

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» (НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ, НГУ)

Гуманитарный институт

Кафедра фундаментальной и прикладной лингвистики

Направление подготовки 45.03.03 – Фундаментальная и прикладная
лингвистика

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Захарова Полина Ивановна

Тема работы:

**Представление процессов, описываемых на естественном языке, в
терминах семантики временных логик**

«К защите допущена»

Зав. кафедрой,
д.филол.н.

Тимофеева М.К. / _____

« » _____ 2020 г.

Научный руководитель

Канд. физ.- мат. наук.

Стукачева М.В. / _____

« » _____ 2020 г.

Новосибирск, 2020

Оглавление

Введение	3
Актуальность и новизна исследования	3
Объект исследования	3
Предмет исследования	3
Цель исследования.....	4
Задачи исследования	4
Теоретико-методологическая база исследования	4
Результаты и выводы	5
Глава 1. Обзор литературы	7
История возникновения временных логик	7
Временные рассуждения от античности до наших дней.....	7
Временные примитивы.....	9
Точки и интервалы.....	9
Глава 2. Виды временных логик.....	13
Интервальные временные логики	13
Временная логика Аллена	13
CTL - логика ветвящегося времени.....	17
Динамическая логика.....	17
Глава 3. Интервальная динамическая логика (ИДЛ)	18
Глава 4. Использование интервальной динамической логики (ИДЛ) при формализации факторов ценообразования, сформулированных на естественном языке.....	23
Визуальное представление факторов.....	28
Выводы	42
Литература	43

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и новизна исследования

Одной из областей исследований прикладной лингвистики является анализ текстов на естественном языке и его формализация различными математическими методами, в частности методами математической логики. Потребность в обращении к неклассическим логикам возникает тогда, когда появляется необходимость изучения явлений окружающего мира, которые уже не могут быть описаны в рамках классической логики. Например, временные отношения, которые требуют описания и формализации временных интервалов, в которых возникают определенные факторы, находящиеся друг с другом в определенных отношениях.

Временная логика является неким формализмом в прояснении философских вопросов о времени, в качестве основы для определения семантики временных выражений в естественном языке, в качестве инструмента формального анализа.

В данной работе средствами интервальной динамической логики проводится изучение факторов, влияющих на ценообразование авиабилетов, суть которых описана на естественном языке. Анализ научной литературы показал, что использование интервальной динамической логики в подобных исследованиях ранее не проводилось.

Объект исследования

Объектом исследования является синтаксис и семантика интервальной динамической логики и ее приложения.

Предмет исследования

Предметом исследования являются выразительные возможности интервальной динамической логики (ИДЛ) при формализации процессов, описываемых на естественном языке.

Цель исследования

Целью данной работы является исследование возможности приложения методов временных логик в представлении процессов, описываемых на естественном языке, на примере анализа факторов ценообразования авиабилетов.

Задачи исследования

1. Провести анализ результатов исследований, касающихся временных логик, в доступных литературных источниках.

2. На основе обзора литературы определить спектр временных логик, которые могли бы быть использованы в таком исследовании.

3. С помощью методов интервальной динамической логики (ИДЛ), которая является расширением интервальной временной логики Аллена (AL), проанализировать временные интервалы, определяемые факторами, влияющими на ценообразование авиабилетов и описанными на естественном языке (осуществить поиск факторов и последующий анализ формул, возникающих на заданных временных интервалах с 2014 года по 2018 год).

Теоретико-методологическая база исследования

Теоретико-методологическая база определяется поставленными целями и задачами. В основе лежат логические методы семантического анализа и формализации. Семантический анализ является исследованием знаковых выражений в соответствии с их содержанием. В логике семантический анализ обычно следует за синтаксическим, целью которого является проверка правильности построения знакового выражения.

Результаты и выводы

В процессе работы был проведен анализ научной литературы и сделан обзор литературных источников по таким ключевым темам, как временная логика и семантика временных логик.

Кроме того, в ходе изучения методов различных временных логик для дальнейшей работы была выбрана интервальная динамическая логика (ИДЛ) из-за наибольшей выразительности среди других, рассмотренных в ходе работы, временных логик.

После консультации с экономистами, в качестве материала для прикладной части исследования были выбраны факторы, влияющие на ценообразование авиабилетов, так как их распределение на временной оси и визуализация оказались наиболее естественными для исследования.

При анализе факторов, влияющих на ценообразование авиабилетов, были составлены три таблицы:

- 1) таблица, в которой отображены факторы, возникающие с 2014 года по 2018 год; их продолжительность; информационные источники;
- 2) таблица, в которой отображено соотношение каждого фактора и его дальнейшее обозначение при построении формул;
- 3) сводная таблица, в которой отражены факторы, распределенные по годам, их продолжительность и соответствующее обозначение.

После анализа таблиц были сделаны графические интерпретации ситуаций по каждому году (с 2014 по 2018), с указанием факторов и учетом их продолжительности в определенных временных интервалах.

Далее по каждому году с помощью формул с временными операторами были выписаны интервалы, характерные моментам появления тех или иных факторов, и записана итоговая формула, учитывающая факторы и последовательность их возникновения. Каждая формула была

преобразована и упрощена при помощи аксиом классической логики и дополнительных аксиом ИДЛ.

Такой синтаксический анализ каждой итоговой формулы дает возможность утверждать, что исследование степени влияния некоторых общих факторов на ценообразование в разные годы не является полным без участия в построении числовых подформул. Таким образом, следующий этап исследования должен состоять в построении формул, сочетающих как логические, так и числовые части, причем числовые характеристики должны определяться статистически выявленной степенью значимости факторов.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

История возникновения временных логик

Термин «временная логика» широко используется для охвата всех подходов к представлению и рассуждению о времени и временной информации в рамках логической структуры, а также относится к модально-логическому типу подхода, введенного приблизительно в 1960 году Артуром Прайором¹ под названием «tense logic» и в дальнейшем рассматриваемого многими логиками.

Применение временной логики включает ее использование в качестве формализма для прояснения философских вопросов о времени, в качестве основы для определения семантики временных выражений в естественном языке, в качестве инструмента для формального анализа и проверки выполнения компьютерных программ и систем [1].

Временные рассуждения от античности до наших дней

Обсуждение темпоральности и рассуждения о времени восходят к античности, и примеры можно найти даже в Библии. Некоторые из парадоксальных аргументов Зенона² касаются природы времени и вопроса о бесконечной делимости временных интервалов.

Философская дискуссия о темпоральности, истине, детерминизме и их взаимосвязи продолжалась в Средние века. Вильгельм Оккамский утверждал,

¹ Артур Норман Приор - известный логик и философ. Им была основана временная логика, а также был внесен важный вклад в интенциональную логику.

² Зенон Элейский – древнегреческий философ. Его наиболее известные апории о движении: Дихотомия, Ахилл и черепаха, Стрела и Стадий (Движущиеся тела).

что суждения о случайном будущем не могут быть известны людям как истинные или ложные, но у людей все еще есть некоторая свобода выбора среди различных возможных будущих. Тем самым философ развивал идею будущей ветвящейся модели времени со многими возможными временными линиями (историями), истинность предложений, релятивизируемых к возможной фактической истории; эту модель времени теперь часто называют *оккамистской*. Позднее несколько философов и логиков, в том числе Ч. С. Пирс³, подняли и проанализировали проблемы, связанные с временем, исторической необходимостью, свободой воли и т. д., предлагая различные решения.

