

АРТЕМ ПИМАНОВ*

СЕМАНТИКА ПЕРЕХОДОВ И ДЕТЕРМИНИЗМ ВО ВРЕМЕННОЙ ЛОГИКЕ**

Получено: 24.01.2023. Рецензировано: 25.03.2023. Принято: 06.04.2023.

Аннотация: В рамках данной статьи рассматриваются предпосылки становления семантики переходов в контексте проблемы детерминизма. Влияние представлений о детерминизме прослеживается в различных областях философии, в том числе и во временной логике. Рассмотрение ряда аспектов детерминизма позволяет подробно описать причины формирования в логике определенных подходов к оценке овремененных высказываний. Так, в работе рассматривается анализ Артуром Прайором детерминистических аргументов, лежащих в основе классических вариантов семантики оккамовского и Пирсового типов и принципа «жди и смотри». Дальнейшее изучение данных семантик по ряду логико-философских причин расходится на два самостоятельных и конкурирующих между собой направления: логику пространства-времени (BST) и гипотезу Thin Red Line. Эти системы представляют собой варианты оценки овремененных высказываний через использование пар (момент, история), которые ввиду некоторых своих недостатков на текущий момент не завершены. Последнее побудило некоторых исследователей начать поиск альтернативных вариантов оценки. В частности, примечательны работы Джона Макфарлейна, где особое внимание уделяется определению условий адекватной репрезентации идеи открытого будущего. В его понимании ключевым условием является совмещение двух философских интуиций о детерминизме, которое можно реализовать за счет релятивизации оценки высказываний через контекст утверждения. В дальнейшем на эти работы обратил внимание Томас Мюллер, который, занимаясь вопросом отображения локальных аспектов модальной упорядоченности (в том числе и с философской точки зрения), выдвинул идею семантики переходов. Ее развитие сегодня отражается в работах Антье Румберг, где предлагается вариант семантики с наличием оператора стабильности. Получившийся вариант семантики позволяет разрешить сразу несколько основных вопросов касательно детерминизма. В частности, наличие оператора стабильности позволяет показать специфический характер проявления высказываний о случайных событиях. В свою очередь, оценка высказываний позволяет точно и непротиворечиво реализовать предложенный Прайором принцип «жди и смотри». Но, на наш взгляд, такой вариант семантики имеет ряд проблем с описанными ранее представлениями о природе будущего.

Ключевые слова: детерминизм, семантика переходов, логика ветвящегося времени, модальная упорядоченность, актуальное будущее, временная логика.

DOI: 10.17323/2587-8719-2023-2-261-283.

*Пиманов Артем Сергеевич, аспирант; философский факультет МГУ имени М. В. Ломоносова (Москва), dillabunturmemoria@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4179-6589.

**© Пиманов, А. С. © Философия. Журнал Высшей школы экономики.

Проблема детерминизма — одна из классических философских проблем, оказавших влияние на становление и развитие современной временной логики. Несмотря на то что она прорабатывается уже достаточно давно, исследования в данной области ведутся и сейчас: идет активная дискуссия как о понимании самого детерминизма, так и о вопросе преодоления возникающих из него следствий. Важный момент современного изучения детерминизма в рамках логики — вопрос о возможности адекватного отображения нашего представления о времени. В XX веке была сформулирована идея логики ветвящегося времени как подхода к преодолению детерминизма в логике. Ее дальнейшее изучение привело к формированию нескольких параллельно идущих направлений: гипотезы *Thin Red Line* и логики ветвящегося времени-пространства, развитие которых не завершено до сих пор. Анализ проблем оценки овремененных высказываний в рамках данных подходов позволил наметить перспективы для поиска возможных альтернатив, одной из которых выступает семантика переходов. В рамках данной работы будет представлено аналитическое и содержательное рассмотрение семантики переходов как инструмента преодоления ряда онтологических и философских проблем современных исследований в логике ветвящегося времени. В первой части внимание будет уделено становлению логики ветвящегося времени как подхода к преодолению детерминизма в логике. Во второй части будет подробно рассмотрен вопрос о становлении идеи переходов как альтернативы классическим подходам к преодолению детерминизма в рамках логики ветвящегося времени. Третья часть преследует цель рассмотреть семантику переходов как подход к преодолению детерминизма.

ДЕТЕРМИНИЗМ И ЛОГИКА ВЕТВЯЩЕГОСЯ ВРЕМЕНИ

Как уже отмечалось, при рассмотрении вопроса о философском содержании, составляющего основу современных исследований в области временной логики, невозможно пренебречь проблематикой детерминизма. Изучение возможности оценки овремененных высказываний подразумевает, что существует потенциальная вероятность, что событие еще не произошло, но его истиннозначный статус некоторым образом предопределен. Позиция детерминизма, как и индетерминизма, влечет за собой ряд преимуществ и недостатков, но в большинстве своем наличие детерминизма в логике воспринимается многими исследователями как неестественное (Muller, 2015). Его принятие влечет за собой такие нежелательные следствия, которые ставят под сомнение

базовые философские представления о свободе воли, возможности действия, формирования личности, природе Бога и открытости будущего. С другой стороны, детерминизм можно воспринимать как базовый принцип научного познания, при наличии которого создается возможность интерпретировать события нашего мира как результат некоторых необходимых причин. Немаловажный аспект проблематики детерминизма в логике — то, что среди исследователей нет единого мнения, как трактовать данное понятие. В зависимости от конкретных задач в рамках отдельной работы затрагивается только один или несколько способов понимания детерминизма. Расширение трактовок детерминизма в логических исследованиях прослеживается с середины XX в. и связано с построением адекватных моделей времени, позволяющих непротиворечиво определить как сам детерминизм, так и связанные с ним логико-философские аргументы (Пиманов, 2022). В рамках данного текста уместен следующий вариант понимания детерминизма: *будущее нашего мира строго определено в рамках некоторых непреодолимых закономерностей* (Weatherford, 2017: 3). Именно непреодолимость и строгую определенность можно выделить как две главные составляющие любой трактовки детерминизма в логике.

