны.

1. *Горизонт планирования* (ГП) – продолжительность периода, на который человек планирует свою деятельность. Его продолжительность ограничена только содержанием решаемых задач и располагаемыми вычислительными мощностями. В подавляющем большинстве изученных работ этот период задается исследователем экзогенно, хотя для таких задач, как модель поведения человека, он, безусловно, должен определяться эндогенно самим агентом.

2. *Желательный диапазон исполнения действия* (ЖД) – интервал времени или объединение несвязных интервалов, в течение которых человек хотел бы выполнить соответствующее действие. Действие должно начинаться и завершаться внутри интервала.

3. *Допустимый диапазон исполнения действия* (ДД) – интервал времен или объединение несвязных интервалов, в течение которых человек может выполнить соответствующее действие. “Может” означает здесь иметь физическую возможность и не иметь внутренних психологических ограничений. Так, например, у человека может не быть возможности сходить в магазин, потому что тот закрыт, а может не быть возможности уехать с юбилея близкого человека, потому что он никак не хочет его обижать. Действие должно начинаться и завершаться внутри интервала.

В отличие от желаемого диапазона допустимый диапазон чаще всего в том или ином виде встречается в работах, хотя в большинстве случаев он понимается гораздо уже: как физическая невозможность выполнить то или иное действие по какой-то конкретной причине.

У диапазонов в алгоритме существует своеобразная иерархия. Так, если действие не попадает в допустимый диапазон, оно не может быть исполнено вовсе (по определению допустимого диапазона), и тогда алгоритм его отбрасывает. Но если действие не попадает в желаемый диапазон, оно все еще может быть выполнено. Например, если человек хочет отмечать Новый год в середине мая, то он либо все равно будет отмечать его первого января, либо не будет отмечать вовсе. Подобная иерархия имеет значение с точки зрения психологической отдачи от исполнения действия. Очевидно, действие, выполненное в желаемом диапазоне, приносит больше удовлетворения, чем такое же действие, но выполненное за пределами этого диапазона.

Каждый из трех диапазонов задается точками начала и окончания интервала (или несколькими начальными и финальными точками, если диапазон представляет собой объединение интервалов) на временной шкале, в масштабе, подобранном для конкретной задачи. Например, 14 марта 2013 – 14 апреля 2014 или 15:30 – 16:10.

С точки зрения понимания человека, интересней всего, как человек переводит свои знания и представления во временные диапазоны. Одновременно это является и наиболее тонким местом при переходе от предлагаемого алгоритма планирования к модели поведения человека. Однако данный вопрос лежит за границами тематики настоящей статьи. Здесь я сосредоточусь лишь на самом алгоритме планирования, а то, как возникают эти диапазоны – предварительно рассчитываются программой или сообщаются живыми людьми, – для нас сейчас непринципиально.

Предложенные диапазоны оказываются удобными и для процедуры согласования разных планов, например, когда несколько человек собираются совместно выполнить одно действие. Тогда желательный (допустимый) диапазон группы людей будет равняться пересечению всех желательных (допустимых) диапазонов членов группы. Если же общего для всех пересечения не найдется, то скорее всего для обобщенного решения достаточно будет ввести иерархию членов группы; и тогда диапазоны менее важных ее членов будут учитываться в меньшей степени вплоть до исключения их из выполнения действия. Другое дело, что может потребоваться предварительный пересмотр самих желательных (в частности, возможно частичное или полное объединение желательных отдельных членов группы с диапазонами других членов группы) или допустимых (поскольку, например, внутренние ограничения, формирующие допустимый диапазон одних членов группы, могут быть ослаблены другими участниками группы) диапазонов для членов группы. Но предлагаемый алгоритм оперирует уже сформированными диапазонами, а подробное обсуждение процесса формирования диапазонов выходит за рамки настоящей статьи. Кроме того, возможны вариации процесса поиска пересечений: от мгновенного до постепенного (имитирующего поэтапные переговоры). Но эта тема также лежит за рамками данной статьи.