С начала 1950-х годов Артур Прайор приступил к анализу и формализации таких аргументов, что привело его, в частности, к определению формальной временной логики. основополагающая работа Прайора положила начало современной эпохе временного логического рассуждения с многочисленными важными приложениями не только к философии, но и к информатике, искусственному интеллекту и лингвистике.

Время - это не только философское, но и фундаментальное физическое понятие, и как таковое оно изучалось и анализировалось на протяжении всей истории науки. Ранние физические теории, завершающиеся классической механикой Ньютона, предполагают абсолютное понятие времени, независимое от пространства, материи и всех других фундаментальных физических понятий. В противовес этому Лейбниц отстаивал реляционный взгляд, согласно которому время зависит от процессов и событий, но такой взгляд не нашел выражения в физике до релятивистских взглядов начала 20-го века, которые поставили время в математически связанное отношение с пространством, с материей и теорией относительности Эйнштейна [1].

³ Чарльз Сандерс Пирс — американский философ, логик, математик.

Онтологическая природа⁴ и свойства времени являются фундаментальными философскими вопросами. Различные альтернативы по нескольким измерениям обсуждались с древности, и выбор между этими альтернативами имеет решающее значение для философского дискурса о природе времени; является ли время, например, дискретным или непрерывным; мгновенным или интервальным; ограниченным или неограниченным; детерминированным или нет; линейным или ветвящимся; круговым и т. д. [1].

Временные примитивы

Для формализации определенного временного контекста требуются временные примитивы, то есть некоторые элементы структуры времени, с которыми истинность или ложность временных высказываний может быть ассоциирована. Важно отметить, что на основе временных примитивов возможно получить временные сущности, которые являются синтаксически более сложными в данной теории. За временные примитивы берутся точки, интервалы (иначе периоды), либо точки и интервалы вместе [2].

Точки и интервалы

Представление о времени как о множестве временных точек имеет историческое обоснование и может быть прослежено, например, в апориях Зенона. В современной логике точечно-ориентированные семантики начали появляться примерно в 60-70-х годах в ситуационных исчислениях, при этом и на данный момент они продолжают развиваться.

Когда речь идет о примитивах в системах представления временной информации, важно не смешивать примитив как синтаксическую основу для

⁴ Онтология — это учение о бытии, выступающее в системе философии одним из базисных её компонентов.

конструирования более сложных объектов (к примеру, для построения интервалов из точек) и примитив как основной элемент временной структуры, на котором свое истинностное значение получают формулы.

Подход Маккарти⁵ и Хэйса⁶ заключается в рассмотрении ситуации как «взятого в определенном ракурсе и дающем исчерпывающее представление состоянии мира на данный момент, мгновенный «фотоснимок» действительности». Временным примитивом при таком подходе — как в синтаксическом, так и в семантическом отношении — является точка. Данное направление является прикладным и не может претендовать на философски адекватное представление действительности, поскольку любое, сколь угодно короткое событие имеет ненулевую длину, а высказывания о событиях могут быть истинными лишь на интервалах, но не на точках. Существуют другие определения, в которых ситуация является временным интервалом между изменяющимися мир действиями. В связи с чем, необходимо введение временных интервалов, на которых могут получать истинностное значение события.

Существуют системы, в которых высказывания истинны на ненулевых временных интервалах или на интервалах, к которым применены модальные операторы, однако, сами интервалы не являются изначально данными сущностями, они конструируются как пары временных точек, которые принадлежат строго или нестрого упорядоченному множеству точек некоторой временной оси. Эти логики называются точечно-ориентированными интервальными логиками. Хальперн и Шохэм в логике

⁵ Джон Маккарти — американский ученый, автор термина «искусственный интеллект», изобретатель языка Лисп, основоположник функционального программирования.

⁶ Джон Патрик Хейс - ирландско-американский ученый.

HS трактуют упорядоченную пару точек $\langle s, t \rangle$ как замкнутый интервал, который состоит из всех точек между s и t . Таким образом, логику HS можно рассматривать как расширение точечной модальной временной логики, в которой понятие истинности на состоянии ($s \models$) заменяется понятием истинности на интервале, или упорядоченной паре состояний ($\langle s, t \rangle \models$). В терминах соотношений пар точек, определяющих интервалы, описываются различные отношения между интервалами [3].

В некоторых существующих представлениях временной информации точка отсутствует и как семантический, и как синтаксический примитив. Дж. Ф. Алленом приводятся следующие аргументы в пользу такого интервального подхода: «точки всегда являются абстракциями, и мгновенные события можно представить с помощью весьма коротких интервалов», «временная информация не всегда является полной; в ежедневной практике она, как правило, представлена частично, следовательно, логик вынужден вводить во временную характеристику события разнообразные «допуски»». К примеру, наряду с высказываниями по типу «Мы обнаружили письмо ровно в полдень» можно сказать и «Мы обнаружили письмо вчера». Однако если в первом случае речь идет о временной точке, то во втором — о широком (относительно длительности самого события) интервале с точно известными границами, но иногда требуется записать временную информацию о событии, которая выражена менее четко и/или относительно другого события.

Независимо от того, является событие мгновенным или продолжительным, временная информация имеет интервальный характер. Поэтому Дж. Ф. Аллен предложил отказаться от введения большого количества переменных для обозначения возможных границ интервалов и начать оперировать с интервалами напрямую путем определения на их множестве ряда отношений.

Кроме того, введение точек в качестве примитива может повлечь нежелательные семантические затруднения, такие, как «проблема разделяющего мгновения». Ван Бентем утверждает, что проблема возникает исключительно на плотной (по Дедекинду⁷) временной оси (например, когда временная ось понимается как ось действительных чисел) при условии введения означивания на точках наряду с интервалами. Маккарти и Хэйс предложили решение такой проблемы при помощи определения интервалов как упорядоченных четверок $\langle p_1, p_2, l, r \rangle$, где p_1, p_2 – граничные точки, а l, r – типы (открытый или закрытый) соответственно левой и правой точек. Они предложили придать точкам и интервалам равный статус (точка определяется как интервал $\langle p_1, p_1, c, c \rangle$ с совпадающими закрытыми границами).

Имеются и другие подходы к решению проблемы представления точек в интервальных системах, к примеру, точке начала и окончания интервала I сопоставляется максимальное множество всех интервалов, которые находятся в любом из соответствующего набора интервальных отношений (например, «объединения») с I [3].

⁷ Юлиус Вильгельм Рихард Дедекинд — немецкий математик, известный работами по общей алгебре и основаниям вещественных чисел.

ГЛАВА 2. ВИДЫ ВРЕМЕННЫХ ЛОГИК

Интервальные временные логики

В статье О. Ю. Гончарко проводится сравнительный анализ двух используемых в логике понятий интервала: интервал как «упорядоченное отношение предшествования множество моментов» (подход Ван Бенгема⁸) и интервала как темпорального отношения между моментами.

В результате выделяются определенные недостатки первой (теоретико-множественной) концепции интервала, которая восходит к идеям Зенона и наследует все парадоксы и сложности оценки процессов на моментных структурах времени. При определении интервала в качестве не состоящего из моментов времени, но задающегося ими как ограничивающими точками, появляется возможность рассматривать интервал в качестве единицы времени, но такой, что всегда можно выделить на ней произвольную точку, которая не является частью данного интервала [4].

Временная логика Аллена

Временная логика Джеймса Аллена дает простой и практичный метод рассуждения о временных отношениях между событиями. Эта система служит иллюстрацией роли отношений в рассуждении и в структурированном представлении знаний.

Временная логика Аллена предназначена для выражения знания о временных отношениях таким образом, что:

1) допускает выражение отношений, которые являются относительными и неточными;

⁸ Иоганнес Франциск Абрахам Карел ван Бенгема - профессор логики в университете Амстердама, профессор философии в Стэнфордском университете.