С момента постановки Аристотелем вопроса о детерминизме было предложено два основных подхода к его преодолению (Пиманов, 2022: 35). Первый, исходящий из решения самого Аристотеля, направлен на выявление корректной трактовки закона исключенного третьего, принципа бивалентности и понятия истины (Аристотель, Кубицкий, 1978; Вригт, Карпенко, 1986; Лукасевич, Домбровский, 2012). Решения, предложенные в его рамках, являются по-своему интересными и с технической точки зрения позволяют преодолеть детерминизм. Тем не менее в них можно выделить явный недостаток: они никоим образом не затрагивают вопрос природы времени и овремененных высказываний. Ряд исследователей считает, что выявление адекватных форм репрезентации времени позволяет полноценно определить причины, по которым детерминизм в принципе может возникать (Muller, 2015; Ohrstrom & Hasle, 1995). Второй подход направлен на устранение этого недостатка. Его становление связано с осознанием неразрывной связи между временем и необходимостью (Mates, 1953). В античных источниках сохранился так называемый «главный аргумент» Диодора Кроноса, который долгое время представлял основу позиции детерминизма. Тезисно его можно описать как ситуацию, при которой невозможно непротиворечиво совместить три следующих представления о времени и необходимости: всякое

истинное суждение относительно прошлого необходимо; невозможное не следует из возможного; возможно нечто, что не существует и не будет существовать (Mates, 1953: 38). По дошедшим свидетельствам Диодор пришел к выводу, что первые два представления влекут за собой ложность третьего, что, в свою очередь, приводит к признанию детерминизма: *нечто обязательно существует или не существует, независимо от прочих обстоятельств*. В силу того, что сам ход рассуждения не сохранился, в XX веке было предложено несколько вариантов его реконструкции (Michael, 1976; Prior, 1955; Rescher, 1966). С одной стороны, они позволили ясным образом выделить основные причины, в силу которых взаимосвязь времени и необходимости может при определенных условиях приводить к позиции детерминизма. С другой стороны, они некоторым образом предопределили стремление исследователей к формированию адекватных моделей времени как подходу к преодолению детерминизма.

Одними из первых моделей времени принято считать конструкции Джона Мактаггарта (McTaggart, 1908) и Ганса Рейхенбаха (Reichenbach, 1947). В представлении Мактаггарта при анализе характера становления событий возможно выделить два основных способа репрезентации времени: ряд-А (настоящее, прошлое и будущее) и ряд-В (отношение раньше — позже). В силу того что события подвержены изменению, им делается вывод и приводится соответствующая аргументация о том, что ряд-А более фундаментален. Важным следствием работы Мактаггарта стало формулирование так называемого парадокса иллюзорности, согласно которому деление времени на настоящее, прошлое и будущее теряет основу в силу изменения событий (Heather, 2002). Анализ данного парадокса в рамках временной логики выделил ряд положений, позволяющих описать возможность адекватной репрезентации овремененных высказываний (Prior, 1957). В частности, можно отметить, что основу парадокса иллюзорности определяет нетемпоральное понимание глагола «есть», которое необходимо устранить. Также из формулировки парадокса можно сделать вывод о том, что деление времени на настоящее, прошлое и будущее не является постоянным в случае рассмотрения овремененного высказывания на всем множестве моментов времени. Последнее приводит нас к тому, что строгая связь овремененного высказывания с прошлым, настоящим или будущим может быть выражена только с точки зрения конкретного момента. Модель времени Рейхенбаха основана на разделении овремененных высказываний в грамматике английского языка путем определения трех элементов:

точки события (момент времени, в котором происходит само событие), точки проявления (момент времени, в котором высказывание воспроизводится в речи), точки соотнесения (момент времени, к которому нас отсылает само выражение языка). Расположение данных элементов в определенной последовательности позволяет провести границу между основными грамматическими конструкциями времен английского языка. Как и в случае с парадоксом иллюзорности, анализ данной структуры способствовал поиску возможных путей репрезентации овремененных высказываний. Так было высказано предположение, что точку события можно рассматривать как момент настоящего, а соотнесение события с прошлым и будущим осуществлять при помощи временных операторов (Prior, 1957). Уже в дальнейшем соотнесение результатов анализа ранних моделей времени позволило Артуру Прайору сформулировать широко известную минимальную систему временной логики K_t (Prior, 1967).

Последующее изучение данной системы показало, что ряд ее положений носит явные следы детерминизма. Так, на основе анализа диодоровского понимания модальностей и реконструкций «главного аргумента» Прайор определил детерминистичность следующих аксиом системы K_t : «Всегда было, что будет A »; «Всегда будет, что было A ». Стремясь преодолеть детерминизм, он предложил идею логики ветвящегося времени, которая должна устранить детерминистичность следующего принципа: «Необходимо, что, если было истинно, что нечто произойдет, оно произойдет». В русскоязычной литературе данный принцип принято обозначать как аргумент от постдетерминации к преддетерминации. Прайор отмечает, что этот принцип неестественный, так как в момент сказывания событие, которое *должно* произойти, могло *уже* произойти и более оно может не повториться. Прайор обращается к работам Уильяма Оккама, в которых приводится возможность ограничения данного принципа на множестве тех выражений, которые нельзя представить как утверждения о будущем. В его представлении Оккам не отрицал того факта, что некоторые выражения о будущем, которым можно подобрать эквивалент в виде выражения о прошлом, могут быть необходимы. Важно именно то, что нельзя считать такого рода выражения необходимыми в силу отсылки к прошлому. С одной стороны, истинность или ложность высказываний о прошлом и настоящем уже определена, но, с другой стороны, будущее еще не наступило, а потому, даже если мы сталкиваемся подобной определенностью, для нас это неочевидно. Как итог Прайором был сформулирован принцип «жди

и смотри», который сводит вопрос о возможности определения истиннозначного статуса высказывания к моменту актуализации заложенных в нем событий (Prior, 1967: 123). На его основе им были предложены оккамистский и пирсовский варианты семантики логики ветвящегося времени. Данные варианты семантик представляют собой два способа ограничения действия аргумента от постдетерминации к преддетерминации. Семантика оккамистского типа позволяет на некотором моменте времени рассматривать область возможных исходов будущего с позиции так называемых «историй». Выражение типа «будет *A*» является истинным в некотором моменте времени только в том случае, если существует такой момент будущего, который принадлежит некоторой истории, что в данном моменте времени, в данной истории выражение «*A*» истинно. Выражение типа «необходимо *A*» является истинным в некотором моменте времени только в том случае, если для всякой истории, к которой принадлежит данный момент времени, выражение «*A*» истинно. Заданные таким образом условия истинности выражений «будет *A*» и «необходимо *A*» приводят к тому, что аргумент от постдетерминации к преддетерминации является ложным. Семантика Пирсового типа обходится без отсылки к понятию историй при описании возможных исходов будущего. Оценка овременных высказываний осуществляется непосредственно в моментах времени. Такой подход связан с интерпретацией Прайора относительно вопроса о понимании глагола «будет» в работах Пирса. С его точки зрения, данный глагол выражает наступление в будущем некоторого события со строгой определенностью. Выражение типа «будет *A*» не может считаться истинным до тех пор, пока не будет достоверно установлено, что *A* имеет место в будущем. Иными словами, Прайор приходит к идее, что в данном случае высказывания о будущем следует интерпретировать как высказывания о необходимости, поскольку в работах Пирса четко прослеживаются представления о прошлом и настоящем как области актуального (царства грубых фактов) и о будущем как области необходимого и возможного. Заданные таким образом условия истинности выражений «будет *A*» и «необходимо *A*» приводят к тому, что аргумент от постдетерминации к преддетерминации является тавтологией типа «если *A*, то *A*», а потому не влечет за собой детерминистических следствий. Хорошо известен факт, что семантика Пирсового типа может быть представлена как фрагмент семантики оккамовского типа, но обратная процедура невозможна (ibid.: 128–134).