**4.2. Алгоритм.** В самом начале описания хотелось бы ввести понятие “зазор”. Оно не содержит ничего нового, но значительно упрощает изложение ряда вопросов. Зазор – промежуток времени в плане между окончанием одного действия и началом следующего; либо между началом (окончанием) первого (последнего) действия и границей горизонта планирования. Зазор может принимать значения от нуля до величины всего горизонта планирования ( $[0; ГП]$ ).

В общем виде алгоритм планирования выглядит следующим образом (рис. 1).

Набор действий, которые способен выполнить агент, задан изначально и не расширяется в ходе работы алгоритма. Первым делом агент распределяет действия по степени значимости, которую они представляют лично для него. Поскольку значимость измеряется не непрерывной шкалой, а дискретной, то велика вероятность, что в случае большого числа действий к одной категории значимости будет относиться более одного действия. Если это происходит, то внутри одной

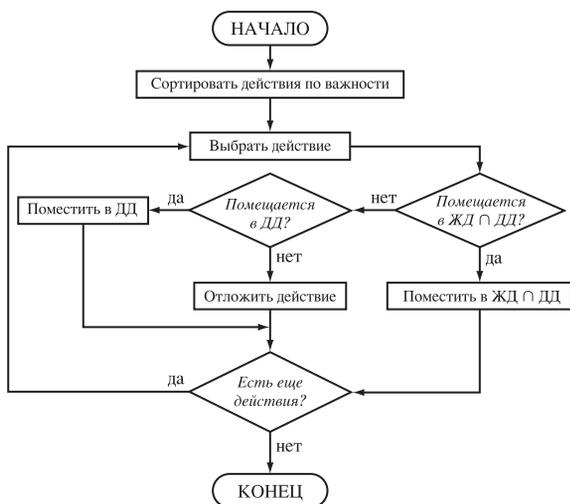


Рис. 1. Блок-схема работы алгоритма планирования

категории действия считаются равнозначными для агента, т.е. он не может определить, какое из них важнее. Тогда он должен переходить ко второстепенным факторам для решения возможных конфликтов между действиями (второстепенные факторы во множестве представлены в модели поведения человека, но для простоты исключены из данного алгоритма – ввести их не представляет большого труда).

В предлагаемом алгоритме планирования параметр значимости действия играет существенную роль (хотя аналогичный параметр встречается не во всех работах). Благодаря ему вводится очередность исполнения процедур и решается потенциальная проблема излишних повторов и бесконечных циклов, когда действия могут выводиться из плана, затем снова в него вносятся, а потом опять вычеркиваться. Поскольку в реальной жизни здоровые люди с проблемой заикливания не сталкиваются, то необходимо было решать ее на уровне алгоритма наиболее естественным способом (избегая искусственных методов, вроде экзогенных ограничений на число повторов и т.п.).

После сортировки агент выбирает наиболее важное действие или одно из наиболее важных действий, если таковых несколько. В случае нескольких равнозначных действий агент выбирает одно из них случайным образом.

Выбрав действие, агент проверяет, можно ли внести его в план. Чтобы действие можно было внести в план, нужно, чтобы в плане нашлось достаточно места. При этом уже внесенное в план действие может быть вытеснено из плана только равным по значимости или более важным действием. Менее важные действия не могут вытеснять более важные действия из плана. Что касается вытеснения более важным действием, то такая ситуация возможна только при перестройке уже готового плана, поскольку процедура первоначального составления плана организована таким образом, что сначала в него вносятся наиболее важные действия.

При этом агент соблюдает приоритет: сначала он пытается уместить действие в пересечение желаемого (ЖД) и допустимого (ДД) диапазонов – тем самым он пытается запланировать действие не только на возможное, но и на удобное время. Затем, если пересечение оказывается недостаточным по продолжительности (чтобы вместить действие), то агент ориентируется только на ДД. Если же действие не умещается и в ДД, то оно исключается из рассмотрения.