2) допускает выражение и рассуждение о неопределенности относительно временного отношения между событиями;

3) поддерживает рассуждение в переменных масштабах времени.

Временная логика Аллена основана на представлении событий как интервалов времени, где время - упорядочивающее отношение на бесконечном множестве точек. Временная ось является бесконечной и плотной, то есть между любыми двумя точками лежит точка [5].

Синтаксис

Язык включает в себя:

- набор пропозициональных переменных AP;
- классические пропозициональные связки и все остальные связки, включая пропозициональные константы T и ⊥, считаются определяемыми;
- семейство интервальных временных модальных операторов (модальностей) вида $\langle X \rangle$, по одному для каждого из отношений Аллена (13):

Отношение и его инверсия	Обозначения	Иллюстрация	Отношения между конечными точками
<i>X before Y</i>	b		$X^- < Y^-$, $X^- < Y^+$, $X^+ < Y^-$, $X^+ < Y^+$
<i>Y after X</i>	bi		
<i>X meets Y</i>	m		$X^- < Y^-$, $X^- < Y^+$, $X^+ = Y^-$, $X^+ < Y^+$
<i>Y met-by X</i>	mi		
<i>X overlaps Y</i>	o		$X^- < Y^-$, $X^- < Y^+$, $X^+ > Y^-$, $X^+ < Y^+$
<i>Y overlapped-by X</i>	oi		
<i>X during Y</i>	d		$X^- > Y^-$, $X^- < Y^+$, $X^+ > Y^-$, $X^+ < Y^+$
<i>Y includes X</i>	di		
<i>X starts Y</i>	s		$X^- = Y^-$, $X^- < Y^+$, $X^+ > Y^-$, $X^+ < Y^+$
<i>Y started-by X</i>	si		
<i>X finishes Y</i>	f		$X^- > Y^-$, $X^- < Y^+$, $X^+ > Y^-$, $X^+ = Y^+$
<i>Y finished-by X</i>	Fi		
<i>X equals Y</i>	E		$X^- = Y^-$, $X^- < Y^+$, $X^+ > Y^-$, $X^+ = Y^+$

[6].

Формулы определяются следующей грамматикой:

$$\varphi ::= p \mid \neg\varphi \mid \varphi \vee \varphi \mid \langle X \rangle \varphi$$

Определяется частичное упорядоченное множество $D = \langle D, \leq \rangle$, интервал в D - это упорядоченная пара $[d_0, d_1]$, такая, что $d_0, d_1 \in D$ и $d_0 \leq d_1$. Множество всех интервалов в D обозначается $I(D)$.

Интервальная интерпретация или I -интерпретация – это функция, отображающая временной интервал на числовую ось при условии $X^- < X^+$ (X^- и X^+ рассматриваются как моменты времени).

Интервальная модель представляет собой пару $M = \langle D, V \rangle$, где

$V: I(D) \rightarrow 2^{AP}$ - означивание, присваивающее каждому интервалу набор атомарных предложений, считающихся истинными на нем.

Атомарная формула XrY , где X и Y интервалы, а $r \in B$, выполнима в некоторой I -интерпретации, если сохраняется отношение r между конечными точками интервалов.

Для представления неопределенной информации используются объединение базисных отношений, которые принадлежат множеству 2^{13} всех интервальных отношений, включая пустое отношение \emptyset и универсальное отношение I . Множество всех бинарных отношений 2^B обозначается A .

Интервальная формула – это формула вида $X\{r_1, \dots, r_n\}Y$ (обозначаемая φ), где $r_1, \dots, r_n \in B$.

Интервальная формула $X\{r_1, \dots, r_n\}Y$ выполнима в некоторой I - интерпретации, если формула Xr_iY выполнима в этой интерпретации для любого i , $1 \leq i \leq n$.

Конечное множество интервальных формул обозначается θ .

Множество θ *I-выполнимо*, если существует *I-интерпретация* (называемая *I -моделью θ*), которая выполняет каждую формулу θ . Если интервальная формула φ выполнима каждой I -моделью множества формул θ , то формула φ логически следует из θ ($\theta \rightarrow \varphi_I$).

Истинность формулы над заданным интервалом $[a, b]$ в интервальной модели M определяется индукцией по сложности формулы:

$M, [a, b] \models p$	тогда и только тогда, когда $p \in V([a, b])$, где $p \in AP$
$M, [a, b] \models \neg\psi$	тогда и только тогда, когда $M, [a, b] \not\models \psi$
$M, [a, b] \models \varphi \vee \psi$	тогда и только тогда, когда $M, [a, b] \models \varphi$ или $M, [a, b] \models \psi$
$M, [a, b] \models \varphi \wedge \psi$	тогда и только тогда, когда $M, [a, b] \models \neg\varphi \vee \neg\psi$
$M, [a, b] \models \varphi \rightarrow \psi$	тогда и только тогда, когда $M, [a, b] \models \neg\varphi \vee \psi \Leftrightarrow$ $M, [a, b] \not\models \varphi$ или $M, [a, b] \models \psi$

$M, [a, b] \models \langle Z \rangle \psi$ $[\langle Z \rangle] \varphi \equiv \neg \langle Z \rangle \neg \varphi$	тогда и только тогда, когда существует интервал $[c, d]$ такой, что $[a, b] R_Z [c, d]$ и $M, [c, d] \models \psi$, где R_Z есть $\langle Z \rangle$
$M, [d_0, d_1] \models \langle A \rangle \varphi$	тогда и только тогда, когда $M, [d_1, d_2] \models \varphi$ для некоторого интервала $[d_1, d_2]$

CTL - логика ветвящегося времени

Система темпоральной логики называется ветвящейся временной логикой, если лежащая в ее основе семантика структуры времени является ветвящейся. Основная структура времени в ветвящейся логике времени - это древовидная структура. То есть каждый момент времени может сопровождаться несколькими непосредственными последовательными моментами времени. В логике ветвящегося времени есть два вида формул: формулы состояния и формулы пути. Формулы состояний интерпретируются по состояниям, а формулы путей, содержащие все формулы состояний, интерпретируются по путям. Темпоральная логика с лежащим в ее основе временем ветвления нашла много применений в исследованиях искусственного интеллекта. В частности, они очень полезны в системах планирования, где агенты формулируют различные планы и стратегии действий в соответствии с различными будущими состояниями мировых институтов [7].

Динамическая логика

Динамические логики (ДЛ) - это модальные логики для представления процессов, состояний и событий. Язык ДЛ является одновременно языком, способным выражать свойства состояний, и языком, способным выразить свойства системных переходов между состояниями [8].

В статье А.Е. Вергера и Выхованца В.С. указывается, что существенным недостатком интервальных логик, в частности, интервальной временной логики Аллена (AL), является наличие трудноразрешимой проблемы вывода, заключающейся в экспоненциальном времени, которое необходимо для определения существования модели для заданного множества интервальных формул, а также для поиска минимального отношения для каждой пары интервалов – нахождения согласующего сценария. Для временных процессов интервальная динамическая логика (ИДЛ) является более выразительной [9].

В динамической концепции времени постулируется существование только определенного выделенного момента времени – настоящего, которое однозначно разделяет прошлое и будущее, притом прошлое считается уже не существующим, а будущее – еще не существующим. Таким образом, время непрерывно «течет», т.е. постулируется «стрела времени» и необратимость времени.