Сформулированная Артуром Прайором и получившая формализацию в работах Ричмонда Томасона (Thomason, 1984: 135–165) идея логики

ветвящегося времени определила подход к проблематике детерминизма в рамках временной логики. Дальнейшие исследования в этой области расходятся. В определенный момент был поставлен вопрос о возможности достижения компатибилистской позиции, при которой сохраняются позитивные и устраняются негативные следствия принятия детерминизма. Одним из первых его стал разрабатывать Петер Эрстрем (Ohlstrom, 1984), который предложил идею совмещения в рамках логики ветвящегося времени ряда теологических идей, прослеживаемых в работах Ансельма Кентерберийского, Уильяма Оккама и Готфрида Лейбница. В работах Ансельма Эрстрем отмечает, что важным аспектом понимания природы детерминизма служит выделение двух интерпретаций необходимости: предшествующей (*necessitas praecedens*) и последующей (*necessitas sequens*). Предшествующая необходимость может быть достигнута только при соблюдении определенных условий, тогда как необходимость последующая достигается за счет логического следования из совокупности известных фактов о мире. Данное различие позволяет Ансельму, с одной стороны, принимать следствие аргумента от постдетерминации к преддетерминации, а с другой стороны, признавать одновременно всезнание Бога и свободу воли человека. Также в работах Ансельма четко прослеживается внетемпоральная интерпретация догмата о всезнании Бога, согласно которой всезнание определяется как одномоментное наблюдение фактов о мире (*ibid.*: 212–214). В представлении Эрстрема подобное понимание разделял и Оккам. В работах первого также можно проследить, что в рассуждениях о вопросе всезнания Бога необходимость интерпретируется как последующая (*ibid.*: 215). Эрстрем обращается к рассмотрению Оккамом аргумента от постдетерминации к преддетерминации и дает критическую оценку реконструкции Прайора. С его точки зрения, принцип «жди и смотри» не работает, так как он вызывает противоречия при анализе высказываний, которые можно понимать как пророчества. Пророчества отсылают нас к событиям будущего, которые становятся необходимыми в силу самого факта указания на них. Раскрытие события будущего лишает его случайности — будущее становится неизбежным (*ibid.*: 216). Можно говорить о том, что отсутствие возможности определения истиннозначного статуса высказывания о будущем до момента его актуализации имеет место только в рамках человеческого уровня понимания. Для Бога же этот истиннозначный статус известен. По мнению Эрстрема, подобную идею можно отобразить в семантике оккамистского типа за счет дополнительного выделения отдельной линии актуального будущего (*ibid.*: 218).

С одной стороны, допускается возможность различного исхода событий, что подтверждает догмат о свободе воли человека, а с другой стороны, высказывание является истинным только в том случае, когда оно находится в рамках актуальной истории. Выделение Эрстремом идеи о линии актуального будущего позволяет ему перейти к анализу работ Лейбница и концепции возможных миров. Он обращает внимание на вопрос о важности ограничения принципа необходимости истинности событий прошлого (Ohrstrom, 1984: 219–220). В понимании Лейбница, так как события прошлого реализовали себя, они принадлежат к актуальному миру. Но если в прошлом было истинно некоторое утверждение о будущем, оно не будет являться необходимым в силу наличия других возможных миров. В данном случае можно говорить о том, что до момента актуализации возможность альтернативы была. Поэтому если мы рассмотрим принцип о необходимости истинности событий прошлого, подобно тому как это показано в работах Оккама, можно избежать детерминизма. Возможность совмещения идей Ансельма, Оккама и Лейбница привела Эрстрема к идее создания системы логики ветвящегося времени с выделением линии актуального будущего.

В дальнейшем эта система была формализована и получила название гипотезы Thin Red Line. Именно вокруг нее складывается дальнейшая дискуссия о возможности достижения компатибилистской позиции в рамках логики ветвящегося времени. Один ряд исследователей признает гипотезу Thin Red Line обоснованной — в литературе их принято называть актуалистами. Другой ряд исследователей, напротив, обоснованной теорию Thin Red Line не признает — их принято называть антактуалистами (Burgess, 1978). Одним из факторов данного разделения принято считать критическую работу Ньюэла Белнапа и Митчела Грина «Indeterminism and the Thin Red Line» (Belnap & Green, 1994). В ней выдвигается тезис о том, что гипотеза Thin Red Line не может адекватно отобразить идею об актуальном будущем, вследствие чего она становится детерминистической. По мнению Белнапа и Грина, это связано с так называемой проблемой утверждения — ситуацией, при которой ряд овремененных высказываний о будущем не может иметь оценки. В частности, рассматривается пример выражения «Монета упадет аверсом». Авторы утверждают, что гипотеза Thin Red Line не может объяснить, как интерпретировать такого рода выражения, поскольку в языке говорится, что монета *именно упадет* (will), а не что она может или не может упасть. Они отмечают, что, несмотря

на свою ценность в качестве компатибилистского подхода к детерминизму в рамках логики ветвящегося времени, гипотеза Thin Red Line в виде, сформулированном в работах Эрстрема, имеет серьезные проблемы с адекватным отображением самой идеи актуальности будущего. В дальнейшем исследователи пытались выразить природу этих проблем конкретно (Belnap, 2021; Borghini and Torrengo, 2013). В общем виде она сводится к двум тезисам. С одной стороны, гипотеза Thin Red Line неспособна адекватно отобразить актуальность будущего в силу особенностей онтологического статуса объектов самой гипотезы. С другой стороны, гипотеза Thin Red Line неспособна адекватно отобразить актуальность будущего в силу невозможности оценки высказываний, находящихся за пределами линии актуального будущего. На текущий момент можно говорить о том, что исследование проблематики детерминизма в рамках логики ветвящегося времени расходится на два самостоятельных направления. Первое из них связано с дальнейшими работами Бэлнапа и предложенным им проектом ветвящегося пространства — времени (branching space–time) (Belnap, 1992; 2021; Belnap et al., 2021a; Belnap et al., 2021b; Belnap & Placek, 2012:). Общей идеей данного концепта можно считать попытку совместить представления об индетерминизме с положениями релятивистской физики. В частности, рассматривается идея так называемых «точек выбора» — моментов времени, на которых будущее может развиваться разными путями. Отдельно исследуется онтологическая природа становления события в момент выбора, действие и существование агентов, необходимых для формирования возможности самого события. К сторонникам данного подхода, помимо самого Бэлнапа, можно отнести Томаса Мюллера и Томаша Плачека. Другое направление продолжает развитие гипотезы Thin Red Line и связано с поисками путей преодоления основных онтологических и семантических проблем раннего варианта гипотезы. К нему можно отнести другие поздние работы Петера Эрстрема (Ohrstrom, 2009; 2014; Ohrstrom & Hasle, 1995; Ploug & Ohrstrom, 2012). Отдельно стоит отметить работу Алекса Мальпасса и Яцека Вейвера «A Future For the Thin Red Line» (Malpass & Wawer, 2012: 2012). Ими отмечается, что возражения Бэлнапа можно преодолеть за счет добавления в семантику гипотезы Thin Red Line новых модальных операторов. Базовым оператором в их представлении должен стать оператор «would», задача которого заключается в обеспечении возможности определения истиннозначного статуса овремененных высказываний, лежащих за пределами линии актуального будущего, без смещения самой линии актуального будущего.