Покончив с одним действием, агент переходит к следующему по значимости, и так – пока не распланирует все действия.

Рассмотрим, как агент определяет, помещается ли действие в план или нет. Общая логика такова: человек пытается решить поставленную задачу по возможности наиболее простыми способами и, по мере того как они оказываются неудовлетворительными, переходит к всё более и более сложным способам (имеется в виду простота для человека, а не для компьютера, поскольку многие элементарные задачи с трудом решаются на компьютере, и наоборот). Приводится укрупненная схема, чтобы передать содержательную сторону алгоритма, избавив ее от технических деталей.

Как следует из схемы на рис. 2, при определении того, есть ли место в плане для нового действия, агент сначала проверяет план на наличие свободных промежутков времени, подходящих по продолжительности, ничего в плане не меняя (здесь и в дальнейшем в поисках искомого промежутка алгоритм перебирает последовательно все зазоры). Это – имитация первого этапа работы с планом, когда человек окидывает взглядом свой



Рис. 2. Блок-схема процедуры определения возможности внесения действия в план

распорядок дня (мысленно или в еженедельнике). Смысл этого этапа прост: если найдется достаточно места, то не понадобится прибегать к сложным расчетам и можно будет обойтись малыми усилиями. Этапы же выстроены по степени усложнения расчетов. При обнаружении удовлетворительного зазора алгоритм тут же завершает работу, выводя в качестве результата адрес найденного зазора в плане.

Если в плане не находится места, то агент пытается втиснуть действие между уже внесенными в план, раздвигая их в стороны (поскольку в алгоритме рассматривается линейный ход времени, то возможно не более двух ограничивающих действий для каждого интервала времени). На данном этапе происходит только сдвиг действий. Иными словами, агент смотрит, можно ли изменить начало выполнения ограничивающих действий (запланировать их выполнение на более раннее или более позднее время), но без изменения порядка выполнений действий в плане. Возможность сдвига проверяется последовательно: сначала смещается одно ограничивающее действие, а затем, если освободившегося места недостаточно, – второе ограничивающее действие. Этот этап видится логическим продолжением предыдущего: для человека с развитым визуальным мышлением легко представить серию последовательных сдвигов действий и итоговое высвобождение места в плане, чего не скажешь о компьютере. При обнаружении подходящего зазора алгоритм прекращает работу.

Если, изучив план, агент видит, что просто раздвинуть действия недостаточно, он пробует высвободить место за счет перестановки действий, т.е. изменяя очередность выполнения действий в плане. При этом он использует исходный вариант плана, а не тот, что остался после расчетов предыдущего этапа. Действие может переноситься только внутри своего ДД или пересечения “своих” ДД и ЖД. Данный алгоритм пока не предусматривает вытеснения действий из плана, поскольку равнозначные действия (как они были определены выше) вытесняют друг друга: выигрыша все равно не будет. Поэтому действие может оказаться не внесенным в план, но если уж оно внесено в план, то не может быть из плана вытеснено.

Для перестановки агент снова перебирает все допустимые зазоры в исследуемом диапазоне до тех пор, пока не найдет удовлетворительный или не исчерпает горизонта планирования. Аналогично тому, как он поступал со сдвигом действий, агент сначала проверяет возможность переноса действия, составляющего одну границу зазора, затем, если потребуется, другую и т.д. Если обнаруживается удовлетворительный зазор, то алгоритм останавливается.

И, наконец, если предыдущие этапы не дали решения, то агент, подобно человеку, начинает комбинировать сдвиги действий в плане без изменения порядка их выполнения с изменением порядка.