ГЛАВА 3. ИНТЕРВАЛЬНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ ЛОГИКА (ИДЛ)

Интервальная динамическая логика была введена в работе А.Е. Вергера и В.С. Выхованца «Интервальная динамическая логика», в которой авторы утверждают, что «для предметных областей, изменяющихся во времени, плохо применимыми оказались как классические, так и неклассические логики». В указанной работе вводится новая временная логика (то есть интервальной динамической логике), которая реализует динамическую концепцию времени и сохраняет интервальное его описание.

Синтаксис ИДЛ

Синтаксис интервальной динамической логики основывается на следующих счетных множествах атомарных формул:

– на множестве атомарных логических формул Λ , состоящем из логических предметных переменных A, B, C, \dots , принимающих истинностные значения;

– на множестве атомарных числовых формул M , состоящем из числовых предметных переменных a, b, c, \dots , принимающих значения на множестве целых чисел;

– на множестве предикатов Π , зависящих от конечного числа аргументов и принимающих истинностные значения;

– на множестве функторов Φ , зависящих от конечного числа аргументов и принимающих числовые значения.

Составные формулы определяются следующим образом:

– каждая формула из Λ есть логическая формула, а из M – числовая;

– логическая константа 0 (ложь) является логической формулой, а числовые константы – числовыми формулами;

– если π – предикат из Π , зависящий от n аргументов, а $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ – числовые или логические формулы, то $\pi(\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n)$ является логической формулой.

– если φ – функтор, принадлежащий множеству Φ и зависящий от n аргументов, а $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ – числовые или логические формулы, то

$\varphi(\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n)$ является числовой формулой.

Вводятся стандартные логические связки: \neg (отрицание), \wedge (конъюнкция) и \vee (дизъюнкция), временные операторы: \rightarrow (стрелка вправо) и \leftarrow (стрелка влево), а также предикаты сравнения $<$ (меньше) и $=$ (равно). Тогда:

– если ϕ – логическая формула, то и $\neg\phi$ является логической формулой;

– если ϕ и ψ – логические формулы, то и $(\phi \wedge \psi)$, $(\phi \vee \psi)$, $(\phi \rightarrow \psi)$ и

$(\phi \leftarrow \psi)$ – логические формулы;

– если ϕ и ψ – числовые формулы, то и $(\phi < \psi)$, $(\phi = \psi)$ – логические формулы.

Аксиоматика интервальной динамической логики расширяет аксиоматику исчисления высказываний и аксиоматику арифметики [9], включая в нее следующие дополнительные аксиомы:

$$A0) \neg(\phi \rightarrow \psi) \leftrightarrow \neg\phi \leftarrow \neg\psi;$$

$$A1) \neg(\phi \leftarrow \psi) \leftrightarrow \neg\phi \rightarrow \neg\psi;$$

$$A2) ((\phi \wedge \psi) \rightarrow \chi) \leftrightarrow ((\phi \rightarrow \chi) \wedge (\psi \rightarrow \chi));$$

$$A3) (\phi \rightarrow (\psi \wedge \chi)) \leftrightarrow ((\phi \rightarrow \psi) \wedge (\phi \rightarrow \chi));$$

$$A4) ((\phi \vee \psi) \rightarrow \chi) \leftrightarrow ((\phi \rightarrow \chi) \vee (\psi \rightarrow \chi));$$

$$A5) (\phi \rightarrow (\psi \vee \chi)) \leftrightarrow ((\phi \rightarrow \psi) \vee (\phi \rightarrow \chi));$$

$$A6) ((\phi \wedge \psi) \leftarrow \chi) \leftrightarrow ((\phi \leftarrow \chi) \wedge (\psi \leftarrow \chi));$$

$$A7) (\phi \leftarrow (\psi \wedge \chi)) \leftrightarrow ((\phi \leftarrow \psi) \wedge (\phi \leftarrow \chi));$$

$$A8) ((\phi \vee \psi) \leftarrow \chi) \leftrightarrow ((\phi \leftarrow \chi) \vee (\psi \leftarrow \chi));$$

$$A9) (\phi \leftarrow (\psi \vee \chi)) \leftrightarrow ((\phi \leftarrow \psi) \vee (\phi \leftarrow \chi)),$$

где ϕ , ψ и χ – логические формулы, а операции \rightarrow и \leftarrow таковы, что

$$T0) (0 \rightarrow 0) \leftrightarrow 1, (0 \rightarrow 1) \leftrightarrow 0, (1 \rightarrow 0) \leftrightarrow 1, (1 \rightarrow 1) \leftrightarrow 1;$$

$$T1) (0 \leftarrow 0) \leftrightarrow 0, (0 \leftarrow 1) \leftrightarrow 0, (1 \leftarrow 0) \leftrightarrow 1, (1 \leftarrow 1) \leftrightarrow 0.$$

Семантика

В качестве стандартной области интерпретации интервальной динамической логики выбирается логическая область. Предполагается, что пропозициональные переменные имеют истинностные значения, которые изменяются во времени. В таком случае каждая пропозициональная переменная может быть представлена как интервал времени, который формируется из тех его моментов, при которых эта переменная принимает истинностное значение.

Интерпретация операций \neg (не), \wedge (и) и \vee (или) является стандартной (рис. 1). В свою очередь операции \rightarrow и \leftarrow являются временными и предназначены для конструирования интервалов, которые не выразимы формулами со стандартными логическими операциями. Таким образом, формула $\phi \rightarrow \psi$ имеет исходное значение 0, принимает значение 1 в момент выполнения ϕ и переходит в исходное значение 0 в момент выполнения ψ . И наоборот - формула $\phi \leftarrow \psi$ имеет исходное значение 1, принимает значение 0 в момент выполнения $\neg\phi$ и переходит в исходное значение 1 в момент выполнения $\neg\psi$.

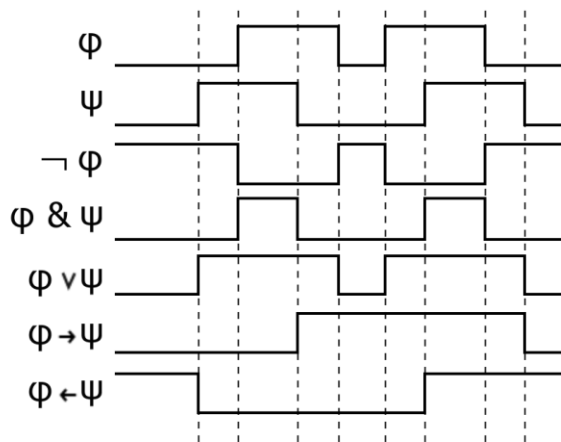


Рис.1. Интерпретация операций

Для того, чтобы выразить полуинтервалы в интервальной динамической логике используются следующие формулы: $\neg\phi \rightarrow\phi$, $\neg\phi \leftarrow\phi$. Таким образом, первая формула выражает полуинтервал $[t_1, +\infty)$, значение t_1 которого совпадает с моментом первой выполнимости формулы ϕ , а вторая формула – полуинтервал $(-\infty, t_2]$ значение t_2 которого совпадает с моментом первой выполнимости формулы $\neg\phi$.

Основные результаты, касающиеся непротиворечивости, полноты и разрешимости интервальной динамической логики, изложены в [10].

Кроме того, авторы указывают, что данная логика имеет ряд преимуществ: задача формализации процессов и анализа менее трудоемка, чем решение аналогичных задач в других логиках; процесс интерпретации формул достаточно прост; исчисление способствует эффективным тождественным преобразованиям формул.