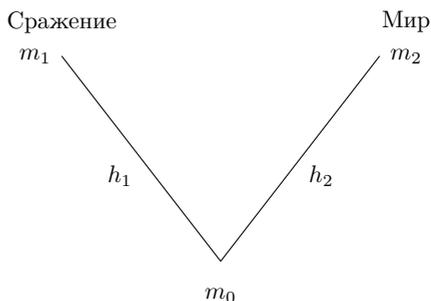
В частности, они предложили оторвать строгую привязку оператора *F* к линии актуального будущего, так как в рамках новой семантики он имеет более широкий смысл, чем «действительно будет». Данное изменение приводит к введению дополнительных пресыщенных оценок *TRL*-истина и *TRL*-ложь, необходимых для более точного отображения идеи об актуальности будущего в контексте оккамизма (Malpass & Wawer, 2012: 131–138). Развитие данного подхода продолжается в последующих работах и на сегодняшний момент не завершено (Wawer, 2014; Wawer, Malpass, 2020; Wawer, Wroński, 2015).

СТАНОВЛЕНИЕ ИДЕИ СЕМАНТИКИ ПЕРЕХОДОВ

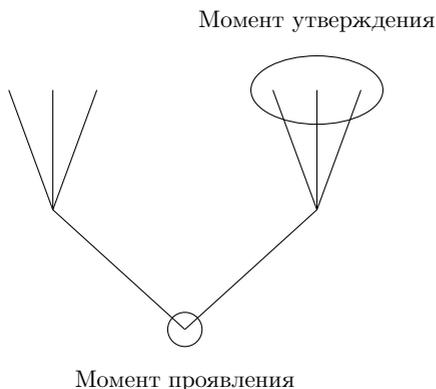
Исходящие из анализа детерминизма онтологические и семантические проблемы оценки овремененных высказываний в рамках логики ветвящегося времени до настоящего момента не разрешены. В начале XXI века были намечены перспективы для поиска альтернатив уже устоявшейся концепции оценки через пары <момент, история>. В частности, примечательна статья Джона Макфарлейна «Future Contingents and Relative Truth» (MacFarlane, 2003), в которой рассматривается вопрос об определении условий адекватной репрезентации идеи открытого будущего. Макфарлейн подробно описывает представление о детерминизме и индетерминизме при рассмотрении высказываний в логике ветвящегося времени, которые он обозначает как философские интуиции. Он убежден, что для репрезентации идеи открытого будущего необходимо совмещение обеих интуиций. Ранее было показано, что данные представления при совместном рассмотрении вызывают противоречие, а попытка достижения компатибилистской позиции за счет гипотезы *Thin Red Line* пока не достигла успеха. Макфарлейн дает свою критическую оценку гипотезы и утверждает, что она отражает иллюзию, возникающую от некорректного совмещения внешней и внутренней перспективы рассмотрения овремененных высказываний в семантике (ibid.: 326). В рамках гипотезы *Thin Red Line* высказывание не рассматривается с позиции конкретного момента времени. Можно говорить о том, что оценка происходит со стороны (*God's eye point of view*) путем рассмотрения всей древовидной структуры. Им было высказано предположение, что главная проблема в данном случае — это приверженность философского сообщества к так называемой позиции контекста проявления (*utterance*). В основе этого представления лежит установка на то, что истиннозначный статус высказывания в момент проявления не может носить релятивистский характер. Иными словами,

истиннозначный статус не зависит от сторонних условий. В поисках решения данной проблемы Макфарлейн обращается к работам Дэвида Льюиса. В них высказывается предположение, что, возможно, стоит отказаться от самой идеи ветвления. С одной стороны, в рамках позиции индетерминизма признается, что условия проявления будущего не имеют строгой привязки к одной истории. С другой стороны, для сохранения детерминизма можно определить, что каждое проявление будущего имеет место в рамках уникального возможного мира, который привязан к уникальной истории. К сожалению, данная альтернатива страдает от тех же недостатков, что и гипотеза Thin Red Line (Belnap, 2021: 206–209). Макфарлейн предлагает свое, как он выражается, «естественное» решение для релятивизации позиции контекста проявления за счет привязки к контексту утверждения.

В примере «завтра будет морское сражение» проявление истинно как утверждение на m_1 , ложно как утверждение на m_2 и не определено как утверждение на m_0 . Для решения данной задачи он предлагает свой вариант расширения индексной семантики. Вместо определения истинности на контексте проявления (truth at a context) вводится определение истинности на точке оценки (truth at a point of evaluation). Точка оценки представляется как совокупность параметров, определяющих агента, воспроизводящего высказывание в речи, время и место проявления высказывания. Так, для высказывания «я стал чемпионом мира по шахматам» можно определить следующую совокупность параметров: агент — Владимир Борисович Крамник, место проявления — город Элиста, время проявления — 2006 год. Данное расширение позволяет Макфарлейну разграничить семантику и постсемантику как два разных уровня индексации, что можно представить следующим образом: семантика → истинность на точке оценки → постсемантика → истинность на контексте проявления. Постсемантика выступает промежуточным звеном, поэтому ее корректное определение и должно решить задачу релятивизации позиции контекста проявления к контексту утверждения (MacFarlane, 2003: 329). Семантика задается следующим образом. Выражение «будет A » истинно в моменте времени m , принадлежащем определенной



истории h , если и только если из момента t достигим принадлежащий истории h момент t_1 и выражение « A » истинно на моменте времени t_1 , принадлежащем истории h . Выражение «установлено A » (settled that) истинно в моменте времени t , принадлежащем определенной истории h , если и только если для всякой истории h_1 , проходящей через t , выражение « A » истинно на моменте времени t , принадлежащем истории h_1 . Постсемантика задается путем так называемой двойной референции. Выражение A истинно/ложно в контексте проявления u и контексте утверждения a , если и только если A истинно/ложно в каждом моменте времени t , принадлежащем определенной истории h , что t является моментом проявления u , h проходит через t и (если момент a достигим из t) h проходит через a . Как итог, оценка выражения A осуществляется с учетом момента проявления, всех проходящих через этот момент историй, а также момента утверждения (MacFarlane, 2003: 331).