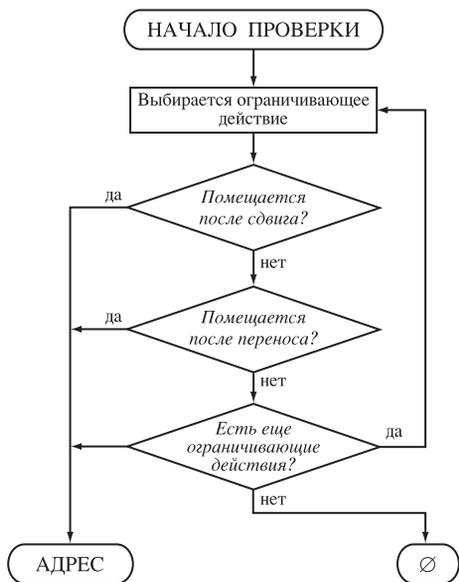


Рис. 3. Блок-схема процедуры смешанного поиска

Как видно на рис. 3, сдвиг и перенос действий в плане происходит следующим образом. Агент, выбрав зазор, пробует сдвинуть одно из двух возможных ограничивающих действий. Если сдвиг не дает достаточного выигрыша, чтобы внести в план новое действие, агент пытается это же самое действие перенести в другую часть плана (в другой зазор). Если и после переноса не хватает места, чтобы внести новое действие, то агент начинает процедуру сдвига-переноса сначала, но уже с новыми ограничивающими действиями (после переноса действия зазор может оказаться ограниченным другим действием с той же стороны). Напомню, что для избегания бесконечных циклов агент не производит манипуляций с действиями, если те не дают выигрыша (т.е. не расширяют целевой зазор).

Вообще говоря, переносимое действие может быть внесено в любое подходящее (т.е. удовлетворяющее всем ограничениям диапазонов и не меньшее продолжительности действия) место плана, если их будет несколько. При этом возможны ситуации, когда переносимое действие вытесняет другое и то, смещаясь, занимает часть места,

предназначавшегося для нового (рис. 4). (На рис. 4 прямоугольники обозначают действия на оси времени; стрелки указывают на направления переноса и сдвига действий; прямоугольники с диагональной штриховкой – неперемещаемые действия; затемненный прямоугольник с пунктирным контуром – новое положение вытесненного действия; фигурная скобка отмечает целевой диапазон после вытеснения.) В этих случаях программа проводит проверку, что больше: выигрыш от переноса или проигрыш от смещения, – и если выигрыш не превосходит проигрыша, то перенос не производится, даже если он в принципе возможен (под выигрышем и проигрышем имеется в виду соответственно увеличение и уменьшение целевого зазора).

Если же и комбинация сдвигов-переносов не обнаружила подходящего зазора, то результатом становится пустое множество, а в противном случае – адрес зазора в плане, куда можно внести новое действие.

При такой схеме возможна ситуация, когда в готовый план добавляется действие с высокой важностью, которое может вытеснить менее важное действие из плана. Решить ее можно пока что только создав план с нуля с учетом появления нового действия (тогда проблема будет решена сама собой в ходе начальной сортировки по важности).

Очевидно, что представленная схема в большинстве сложных задач будет проигрывать алгоритму, основанному на максимизации функции полезности, и по быстрдействию, и по потреблению вычислительных ресурсов. Однако повторю – это сознательная жертва.

Несколько слов хотелось бы сказать о методе определения достаточности места (рис. 5). Он предельно прост, но именно на нем и хотелось бы заострить внимание: являясь базовым кирпичиком алгоритма планирования, метод максимально упрощен и прозрачен (в соответствии с тем представлением, что сложность должна возникать главным образом из взаимосвязей и взаимодействий между базовыми элементами, а не из сложности самих базовых элементов).

Как следует из схемы, агент сначала находит зазор. Делает он это путем последовательного перебора всех зазоров с учетом ограничений, накладываемых всеми тремя диапазонами. Впрочем, число этапов перебора может быть ограничено экзогенно в целях экономии времени или повышения реалистичности процедуры вычислений.