ГЛАВА 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЛОГИКИ (ИДЛ) ПРИ ФОРМАЛИЗАЦИИ ФАКТОРОВ ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ, СФОРМУЛИРОВАННЫХ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ

Приведенный выше анализ временных логик дает возможность утверждать, что интервальная динамическая логика позволяет формализовать процессы, описываемые на естественном языке. В качестве объекта такого анализа и формализации (после консультации с экспертами в области экономики) были выбраны тексты, описывающие факторы, влияющие на ценообразование авиабилетов.

После определения интервалов, построения формул и их тождественного преобразования, анализ итоговых результатов позволяет изучить степень влияние некоторых факторов, повторяющихся на временных промежутках.

В следующей таблице представлено распределение факторов по годам и их продолжительность. Факторы были отобраны из информационных источников, которые также отображены в таблице.

Год	Факторы	Период	Источник
2014	Крушение самолёта Boeing 777.	17 июля	https://vc.ru/transport/63337-cto-proishodit-na-rossiyskom-rynke-passazhirskih-aviaperevozok
	Прекращение работы трех российских авиакомпаний: «Московия», «Былина» и «Ак Барс Аэро».	Московия: 29 августа Былина: 1 сентября Ак Барс Аэро: конец декабря	VC.RU
	Прекращение работы двух туроператоров: «Интаэр» и «Лабиринт».	Лабиринт: 2 августа Интаэр: 5 августа	https://vc.ru/transport/63337-cto-proishodit-na-rossiyskom-rynke-passazhirskih-aviaperevozok 23 VC.RU
	Девальвация рубля.	Падение – 4 декабря	https://ru.wikipedia.org/wiki/%

		Укрепление – май 2015-го	D0%92%D0%B0%D0%BB%D1%8E%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D1%80%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%81_%D0%B2_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8_(2014%E2%80%942015)
2015	Появление лоукостера «Победа».	1 декабря	https://www.vedomosti.ru/business/articles/2015/03/10/prihod-na-rinok-loukostera-aeroflota-ponizil-tseni-na-aviabiletu ВЕДОМОСТИ
	Прекращение работы компании «Трансаэро».	26 октября	https://vc.ru/transport/63337-chno-proishodit-na-rossiyskom-rynke-passazhirskih-aviaperevozok VC.RU
	Крушение самолёта компании «Когалымавиа». Крушение российского бомбардировщика Су-24.	Когалымавиа – 31 октября Сбили Су-24 – 24 ноября	https://vc.ru/transport/63337-chno-proishodit-na-rossiyskom-rynke-passazhirskih-aviaperevozok VC.RU
	Прекращение авиасообщения с Украиной, Египтом и Турцией.	Август-декабрь	РБК
	Изменение цены на керосин.	24 февраля – 1 апреля	РБК
	Девальвация рубля.	Падение – январь- февраль	https://tass.ru/ekonomika/17002 <u>55</u>

		Укрепление – октябрь	https://smart-lab.ru/blog/562438.php ТАСС
2016	Введение безбагажных тарифов.	Ютэйр – с 1 апреля S7 – с 1 декабря	https://tass.ru/transport/3963137 ТАСС
	Возобновление рейсов между Россией и Турцией.	С 7 июля	РБК
	Девальвация рубля.	Падение - 21 января Укрепление – конец марта	https://www.rbc.ru/finances/21/03/2016/56e6a2579a7947a452c7781 с РБК https://vz.ru/economy/2016/3/18/800409.html ВЗГЛЯД
2017	Прекращение работы «ВИМ-авиа».	26 сентября	https://vc.ru/transport/63337-chno-proishodit-na-rossiyskom-rynke-passazhirskih-aviaperevozok VC.RU
	Проведение в России чемпионата мира по футболу.	14 июня по 15 июля	https://ria.ru/20180101/1512064027.html РИА НОВОСТИ
2018	Изменение цены на керосин.	С начала сентября до конца октября	https://vc.ru/transport/63337-chno-proishodit-na-rossiyskom-rynke-passazhirskih-aviaperevozok VC.RU https://rossaprimavera.ru/news/46e4c38f КРАСНАЯ ВЕЩА https://www.bbc.com/russian/feature

		<u>s-44952491</u>
		ВВС
Девальвация рубля.	конец 2018 – начало 2019	РБК

На основе данной таблицы была составлена следующая таблица, в которой отражено соотношение каждого фактора и его дальнейшее обозначение.

Фактор	Обозначение
Крушение самолета	CRUSH
Прекращение работы авиакомпании	STOP_AVIA
Прекращение работы туроператора	STOP_TOUR
Девальвация рубля	DEV
Появление лоукостера	LOW
Прекращение авиасообщения	STOP_PLANE
Изменение цены на керосин	KER
Введение тарифов	TAR
Возобновление авиасообщения	CONT_PLANE
Проведение в России чемпионата мира по футболу	CHAMP

По итогам данных двух таблиц была составлена сводная таблица, в которой отражены факторы, распределенные по годам, их продолжительность и обозначение.

Фактор	Год	Период	Обозначение
Крушение самолета	2014	17 июля	CRUSH
	2015	31 октября	

		24 ноября	
Прекращение работы авиакомпании	2014	29 августа 1 сентября конец декабря	STOP_AVIA
	2015	26 октября	
	2017	26 сентября	
Прекращение работы туроператора	2014	2 августа 5 августа	STOP_TOUR
Девальвация рубля	2014	4 декабря – май	DEV
	2015	Январь – октябрь	
	2016	21 января – конец марта	
	2018	Конец 2018 – начало 2019	
Появление лоукостера	2015	1 декабря	LOW
Прекращение авиасообщения	2015	Август- декабрь	STOP_PLANE
Изменение цены на керосин	2015	24 февраля – 1 апреля	KER
	2018	С начала сентября до конца октября	
Введение тарифов	2016	С 1 апреля	TAR
Возобновление авиасообщения	2016	С 7 июля	CONT_PLANE

Проведение в России чемпионата мира по футболу	2017	14 июня по 15 июля	СНАМР
--	------	-----------------------	-------

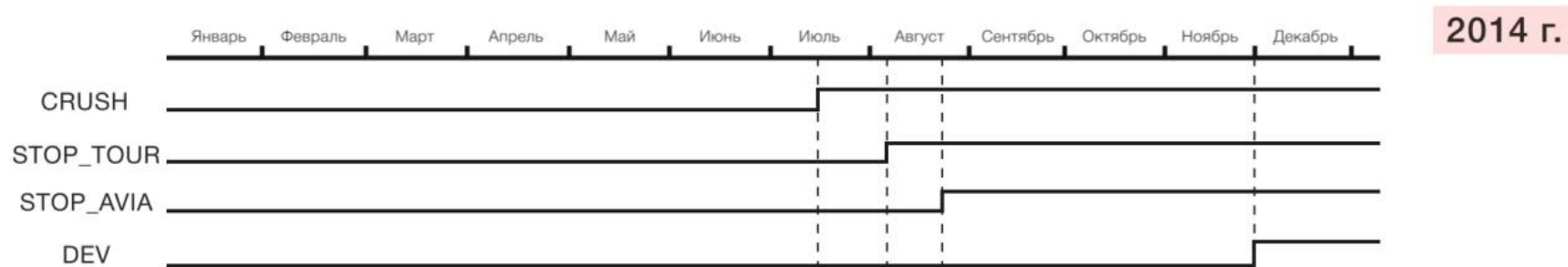
Визуальное представление факторов

На основе анализа составленных таблиц, в которых отражены факторы, их распределение по времени в каждом году с 2014 года по 2018, была сделана визуализация этих факторов относительно каждого года.