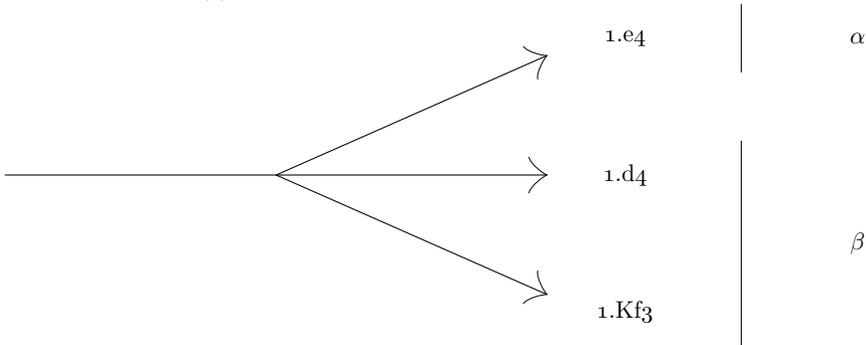


Таким образом, если вернуться к примеру «завтра будет морское сражение», можно понять, что на семантическом уровне оно истинно в принадлежащий истории h_1 момент t_0 и ложно в момент t_0 , принадлежащий истории h_2 . На постсемантическом уровне ситуация иная. Если t_0 — это момент проявления u и одновременно момент утверждения a , оно не определено. Если t_0 — момент проявления u и t_1 — момент утверждения a , оно истинно.

Если t_0 — момент проявления u и t_2 — момент утверждения a , оно ложно.

Идея разграничения семантики и постсемантики совместно с предложенным вариантом релятивизации контекста проявления расширила представление исследователей о возможности достижения компатилистской позиции в рамках логики ветвящегося времени. Это позволило Макфарлейну продолжить работу в сторону изучения аспектов чувствительности оценки (assessment sensitivity) (MacFarlane, 2013). Как итог, были сформированы предпосылки для создания альтернативных подходов оценки овремененных высказываний, среди которых оказалась и семантика переходов. Данные альтернативы отражены в работе Томаса

Мюллера (Muller, 2013). Предполагается, что истории, как полноценные пути возможного исхода событий, должны корректно отражать идею модальной упорядоченности. Множество событий модально упорядочено, если и только если существует история, содержащая данное множество. Представленное определение предполагает, что истории выступают как глобальный объект, отражающий во всей полноте пространство и время. Логика ветвящегося времени должна, с одной стороны, быть «гуманистической» (отражать образ повседневной человеческой жизни), но, с другой стороны, научной (отражать образ мира в соответствии с результатами научной практики). Истории, таким образом, выполняют две важные функции: они лежат в основе как аксиоматизации, так и семантики. Их определение в рамках ветвления описывает весь наш мир от большого взрыва до «смерти» Вселенной. В свою очередь, модальная упорядоченность имеет определенные локальные аспекты, которые классическое представление об истории отражает некорректно. В общем виде их можно определить следующим образом (ibid.: 351–356). С одной стороны, модальная упорядоченность может быть выражена эксплицитно. В ситуации, когда имеются различные возможные исходы событий, каждый исход рассматривается отдельно, а потому является модально упорядоченным сам по себе. При ветвлении в момент выбора в рамках отдельного исхода нет необходимости полноценно описывать возможные исходы во всей их полноте.



Играя белыми фигурами шахматную партию, я могу сделать ходы 1. e4, 1. d4, 1. Kf3. При анализе варианта с ходом 1. e4 — α у меня нет необходимости держать в голове все возможные исходы партии при других первых ходах — β . С другой стороны, если взглянуть на модальную упорядоченность с обратной позиции — модальной неупорядоченности, можно заметить, что в ней локальное рассмотрение отдельного исхода

позволяет реконструировать оставшиеся альтернативы. Имея модально неупорядоченный исход, при котором я начинаю партию одновременно ходом 1. e4 и 1. d4, за счет того что ряд явлений нашего мира просто несовместны, можно комбинаторно определить оставшиеся модально неупорядоченные исходы: 1. e4 и 1. Kf3, 1. d4 и 1. Kf3. Наконец, с семантической точки зрения результат Макфарлейна показал, что в рамках оценки высказываний о будущем нет необходимости рассматривать всю последовательность событий мира от начала и до конца времен. Достаточно доступа к локальному участку, отражающему момент проявления и момент утверждения. Мюллером было высказано предположение, что идея переходов, как обобщение модели Макфарлейна, позволит корректно отобразить локальное понимание модальной упорядоченности.

Для этого сначала необходимо задать отношение неразделенности историй. Истории h_1 и h_2 являются неразделенными в момент события e , если и только если событие e принадлежит пересечению этих историй, а также верно, что существует событие e' , следующее за e , что оно также принадлежит пересечению этих историй. Отношение неразделенности позволяет показать, что истории могут развиваться совместно некоторое время после наступления определенного события. Заданное отношение дает возможность перейти к определению перехода. Обозначим Π_e (множество возможных исходов события) как разбиение множества историй, содержащих событие e , посредством отношения неразделенности. Тогда пара $\langle e, H \rangle$ где множество историй H принадлежит множеству возможных исходов события Π_e , является переходом. Заданное определение перехода позволяет по-новому рассмотреть проблему модальной упорядоченности. Вместо вопроса о том, является ли вся история (total scenario), содержащая в себе событие, модально упорядоченной, можно перейти к вопросу о том, является ли модально упорядоченным множество переходов (Muller, 2013: 354). Множество переходов упорядоченно, если и только если все переходы осуществляются в рамках одной истории. В работе Мюллера доказывается соответствующая лемма (ibid.: 355–356). Далее Мюллером предлагается вариант семантики переходов как вариант расширения оккамистской семантики (ibid.: 361). В изложенном виде она позволяет реализовать обобщение модели Макфарлена, а также решить проблему адекватной репрезентации локальных аспектов модальной упорядоченности. Множества переходов представляют собой в данном случае удобный технический инструмент. Они не слишком большие, чтобы мы не могли получить

к ним доступ, и не слишком малые, чтобы не предоставлять нам информацию о факте события. Стоит отметить и ряд других преимуществ данного варианта семантики. С одной стороны, она позволяет сохранить единство с уже имеющимися семантическими правилами; в рамках пар $\langle e, H \rangle$ нет необходимости вводить другие дополнительные параметры. С другой стороны, данный вариант семантики позволяет расширить ее в сторону теории ветвящегося пространства — времени. Результат Мюллера стал основой для дальнейшего развития семантики переходов, которое, как будет показано далее, позволило использовать ее как инструмент для решения ряда вопросов в проблематике детерминизма.