Затем агент определяет эффективные границы зазора. По определению, зазор формируется двумя действиями или действием и границей ГП. Но фактически зазор может быть уменьшен за счет границ диапазонов (желательного и допустимого) соответствующего действия, если такие границы принадлежат зазору. Эффективная граница как раз и учитывает не только границы действий, но и границы диапазонов.

Имея, наконец, две границы, формирующие зазор, агент рассчитывает величину зазора в единицах времени.

На завершающем шаге агент сравнивает величину зазора с продолжительностью действия. Если величина зазора больше или равна продолжительности действия, то делается заключение о том, что места для действия в плане достаточно.

Очевидно, что предлагаемый в настоящей работе алгоритм неоптимален с точки зрения программирования (расхода машинных ресурсов и времени исполнения). Однако задача состояла в том, чтобы описать поведение реальных людей как можно ближе к действительности. И, по моим наблюдениям, приблизительно так они и поступают. По всей вероятности, исход планирования будет гораздо эффективнее, если человек сначала окинет взглядом план своих действий и оценит его без каких-либо манипуляций:

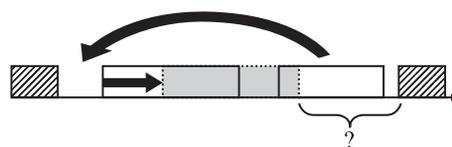


Рис. 4. Возможное вытеснение действия в целевой зазор при переносе

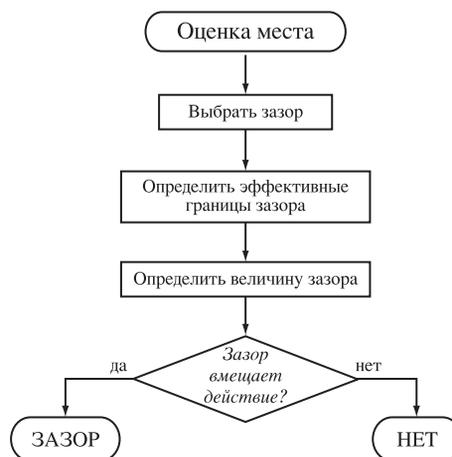


Рис. 5. Блок-схема процедуры определения достаточности зазора

есть ли в плане свободные места. И лишь не найдя их, приступит к сдвигам (и сначала – только к ним – как к наиболее простым манипуляциям) и переносам уже внесенных в план действий. Тогда как машины эффективней обрабатывают последовательно каждое возможное место расположения нового действия, сразу проверяя и наличие достаточного места и проводя все необходимые манипуляции.

## 5. ЭКСПЕРИМЕНТ<sup>2</sup>

Алгоритм был реализован в виде компьютерной программы на языке Java.

Для проверки адекватности предложенного алгоритма было проведено исследование действий 11 добровольцев. Столь малое число испытуемых объясняется тем, что это – первая проверка, призванная выявить серьезные расхождения результатов работы предлагаемого алгоритма и реальных людей. Кроме того, в силу особой специфичности задачи необходимо было быть уверенным, что испытуемые ответственно к заданию, а не ограничатся отписками. Без тщательного отбора испытуемых (и как следствие – небольшого их числа) такая уверенность была бы невозможна. Ход исследования показал оправданность такой меры, поскольку большинству участников потребовались довольно обстоятельные разъяснения сути используемых понятий и допустимости различных форм ответов. Возраст испытуемых варьировал от 27 до 76 лет. Мужчины составили 45% всех испытуемых. Все испытуемые – люди с высшим образованием, проживающие в крупном городе.

Испытуемым предлагалось составить собственный план личных действий на любой будущий период (в качестве примера предлагался план на один день) в свободной форме. Однако в качестве примера предлагалась также таблица с гипотетическим планом, поскольку запрашиваемые данные были нетривиальными. Забегая вперед, отмечу, что все ответившие испытуемые придерживались формата из примера. В инструкции испытуемых просили, чтобы в плане было не менее 5–10 действий. При этом действия могли быть любыми, никаких специальных ограничений не выдвигалось.