В данной визуализации отображены:

- год (2014, 2015, 2016, 2017, 2018);
- месяцы (с января по декабрь в каждом году);
- слева по вертикали отображены факторы, которые возникли в том или ином году;
- пунктирными линиями обозначены границы возникновения и/или исчезновения каждого из факторов.

Визуализация распределения факторов ценообразования авиабилетов в 2014 году



Анализ ситуации в 2014 году показал, что в нем возникли два полуинтервала и три интервала.

I. Описание интервалов и полуинтервалов с помощью формул с временными операторами:

- 1) $(CRUSH \rightarrow 0)$
- 2) $(CRUSH \rightarrow STOP_TOUR)$
- 3) $(STOP_TOUR \rightarrow STOP_AVIA)$
- 4) $(STOP_AVIA \rightarrow DEV)$
- 5) $(DEV \leftarrow 1)$

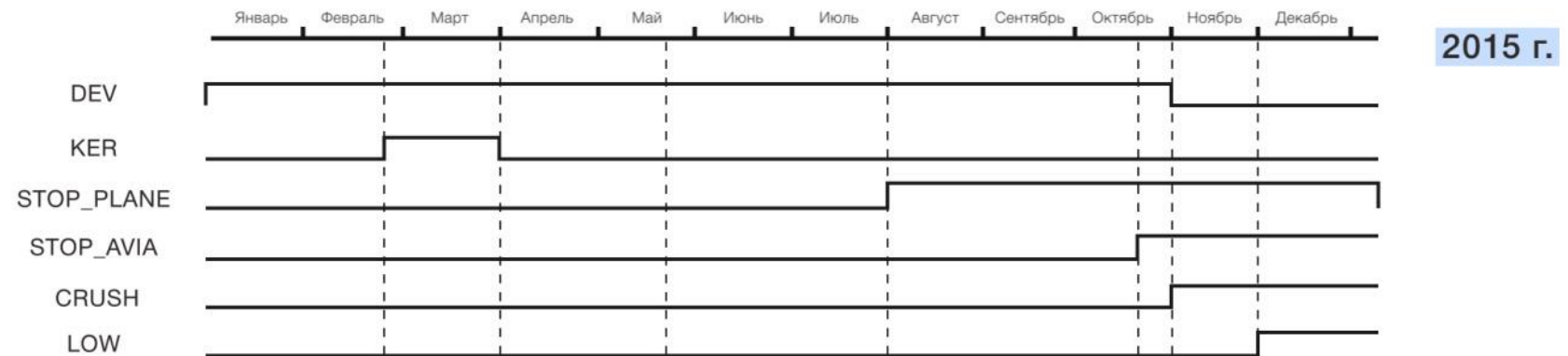
II. Условия возникновения факторов в каждом интервале и полуинтервале, записанные с помощью логических операций:

- 1) $(\neg CRUSH \wedge \neg STOP_TOUR \wedge \neg STOP_AVIA \wedge \neg DEV)$
- 2) $(CRUSH \wedge \neg STOP_TOUR \wedge \neg STOP_AVIA \wedge \neg DEV)$
- 3) $(CRUSH \wedge STOP_TOUR \wedge \neg STOP_AVIA \wedge \neg DEV)$
- 4) $(CRUSH \wedge STOP_TOUR \wedge STOP_AVIA \wedge \neg DEV)$
- 5) $(CRUSH \wedge STOP_TOUR \wedge STOP_AVIA \wedge DEV)$

III. Итоговая формула, записанная с помощью логических и темпоральных операций интервальной динамической логики (ИДЛ):

$$\Phi_{2014} = ((CRUSH \rightarrow 0) \wedge \neg CRUSH \wedge \neg STOP_TOUR \wedge \neg STOP_AVIA \wedge \neg DEV) \vee ((CRUSH \rightarrow STOP_TOUR) \wedge CRUSH \wedge \neg STOP_TOUR \wedge \neg STOP_AVIA \wedge \neg DEV) \vee ((STOP_TOUR \rightarrow STOP_AVIA) \wedge CRUSH \wedge STOP_TOUR \wedge \neg STOP_AVIA \wedge \neg DEV) \vee ((STOP_AVIA \rightarrow DEV) \wedge CRUSH \wedge STOP_TOUR \wedge STOP_AVIA \wedge \neg DEV) \vee ((DEV \leftarrow 1) \wedge CRUSH \wedge STOP_TOUR \wedge STOP_AVIA \wedge DEV)$$

Визуализация распределения факторов ценообразования авиабилетов в 2015 году



Анализ ситуации в 2015 году показал, что в нем возник один полуинтервал и семь интервалов.

I. Описание интервалов и полуинтервалов с помощью формул с временными операторами:

- 1) $(DEV \rightarrow KER)$
- 2) KER
- 3) $(\neg KER \rightarrow STOP_PLANE)$
- 4) $(STOP_PLANE \rightarrow STOP_AVIA)$
- 5) $(STOP_AVIA \rightarrow CRUSH)$
- 6) $(CRUSH \rightarrow LOW)$
- 7) $(LOW \leftarrow STOP_AVIA)$
- 8) $(LOW \leftarrow 1)$

II. Условия возникновения факторов в каждом интервале и полуинтервале, записанные с помощью логических операций:

- 1) $(DEV \wedge \neg KER \wedge \neg STOP_PLANE \wedge \neg STOP_AVIA \wedge \neg CRUSH \wedge \neg LOW)$
- 2) $(DEV \wedge KER \wedge \neg STOP_PLANE \wedge \neg STOP_AVIA \wedge \neg CRUSH \wedge \neg LOW)$
- 3) $(DEV \wedge \neg KER \wedge STOP_PLANE \wedge \neg STOP_AVIA \wedge \neg CRUSH \wedge \neg LOW)$
- 4) $(DEV \wedge \neg KER \wedge STOP_PLANE \wedge \neg STOP_AVIA \wedge \neg CRUSH \wedge \neg LOW)$
- 5) $(DEV \wedge \neg KER \wedge STOP_PLANE \wedge STOP_AVIA \wedge \neg CRUSH \wedge \neg LOW)$
- 6) $(\neg DEV \wedge \neg KER \wedge STOP_PLANE \wedge STOP_AVIA \wedge CRUSH \wedge LOW)$
- 7) $(\neg DEV \wedge \neg KER \wedge STOP_PLANE \wedge STOP_AVIA \wedge CRUSH \wedge LOW)$
- 8) $(\neg DEV \wedge \neg KER \wedge \neg STOP_PLANE \wedge STOP_AVIA \wedge CRUSH \wedge LOW)$