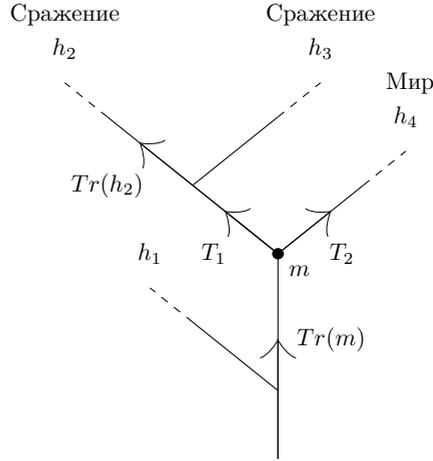
СЕМАНТИКА ПЕРЕХОДОВ КАК ПОДХОД К ДЕТЕРМИНИЗМУ

Последующее развитие семантики переходов связано с работами Антье Румберг. В статье *Transition Semantics for Branching Time* предлагается расширение семантики переходов как обобщение и расширение уже сложившихся вариантов семантик оккамовского и Пирсового типа (Rumberg, 2016). В основе ее варианта лежат описанные выше вопросы адекватного отображения идеи открытого будущего и локальных аспектов модальной упорядоченности. Румберг дает собственную оценку семантик оккамовского и Пирсового типа и предлагает ввести в рамках семантики переходов оператор стабильности. Последний позволяет, с одной стороны, описать спектр возможных исходов события, а с другой, точно определить, сколько именно потребуется времени, для того чтобы в будущем был установлен (settled) конкретный исход (стабильно истинный или стабильно ложный) (ibid.: 83). Предварительно вводится понятие нисходяще-замкнутого (downward closed) множества переходов. Множество переходов — нисходяще-замкнутое, если оно содержит все переходы, предшествующие любому переходу данного множества. Результат нисходящего замыкания обозначается как нисходящее пополнение множества переходов — $dc(T)$. В рамках структуры логики ветвящегося времени $dcts(T)$ обозначает множество упорядоченных нисходяще-замкнутых множеств переходов, включающее как минимум пустое множество переходов — \emptyset_{Tr} . Иными словами, данное множество обязательно включает в себя пополнение $dc(T)$. Каждое упорядоченное нисходяще-замкнутое множество переходов взаимно-однозначно соответствует завершённому или не завершённому возможному исходу события. Ограничение оценки за счет понятия нисходяще-замкнутого множества переходов позволяет отобразить идею о том, что будущее

строго зафиксировано и каждое расширение заданного множества переходов влияет на будущее и исключает как минимум одну историю (Rumberg, 2016: 89). Каждое упорядоченное нисходяще-замкнутое множество переходов взаимно-однозначно соответствует завершённому или не завершённому возможному исходу события. Для того чтобы обеспечить данное соответствие, важно, чтобы множество переходов допускало как минимум одну историю, содержащую момент оценки m . Момент оценки m должен быть совместим с множеством переходов, принадлежащим $dcts(T)$. Тогда оценка формул задается следующим образом (Григорьев, 2021): выражение «будет A » истинно в момент времени t на множестве переходов T , если и только если для всякого множества переходов T' , принадлежащего T , верно, что, если оно совместимо с t , существует последующий момент времени t' , совместимый с T' , и в момент t' на множестве переходов T' выражение « A » истинно. Выражение «возможно A » истинно в момент времени t на множестве переходов T , если и только если существует совместимое с t множество переходов T' , принадлежащее множеству упорядоченных нисходяще-замкнутых множеств переходов $dcts(T)$, верно, что в момент t на множестве переходов T' выражение « A » истинно. Выражение «стабильно A » истинно в момент времени t на множестве переходов T , если и только если для всякого множества переходов T' , принадлежащего T , верно, что, если оно совместимо с t , в момент t на множестве переходов T' выражение « A » истинно. Также можно определить выражение «нестабильно A », эквивалентное выражению «неверно, что стабильно не A ». Если выражение «стабильно A » является истинным/ложным в момент времени t на множестве переходов T , то выражение « A » называется стабильно истинным (stably-true)/стабильно ложным (stably-false). Заданные семантические правила, как в случае с моделью Макфарлейна, позволяют точно охарактеризовать истиннозначный статус неопределённых событий. Выражение « A » не определено, если и только если верно, что выражение «нестабильно A и нестабильно не A » истинно. Неопределённое выражение может стать стабильно истинным или стабильно ложным в рамках расширения множества переходов. Иными словами, неопределённое выражение со временем обретает стабильность и получает определённое значение.

Рассмотрим снова пример с выражением «завтра будет морское сражение». В случае с пустым множеством переходов \emptyset_{Tr} из рассмотрения не исключается ни одна история, проходящая через m . Тогда выражения

«завтра будет морское сражение» и «завтра не будет морского сражения» ложны, так как, с одной стороны, пустое множество переходов допускает историю h_4 и, с другой стороны, допускает истории h_2 и h_3 . Аналогично происходит в случае множества переходов $Tr(m)$. В случае множества переходов T_1 выражение «завтра будет морское сражение» является истинным, а «завтра не будет морского сражения» — ложным. Множество T_1 исключает любую историю, в которой не достаёт свидетельства о наступлении морского сражения в будущем. Для множества переходов T_2 , наоборот, выражение «завтра будет морское сражение» является ложным, а «завтра не будет морского сражения» — истинным. Тогда выражения «возможно, завтра будет морское сражение», «возможно, неверно, что завтра не будет морского сражения», «возможно, завтра не будет морского сражения» и «возможно, неверно, что завтра будет морское сражение» являются истинными в момент m . Последнее позволяет показать, что истинность будущего и неизбежность его наступления определяются совместно. Случай с множеством переходов $Tr(h_2)$ аналогичен случаю T_1 за исключением того, что T_1 обеспечивает локальное свидетельство возможности наступления морского сражения, где отражается более чем одна история. В силу того, что T_1 и T_2 — это расширения множества переходов $Tr(m)$, выражения «нестабильно, что завтра будет морское сражение» и «нестабильно, что завтра не будет морского сражения» истинны. Исходное выражение «завтра будет морское сражение» не является ни стабильно истинным, ни стабильно ложным, что и требуется для демонстрации неопределенности истиннозначного статуса данного высказывания в момент m . В свою очередь, в рамках множеств переходов T_1 и T_2 оно обретает стабильность. Как только будущее раскрывает себя, одно из возможных значений выражения стабилизируется. Заданная таким образом семантика позволяет показать, что семантики оккамовского и Пирсового типа — это ее предельные случаи (Rumberg, 2016: 97–103). Если для