По каждому действию, которое фигурировало в плане, у испытуемых запрашивалась следующая информация:

1) название действия (любой идентификатор, чтобы можно было отличить одно действие от другого);

2) желательный диапазон выполнения действия;

3) допустимый диапазон выполнения действия;

4) субъективная значимость действия для испытуемого;

5) предположительная продолжительность действия;

6) время планируемого начала действия.

Таким образом, мы обошлись тем минимальным количеством исходной информации, которое было указано ранее. Название действия нужно было для удобства, а п. 6 – для сопоставления реального плана с полученным на компьютере.

На основе полученных от испытуемого данных программа составляла план, который сравнивался с планом, составленным самим испытуемым.

Задача сравнения планов также оказалась неэлементарной. В большинстве рассмотренных работ использовались функции полезности действий, и это позволяло авторам легко сравнивать планы по уровню полезности. Поэтому для сравнения планов я использовал двойной критерий. Во-первых, набор действий, во-вторых, их последовательность. Таким образом, планы считались полностью совпадающими, если они включали одни и те же действия, расставленные в одной и той же последовательности.

---

<sup>2</sup> За помощь с программной реализацией алгоритма я благодарю М.С. Дзыбу.

Последовательность действий сравнивалась с точностью до незначимых смещений. Незначимое смещение – это расхождение во времени начала/завершения действия, обусловленное случайными факторами и не влияющее на результат исполнения действия и плана в целом. Например, если человек может и хочет выполнить пятнадцатиминутное действие с двух до трех часов, то не важно, будет ли он его выполнять с 14:00 до 14:15 или с 14:45 до 15:00. При этом формально порядок действий в плане окажется разным, если на промежуток с 14:15 до 14:45 будет запланировано еще одно действие.

Если описание действия не совпадало с требованиями, изложенными в инструкции, или было логически несогласованно (к примеру, когда время запланированного начала действия не входило в допустимый диапазон), то оно исключалось из рассмотрения, если недочеты не удавалось устранить путем соответствующих объяснений испытуемому. Большинство недочетов были связаны с невнимательностью испытуемых при ответах.

В одном из планов испытуемый указал два альтернативных действия: одно происходит всегда, а второе может произойти только вместо первого. Поскольку обработка альтернативных действий в нынешней версии алгоритма не предусмотрена, то второе действие было исключено из рассмотрения еще до начала расчетов.

В том же плане продолжительность некоторых действий была задана временным диапазоном (а не одним числом, как предполагалось). В этом случае было взято либо среднее значение указанного диапазона, либо значение длины желательного диапазона (когда в желательной диапазон попадало только наименьшее значение продолжительности действия).

**5.1. Результаты.** Из 11 испытуемых только одна не смогла составить план вовсе, сославшись на то, что предложенный способ формирования плана кардинально противоречит тому, которым она пользуется в обыденной жизни. Подобный отказ может объясняться как недостаточной углубленностью алгоритма (действительно, в дальнейшем я намереваюсь внести в алгоритм изменения, позволяющие учитывать более сложные взаимосвязи между действиями, к чему и апеллировала испытуемая), так и неосознанностью некоторых процессов принятия решения, протекающих целиком в подсознании и с трудом извлекаемых в сознание.

Из 10 составленных планов все 10 совпали, что можно считать успехом. Число действий в планах (после исключений) составило от 5 до 11 (среднее число – 8,1 действия в плане).

Масштаб времени (горизонт планирования) не ограничивался, однако все представленные планы действий были составлены на один день. Возможно, это – следствие примера, предложенного испытуемым в инструкции к эксперименту.