III. Итоговая формула, записанная с помощью логических и темпоральных операций интервальной динамической логики (ИДЛ):

$$\Phi_{2015} = ((DEV \rightarrow KER) \wedge DEV \wedge \neg KER \wedge \neg STOP_PLANE \wedge \neg STOP_AVIA \wedge \neg CRUSH \wedge \neg LOW) \vee (KER \wedge DEV \wedge KER \wedge \neg STOP_PLANE \wedge \neg STOP_AVIA \wedge$$

$$\begin{aligned}
& \neg \text{CRUSH} \wedge \neg \text{LOW}) \vee ((\neg \text{KER} \rightarrow \text{STOP_PLANE}) \wedge \text{DEV} \wedge \neg \text{KER} \wedge \\
& \text{STOP_PLANE} \wedge \neg \text{STOP_AVIA} \wedge \neg \text{CRUSH} \wedge \neg \text{LOW}) \vee \\
& ((\text{STOP_PLANE} \rightarrow \text{STOP_AVIA}) \wedge \text{DEV} \wedge \neg \text{KER} \wedge \text{STOP_PLANE} \wedge \\
& \neg \text{STOP_AVIA} \wedge \neg \text{CRUSH} \wedge \neg \text{LOW}) \vee ((\text{STOP_AVIA} \rightarrow \text{CRUSH}) \wedge \text{DEV} \wedge \\
& \neg \text{KER} \wedge \text{STOP_PLANE} \wedge \text{STOP_AVIA} \wedge \neg \text{CRUSH} \wedge \neg \text{LOW}) \vee \\
& ((\text{CRUSH} \rightarrow \text{LOW}) \wedge \neg \text{DEV} \wedge \neg \text{KER} \wedge \text{STOP_PLANE} \wedge \text{STOP_AVIA} \wedge \text{CRUSH} \\
& \wedge \text{LOW}) \vee ((\text{LOW} \leftarrow \text{STOP_AVIA}) \wedge \neg \text{DEV} \wedge \neg \text{KER} \wedge \text{STOP_PLANE} \wedge \\
& \text{STOP_AVIA} \wedge \text{CRUSH} \wedge \text{LOW}) \vee ((\text{LOW} \leftarrow 1) \wedge \neg \text{DEV} \wedge \neg \text{KER} \wedge \\
& \neg \text{STOP_PLANE} \wedge \text{STOP_AVIA} \wedge \text{CRUSH} \wedge \text{LOW})
\end{aligned}$$

Визуализация распределения факторов ценообразования авиабилетов в 2016 году



Анализ ситуации в 2016 году показал, что в нем возникло два полуинтервала и два интервала.

I. Описание интервалов и полуинтервалов с помощью формул с временными операторами:

- 1) $(DEV \rightarrow 0)$
- 2) $(DEV \rightarrow TAR)$
- 3) $(TAR \rightarrow CONT_PLANE)$
- 4) $(CONT_PLANE \leftarrow 1)$

II. Условия возникновения факторов в каждом интервале и полуинтервале, записанные с помощью логических операций:

- 1) $(\neg DEV \wedge \neg TAR \wedge \neg CONT_PLANE)$
- 2) $(DEV \wedge \neg TAR \wedge \neg CONT_PLANE)$
- 3) $(\neg DEV \wedge TAR \wedge \neg CONT_PLANE)$
- 4) $(\neg DEV \wedge TAR \wedge CONT_PLANE)$

III. Итоговая формула, записанная с помощью логических и темпоральных операций интервальной динамической логики (ИДЛ):

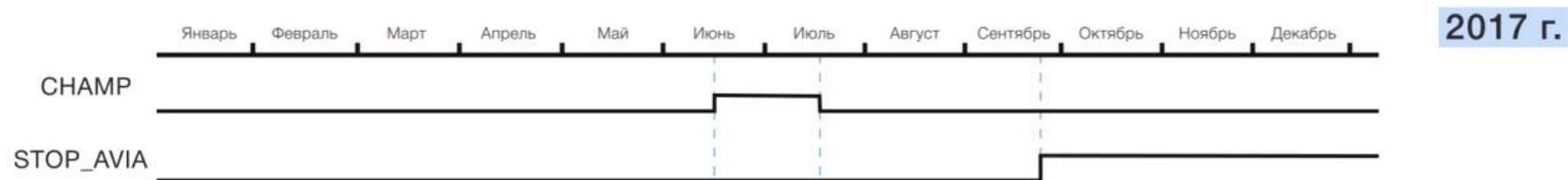
$$\Phi_{2016} = ((DEV \rightarrow 0) \wedge \neg DEV \wedge \neg TAR \wedge \neg CONT_PLANE) \vee ((DEV \rightarrow TAR) \wedge DEV \wedge \neg TAR \wedge \neg CONT_PLANE) \vee ((TAR \rightarrow CONT_PLANE) \wedge \neg DEV \wedge TAR \wedge \neg CONT_PLANE) \vee ((CONT_PLANE \leftarrow 1) \wedge (\neg DEV \wedge TAR \wedge CONT_PLANE) \sim$$

Итоговая формула:

$$\sim (DEV \rightarrow 0 \vee DEV \rightarrow TAR \vee TAR \rightarrow CONT_PLANE \vee CONT_PLANE) \wedge (DEV \rightarrow 0 \vee DEV \rightarrow TAR \vee TAR \rightarrow CONT_PLANE \vee CONT_PLANE \leftarrow 1) \wedge (DEV \rightarrow 0 \vee DEV \rightarrow TAR \vee \neg CONT_PLANE \vee CONT_PLANE \leftarrow 1) \wedge (DEV \rightarrow 0 \vee DEV \rightarrow TAR \vee \neg DEV) \wedge (DEV \rightarrow 0 \vee DEV \rightarrow TAR \vee TAR) \wedge (\neg DEV \vee DEV \rightarrow TAR \vee TAR \rightarrow CONT_PLANE \vee CONT_PLANE) \wedge (\neg DEV \vee DEV \rightarrow TAR \vee TAR \rightarrow CONT_PLANE \vee CONT_PLANE \leftarrow 1) \wedge (\neg DEV \vee DEV \rightarrow TAR) \wedge (DEV \rightarrow 0 \vee DEV \vee TAR \rightarrow CONT_PLANE \vee CONT_PLANE) \wedge$$

$$\begin{aligned}
& (\text{DEV} \rightarrow 0 \vee \text{DEV} \vee \text{TAR} \rightarrow \text{CONT_PLANE} \vee \text{CONT_PLANE} \leftarrow 1) \wedge (\text{DEV} \rightarrow 0 \vee \\
& \text{DEV} \vee \text{TAR}) \wedge (\neg \text{CONT_PLANE} \vee \text{CONT_PLANE} \leftarrow 1) \wedge (\neg \text{CONT_PLANE} \vee \\
& \neg \text{DEV}) \wedge (\neg \text{CONT_PLANE} \vee \text{TAR}) \wedge (\neg \text{TAR} \vee \text{CONT_PLANE} \vee \\
& \text{TAR} \rightarrow \text{CONT_PLANE}) \wedge (\neg \text{TAR} \vee \text{TAR} \rightarrow \text{CONT_PLANE} \vee \\
& \text{CONT_PLANE} \leftarrow 1) \wedge (\neg \text{TAR} \vee \neg \text{CONT_PLANE} \vee \text{CONT_PLANE} \leftarrow 1) \wedge \\
& (\neg \text{TAR} \vee \neg \text{DEV})
\end{aligned}$$

Визуализация распределения факторов ценообразования авиабилетов в 2017 году



Анализ ситуации в 2017 году показал, что в нем возникло два полуинтервала и два интервала.