оценки используется максимальное совместное множество переходов, то допускается ровно одна история — это приводит к получению варианта оккамовского типа. При ограничении пустым множеством переходов \emptyset_{Tr} допускаются все возможные варианты историй, что приводит варианту Пирсового типа. В рассматриваемой статье этому приводятся соответствующие доказательства. В дальнейшем Румберг продолжила разрабатывать идею первопорядково-определимого варианта семантики переходов (Rumberg & Zanardo, 2019), этим она занимается и сегодня.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как можно заметить, получившийся вариант семантики позволяет разрешить сразу несколько основных вопросов относительно детерминизма. Во-первых, этот вариант семантики сформировался как результат поиска альтернатив уже сложившихся подходов к детерминизму в рамках временной логики. Семантика переходов выступает как тонкий инструмент отображения идеи открытого будущего, локальных аспектов модальной упорядоченности, возможности корректной оценки неопределенных высказываний. Само осмысление семантики переходов расширяет наши исходные представления о данных идеях. Во-вторых, этот вариант семантики позволяет по-новому реализовать классическое представление Прайора о принципе «жди и смотри» за счет добавления оператора стабильности. Неопределенное высказывание о будущем обретает стабильность только тогда, когда само будущее раскрывает себя. Но несмотря на перечисленные выше достоинства, семантика переходов не может избежать определенной критики. Как было отмечено ранее, принцип «жди и смотри» — это ядро логико-философского обоснования идеи логики ветвящегося времени в ее изначальном виде. Получение его новой реализации, по существу, сталкивается с теми же возражениями, которые были выдвинуты исследователями после Прайора. Ранее мы отмечали, что появление семантики переходов связано с рассмотрением в работах Мюллера вопроса о модальной упорядоченности. Стремление показать ее локальные аспекты, на наш взгляд, обоснованно, что находит свое отражение в описанном в работе примере с шахматной игрой. Но при этом существуют ситуации, когда отклонение в сторону локальных аспектов создает большие трудности. По аналогии со словами Макфарлейна и Мюллера можно сказать, что иногда нам необходимо рассмотреть высказывание «с позиции Бога» (total scenario). В частности, это касается высказываний, носящих условный характер и характер пророчеств, на что еще давно обращал внимание Эрстрем (Ohlstrom,

1984; 2014). Нам кажется, что для таких случаев пока не представляется альтернативы, кроме как обращения к описанной ранее идее актуальности будущего. Необходимо показать, что семантика переходов в ситуации, когда оккамистский и Пирсовый варианты представлены как ее предельные случаи, корректно отображает глобальный характер модальной упорядоченности. Техническая узконаправленность данного варианта семантики ставит под вопрос ее использование в качестве отображения идеи компатибилизма, что может, на наш взгляд, стать предметом дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- Аристотель*. Об истолковании / пер. с древнегреч. А. В. Кубицкого // Сочинения. В 4 т. Т. 2. — М. : Мысль, 1978. — С. 92—116.
- Вригт Г. фон*. Детерминизм и высказывания о будущих событиях / пер. с англ. А. С. Карпенко // Логико-философские исследования. Избранные труды / пер. с англ. А. С. Карпенко, Е. И. Тарусиной, А. Ю. Муравицкого. — М. : Прогресс, 1986. — С. 539—554.
- Григорьев О. М.* Системы временной логики I : моменты, истории, деревья // Логические исследования. — 2021. — Т. 27, № 2. — С. 153—184.
- Лукашевич Я.* О детерминизме // О принципе противоречия у Аристотеля : критическое исследование / пер. с пол. Б. Т. Домбровского. — М., СПб. : Центр гуманитарных инициатив, 2012. — С. 215—238.
- Пиманов А. С.* Детерминизм и его влияние на временные онтологии // Ценности и смыслы. — 2022. — Т. 78, № 2. — С. 28—46.
- Belnap N.* Branching Space-Time // Synthese. — 1992. — Vol. 92, no. 3. — P. 385—434.
- Belnap N.* Facing the Future : Agents and Choices in Our Indeterminist World. — Oxford University Press : Oxford, 2021.
- Belnap N., Green M.* Branching Space-Time // Philosophical Perspectives. — 1994. — Vol. 8. — P. 365—388.
- Belnap N., Muller T., Placek T.* Branching Space-Times : Theory and Applications. — Oxford University Press : Oxford, 2021a.
- Belnap N., Muller T., Placek T.* New Foundations for Branching Space-Times // Studia Logica. — 2021b. — Vol. 109. — P. 239—284.
- Belnap N., Placek T.* Indeterminism Is a Modal Notion : Branching Spacetimes and Earman's Pruning // Synthese. — 2012. — Vol. 187. — P. 441—469.
- Borghini A., Torrenzo G.* The Metaphysics of the Thin Red Line // Around the Tree : Semantic and Metaphysical Issues Concerning Branching and the Open Future / ed. by F. Correia, A. Iacona. — Dordrecht : Springer, 2013. — P. 105—125.
- Burgess J.* The Unreal Future // Theoria. — 1978. — Vol. 44, no. 3. — P. 157—179.