Следует отметить, что планы испытуемых не представляли сложностей с вычислительной точки зрения (алгоритм задумывался для гораздо более интенсивных расчетов). Однако ценность этого эксперимента заключалась именно в том, что для оценки были взяты реальные планы реальных людей. А это означает, что даже такой несовершенный алгоритм способен имитировать реально протекающие в сознании процессы.

Многие испытуемые при ответах отмечали разной степени сложности, что говорит о неочевидности и нетривиальности набора и формы предоставления данных. Это, в свою очередь, может быть воспринято как положительно (предложен небанальный алгоритм), так и отрицательно (цель максимально близкой имитации процессов мышления, возможно, не достигнута, а возможно, дело в том, что часть процессов, описанных в алгоритме, таких как формирование диапазонов, происходит в подсознании незаметно; причина может заключаться и в неудачно составленной инструкции).

Было сделано еще одно незначительное наблюдение, подтверждающее многочисленные исследования о роли рутин и привычек в жизни людей. А именно: многие испытуемые сужали желательный диапазон до времени привычного исполнения действия. Хотя, после того как на это было обращено внимание, некоторые расширяли свои желательные диапазоны. Это лишнее свидетельство о нерациональности поведения человека.

Интересный эффект был замечен в одном из планов, когда испытуемая указывала желательный диапазон меньше продолжительности действия. Иными словами, отдавая себе отчет в том, что выполнение действия занимает в подавляющем большинстве случаев одно и то же время, она, тем не менее, хотела выполнить его за меньший промежуток времени. Тем самым проявлялась воспитательная, корректирующая функция плана. Хотя, учитывая, что все-таки в большинстве случаев сокращения действия не происходит (по признанию самой испытуемой), такой подход легко может приводить к неудобным или вовсе не исполнимым планам. Подобные обнаруженные несоответствия приводились в норму путем сокращения предполагаемой продолжительности действия до значения длины желательного диапазона. Ведь по сути именно это испытуемая и делала, она планировала действия, исходя из их меньшей продолжительности (хотя в ответном листе указывала иную продолжительность).

Также надо добавить, что впечатляющие результаты, когда начала действий совпадали до минуты, во многом объясняются заложенным в алгоритме неявным предположением, что, если у человека есть выбор, когда выполнять действие, он постарается выполнить его как можно раньше. Очевидно, что так поступают далеко не все люди: многие, наоборот, тянут до последнего. Но для нашей выборки испытуемых это предположение оказалось приемлемым.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный алгоритм позволяет моделировать процесс принятия решений относительно того, когда и какое действие лучше выполнять, или, другими словами, – процесс составления плана действий. Алгоритм пытается как можно точнее воспроизвести реальный процесс принятия человеком решений.

Первая, достаточно грубая, проверка показала, что алгоритм, тем не менее, способен приводить к адекватным результатам. Планы, составленные с его помощью, не отличались от планов, составленных реальными людьми.

При этом ясно, что алгоритм нуждается как в более суровой практической проверке, так и в дополнении. Весьма оправданным выглядит добавление в алгоритм возможности связывать действия в цепочки: когда исполнение одного действия зависит от исполнения другого; возможности прерывания и возобновления действий с учетом последствий такого прерывания; более четко прописанной возможности подстраховки на случай срыва плана (сейчас такая возможность неявно спрятана внутри других процедур) и ряда других важных улучшений. Не исключено, что в будущем придется добавить пятый минимально необходимый входной параметр для преодоления некоторых трудностей комбинирования действий.

Что касается более суровой проверки, то это – отдельная проблема. Стандартных методов проверки адекватности таких алгоритмов не существует, поэтому, помимо сугубо организационных сложностей, придется столкнуться и с трудностями разработки процедуры проверки. Возможно, что и дальше придется идти на компромиссы, понижая надежность проверки в пользу ее осуществимости.