I. Описание интервалов с помощью формул с временными операторами:

- 1) $(\text{CHAMP} \rightarrow 0)$
- 2) CHAMP
- 3) $(\neg \text{CHAMP} \rightarrow \text{STOP_AVIA})$
- 4) $(\text{STOP_AVIA} \leftarrow 1)$

II. Условия возникновения факторов в каждом интервале и полуинтервале, записанные с помощью логических операций:

- 1) $(\neg \text{CHAMP} \wedge \neg \text{STOP_AVIA})$
- 2) $(\text{CHAMP} \wedge \neg \text{STOP_AVIA})$
- 3) $(\neg \text{CHAMP} \wedge \neg \text{STOP_AVIA})$
- 4) $(\neg \text{CHAMP} \wedge \text{STOP_AVIA})$

III. Итоговая формула, записанная с помощью логических и темпоральных операций интервальной динамической логики (ИДЛ):

$$\Phi_{2017} = ((\text{CHAMP} \rightarrow 0) \wedge \neg \text{CHAMP} \wedge \neg \text{STOP_AVIA}) \vee (\text{CHAMP} \wedge \text{CHAMP} \wedge \neg \text{STOP_AVIA}) \vee (\neg \text{CHAMP} \rightarrow \text{STOP_AVIA}) \wedge \neg \text{CHAMP} \wedge \neg \text{STOP_AVIA} \vee (\text{STOP_AVIA} \leftarrow 1) \wedge \neg \text{CHAMP} \wedge \text{STOP_AVIA} \sim$$

Итоговая формула:

$$\sim (\neg \text{STOP_AVIA} \vee \neg \text{CHAMP}) \wedge (\neg \text{STOP_AVIA} \vee \text{STOP_AVIA} \leftarrow 1) \wedge (\neg \text{CHAMP} \rightarrow \text{STOP_AVIA} \vee \text{CHAMP} \vee \text{STOP_AVIA} \vee \text{CHAMP} \rightarrow 0) \wedge (\neg \text{CHAMP} \rightarrow \text{STOP_AVIA} \vee \text{CHAMP} \vee \text{CHAMP} \rightarrow 0 \vee \text{STOP_AVIA} \leftarrow 1)$$

Визуализация распределения факторов ценообразования авиабилетов в 2018 году



Анализ ситуации в 2018 году показал, что в нем возникло два полуинтервала и два интервала.

I. Описание интервалов и полуинтервалов с помощью формул с временными операторами:

- 1) $(KER \rightarrow 0)$
- 2) KER
- 3) $(\neg KER \rightarrow DEV)$
- 4) $(DEV \leftarrow 1)$

II. Условия возникновения факторов в каждом интервале и полуинтервале, записанные с помощью логических операций:

- 1) $(\neg KER \wedge \neg DEV)$
- 2) $(KER \wedge \neg DEV)$
- 3) $(\neg KER \wedge \neg DEV)$
- 4) $(\neg KER \wedge DEV)$

III. Итоговая формула, записанная с помощью логических и темпоральных операций интервальной динамической логики (ИДЛ):

$$\Phi_{2018} = ((KER \rightarrow 0) \wedge \neg KER \wedge \neg DEV) \vee (KER \wedge \neg DEV) (1) \vee$$

$$((\neg KER \rightarrow DEV) \wedge \neg KER \wedge \neg DEV) \vee ((DEV \leftarrow 1) \wedge \neg KER \wedge DEV) \sim$$

$$\sim ((\neg KER \rightarrow DEV) \wedge \neg KER \wedge \neg DEV) \vee ((DEV \leftarrow 1) \wedge \neg KER \wedge DEV) \vee (\neg DEV \wedge (KER \rightarrow 0 \vee KER)) \sim$$

$$\sim ((\neg KER \rightarrow DEV \wedge \neg KER \wedge \neg DEV) \vee ((DEV \leftarrow 1) \wedge \neg KER \wedge DEV) \wedge ((\neg KER \rightarrow DEV \wedge \neg KER \wedge \neg DEV) \vee (KER \vee KER \rightarrow 0) \vee (\neg KER \wedge DEV \wedge DEV \leftarrow 1)) \sim$$

$$\sim (\neg DEV \vee (DEV \leftarrow 1 \wedge \neg KER \wedge DEV)) \wedge ((\neg KER \rightarrow DEV \wedge \neg KER \wedge \neg DEV) \vee KER \vee KER \rightarrow 0) \vee (\neg KER \wedge DEV \wedge DEV \leftarrow 1) \sim$$

$\sim (\neg \text{DEV} \vee \neg \text{KER}) \wedge (\neg \text{DEV} \vee \text{DEV} \leftarrow 1) \wedge ((\neg \text{KER} \rightarrow \text{DEV} \vee \text{KER} \vee \text{KER} \rightarrow 0) \wedge$
 $(\neg \text{DEV} \vee \text{KER} \vee \text{KER} \rightarrow 0) \vee (\neg \text{KER} \wedge \text{DEV} \wedge \text{DEV} \leftarrow 1)) \sim$

$\sim (\neg \text{DEV} \vee \neg \text{KER}) \wedge (\neg \text{DEV} \vee \text{DEV} \leftarrow 1) \wedge (\neg \text{DEV} \vee \text{DEV} \leftarrow 1 \vee \text{KER} \vee \text{KER} \rightarrow 0)$
 $\wedge (\neg \text{KER} \rightarrow \text{DEV} \vee \text{KER} \vee \text{DEV} \vee \text{KER} \rightarrow 0) \wedge (\neg \text{KER} \rightarrow \text{DEV} \vee \text{KER} \vee \text{KER} \rightarrow 0$
 $\vee \text{DEV} \leftarrow 1) \sim$

Итоговая формула:

$\sim (\neg \text{DEV} \vee \neg \text{KER}) \wedge (\neg \text{DEV} \vee \text{DEV} \leftarrow 1) \wedge (\neg \text{KER} \rightarrow \text{DEV} \vee \text{KER} \vee \text{DEV} \vee$
 $\text{KER} \rightarrow 0) \wedge (\neg \text{KER} \rightarrow \text{DEV} \vee \text{KER} \vee \text{KER} \rightarrow 0 \vee \text{DEV} \leftarrow 1)$

ВЫВОДЫ

В процессе построения формул и дальнейших проделанных преобразований, эквивалентных им, были получены формулы, позволяющие проанализировать возможность определения степени влияния каждого из указанных факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stanford Encyclopedia of Philosophy [Электронный ресурс] Temporal Logic. – First published Mon Nov 29, 1999; substantive revision Wed May 20, 2015. – Режим доступа: <https://plato.stanford.edu/entries/logic-temporal/#IntTemLog>.
2. Шапчиц П.А. Логические средства представления времени: обзор /П.А. Шапчиц // Логико-философские штудии. 2010. № 8.С. 196-198.
3. Шапчиц П.А. Логические средства представления времени: обзор /П.А. Шапчиц // Логико-философские штудии. 2010. № 8.С. 199-199.
4. Гончарко О.Ю. Актуальные вопросы современных исследований в области временных логик (обзор российских публикаций)/ О.Ю. Гончарко // Труды молодых ученых. Логико-философские штудии. Вып. 8, 2010. – С. 233-234.
5. James L. Crowley. Intelligent Systems: Reasoning and Recognition [Электронный ресурс], 2013. – Режим доступа: <http://www-prima.imag.fr/Prima/jlc/Courses/2012/ENSI2.SIRR/ENSI2.SIRR.S9.pdf>.
6. Вергер А.Е., Выхованец Е.С. Интервальная динамическая логика/ А.Е. Вергер, Е.С. Выхованец // Институт проблем управления РАН, Москва, Россия.
7. Savas Konur. A Survey on Temporal Logics. Department of Computer Science University of Liverpool, October 2008, p.4-5.
8. Stanford Encyclopedia of Philosophy [Электронный ресурс] Propositional Dynamic Logic. – First published Mon Nov 29, 1999; substantive revision Wed May 20, 2015. – Режим доступа: <https://plato.stanford.edu/entries/logic-dynamic//>.
9. Вергер А.Е. Интервальная динамическая логика/ А.Е. Вергер// Труды 3-й Российской конференции с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» (УКИ'2012, Москва). М.: ИПУ РА, 2012. – С. 410.

- 10.Вергер А.Е. Интервальная динамическая логика/ А.Е. Вергер// Труды 3-й Российской конференции с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения» (УКИ'2012, Москва). М.: ИПУ РА, 2012. – С. 410-412.