Однако уже сейчас алгоритм планирования деятельности представляет интерес хотя бы ввиду наличия заметных пробелов в области планирования будничной деятельности. Даже если последующие исследования выявят незначительную применимость алгоритма, он послужит отправной точкой при разработке более совершенных алгоритмов, приближающих нас к пониманию того, каким образом в голове человека созревают решения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Дёрнер Д. (1997). *Логика неудачи*. М.: Смысл.

Истратов В.А. (2009). Агентно-ориентированная модель поведения человека: не в деньгах счастье? // *Экономика и мат. методы*. Т. 45. № 1. С. 129–140.

- Маркс К.** (1983). Капитал. Критика политической экономии. Т. I. М.: Издательство политической литературы.
- Миллер Дж., Галантер Е., Прибрам К.** (1964). Планы и структуры поведения. М.: Прогресс.
- Рассел С., Норвиг П.** (2006). Искусственный интеллект: современный подход. М.: Издательский дом "Вильямс".
- Чейз Р.Б., Эквилайн Н.Дж., Якобе Р.Ф.** (2004). Производственный и операционный менеджмент. М.: Издательский дом "Вильямс".
- Arentze T.A., Timmermans H.J.P.** (2006). A New Theory of Dynamic Activity Generation. In: "85th Annual Meeting of the Transportation Research Board". Washington. January.
- Bhat C.R., Koppelman F.S.** (2003). Activity-Based Modeling of Travel Demand. In: "Handbook of Transportation Science". Chapter 3. R.W. Hall (ed.). Boston: Kluwer Academic Publishers. Vol. IX. P. 39–65.
- Brucker P.** (2007). Scheduling Algorithms. Berlin: Springer.
- Charypar D., Nagel K.** (2006). Q-Learning for Flexible Learning of Daily Activity Plans // *Transportation Research Record*. No. 1935. P. 163–169.
- Ettema D., Borgers A., Timmermans H.** (1993). Simulation Model of Activity Scheduling Behavior // *Transportation Research Record*. No. 1413. P. 1–11.
- Gärling T., Kalen H., Romanus J., Selart M., Vilhelmson B.** (1998). Computer Simulation of Household Activity Scheduling // *Environment and Planning A*. Vol. 30 (4). P. 665–679.
- Joh C.-H., Arentze T.A., Timmermans H.J.P.** (2001). Understanding Activity Scheduling and Rescheduling Behavior: Theory and Numerical Illustration // *GeoJournal*. Vol. 53. No. 4. P. 359–371.
- Märki F., Charypar D., Axhausen K.W.** (2011). Continuous Activity Planning for a Continuous Traffic Simulation // *Transportation Research Record*. No. 2230. P. 29–37.
- Meister K., Frick M., Axhausen K.W.** (2005). Generating Daily Activity Schedules for Households Using Genetic Algorithms. In: *5th Swiss Transport Research Conference*. 9–11 Mar. Monte Verita: Ascona.
- Nijland L., Arentze T., Timmermans H.** (2012). Incorporating Planned Activities and Events in a Dynamic Multi-Day Activity Agenda Generator // *Transportation*. Vol. 39. P. 791–806.
- Root G.S., Recker W.W.** (1981). Toward a Dynamic Model of Individual Activity Pattern Formulation. In: "Recent Advances in Travel Demand Analysis". S. Carpenter and P. Jones (eds.). Gower. P. 371–382.
- Simon H.** (1955). A behavioral Model of Rational Choice // *The Quarterly Journal of Economics*. Vol. 69. No. 1. P. 99–118.

Поступила в редакцию  
21.01.2014

## Modeling Daily Scheduling

V.A. Istratov

Despite the important role that activity scheduling, economic activities included, plays in people's lives economists barely notice it behind side effects of solving the other problems. However the daily activity planning problem deserves attention by its own. The article introduces an algorithm that simulates the process of daily plan-making. The algorithm mirrors people's real-life decision making routine. Algorithm's adequacy is tested compared to the real people decisions.

**Keywords:** scheduling, activity, algorithm, human behavior, microeconomics.

**JEL Classification:** D010, D030.