- Heather D.* McTaggart and the Truth about Time // Time, Reality and Experience / ed. by C. Callender. — Cambridge : Cambridge University Press, 2002. — P. 137–152.
- MacFarlane J.* Future Contingents and Relative Truth // The Philosophical Quarterly. — 2003. — Vol. 53, no. 212. — P. 321–336.
- MacFarlane J.* Assessment Sensitivity. Relative Truth and Its Applications. — Clarendon Press : Oxford, 2013.
- Malpass A., Wawer J.* A Future for the Thin Red Line // Synthese. — 2012. — Vol. 188, no. 1. — P. 117–142.
- Mates B.* Stoic Logic. — University of California Press : Berkeley, 1953.
- McTaggart J. E.* The Unreality of Time // Mind, New Series. — 1908. — Vol. 17, no. 68. — P. 457–474.
- Michael F. S.* What Is the Master Argument of Diodorus Cronus? // American Philosophical Quarterly. — 1976. — Vol. 13, no. 3. — P. 229–235.
- Muller T.* Alternatives to Histories? Employing a Local Notion of Modal Consistency in Branching Theories // Erkenntnis. — 2013. — Vol. 79. — P. 343–364.
- Muller T.* Time and Determinism // Journal of Philosophical Logic. — 2015. — Vol. 44. — P. 729–740.
- Ohrstrom P.* Anselm, Ockham and Leibniz on Divine Foreknowledge and Human Freedom // Erkenntnis. — 1984. — Vol. 21, no. 2. — P. 209–222.
- Ohrstrom P.* In Defence of the Thin Red Line : A Case for Ockhamism // Humana Mentis. — 2009. — Vol. 8. — P. 17–32.
- Ohrstrom P.* What William of Ockham and Luis de Molina Would Have Said to Nuel Belnap : A Discussion of Some Arguments against “The Thin Red Line” // Nuel Belnap on Indeterminism and Free Action / ed. by T. Müller. — Dordrecht : Springer, 2014. — P. 175–190.
- Ohrstrom P., Hasle P.* Temporal Logic : From Ancient Ideas to Artificial Intelligence. — Kluwer Academic Publishers : Dordrecht, 1995.
- Ploug T., Ohrstrom P.* Branching Time, Indeterminism and Tense Logic // Synthese. — 2012. — Vol. 188, no. 3. — P. 367–379.
- Prior A. N.* Diodoran Modalities // The Philosophical Quarterly. — 1955. — Vol. 5, no. 20. — P. 205–213.
- Prior A. N.* Time and Modality. — Clarendon Press : Oxford, 1957.
- Prior A. N.* Past, Present and Future. — Clarendon Press : Oxford, 1967.
- Reichenbach H.* Elements of Symbolic Logic. — Macmillan : New York, 1947.
- Rescher N.* A Version of the “Master Argument” of Diodorus // The Journal of Philosophy. — 1966. — Vol. 63, no. 15. — P. 75–96.
- Rumberg A.* Transition Semantics for Branching Time // Journal of Logic, Language and Information. — 2016. — Vol. 25. — P. 77–108.
- Rumberg A., Zanardo A.* First-Order Definability of Transition Structures // Journal of Logic, Language and Information. — 2019. — Vol. 28, no. 3. — P. 459–488.

- Thomason R.* Combinations of Tense and Modality // Handbook of Philosophical Logic, Vol. 2 : Extensions of Classical Logic / ed. by D. M. Gabbay, F. Guentner. — Dordrecht : Springer, 1984. — P. 135–165.
- Waver J.* The Truth About the Future // Erkenntnis. — 2014. — Vol. 79, no. 3. — P. 365–401.
- Waver J., Malpass A.* Back to the Actual Future // Synthese. — 2020. — Vol. 197, no. 5. — P. 2193–2213.
- Waver J., Wroński L.* Towards a New Theory of Historical Counterfactuals / Academia. — 2015. — URL: https://www.academia.edu/14486345/Towards_a_new_theory_of_historical_counterfactuals (visited on June 11, 2021).
- Weatherford R.* The Implications of Determinism // Routledge Library Editions : Free Will and Determinism. — Abingdon : Routledge, 2017.

Pimanov, A. S. 2023. “Semantika perekhodov i determinizm vo vremennoy logike [Transition Semantics and Determinism in Temporal Logic]” [in Russian]. *Filosofiya. Zhurnal Vysshey shkoly ekonomiki [Philosophy. Journal of the Higher School of Economics]* 7 (2), 261–283.

ARTEM PIMANOV

PHD STUDENT

LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY (MOSCOW, RUSSIA); ORCID: 0000-0003-4179-6589

TRANSITION SEMANTICS AND DETERMINISM IN TEMPORAL LOGIC

Submitted: Jan. 24, 2023. Reviewed: Mar. 25, 2023. Accepted: Apr. 06, 2023.

Abstract: This article discusses the preconditions for the formation of transition semantic in the context of determinism. The influence of ideas about determinism can be traced in various branches of philosophy, including temporal logic. Considering some aspects of determinism allows us to describe in detail the reasons for the formation in the logic of certain approaches to evaluating temporal statements. Thus, this paper considers Arthur Prior’s analysis of the deterministic arguments underlying the classical variants of Ockhamist and Peircean-type semantics and the “wait and see” principle. Further study of these semantics, for a number of logical and philosophical reasons, diverges into two independent and competing directions—Branching Space-Time and the Thin Red Line theory. These systems are variants of the evaluation of modern statements through pairs (moment, history), which still need to be completed due to some of their shortcomings. The latter has prompted some researchers to look for alternative evaluation options. In particular, the work of John McFarlane is noteworthy, where special attention is paid to determining the conditions for the adequate representation of the idea of an open future. In his understanding, the key condition is the combination of the two philosophical intuitions about determinism, which can be realized by relativizing the evaluation of statements through the context of the statement. Subsequently, these works were brought to the attention of Thomas Muller, who, dealing with the issue of mapping the local aspects of modal consistency (also from a philosophical point of view), put forward the idea of the transition semantic. Its current development is reflected in the works of Antje Rumberg,

who proposes a variant of semantics with the presence of the stability operator. The resulting variant of semantics allows us to solve several basic questions concerning determinism. In particular, the presence of the stability operator makes it possible to show the specific nature of the expression of statements about accidental events. Also, the evaluation of statements allows us to accurately and consistently implement the “wait and see” principle proposed by Prior. Nevertheless, this variant of semantics has a number of problems with the previously described notions about the essence of the future.

Keywords: Determinism, Transition Semantics, Branching Time Logic, Modal Consistency, Actual Future, Temporal Logic.

DOI: 10.17323/2587-8719-2023-2-261-283.

REFERENCES

- Aristotle. 1978. “Ob istolkovanii [De interpretatione]” [in Russian]. In vol. 2 of *Sochineniya [Collected Works]*, trans. from the Ancient Greek by A. V. Kubitskiy, 92–116. 4 vols. Moskva [Moscow]: Mysl’.
- Belnap, N. 1992. “Branching Space-Time.” *Synthese* 92 (3): 385–434.
- . 2021. *Facing the Future: Agents and Choices in Our Indeterminist World*. Oxford University Press: Oxford.
- Belnap, N., and M. Green. 1994. “Branching Space-Time.” *Philosophical Perspectives* 8:365–388.
- Belnap, N., T. Muller, and T. Placek. 2021a. *Branching Space-Times: Theory and Applications*. Oxford University Press: Oxford.
- . 2021b. “New Foundations for Branching Space-Times.” *Studia Logica* 109:239–284.
- Belnap, N., and T. Placek. 2012. “Indeterminism Is a Modal Notion: Branching Spacetimes and Earman’s Pruning.” *Synthese* 187:441–469.
- Borghini, A., and G. Torrengo. 2013. “The Metaphysics of the Thin Red Line.” In *Around the Tree: Semantic and Metaphysical Issues Concerning Branching and the Open Future*, ed. by F. Correia and A. Iacona, 105–125. Dordrecht: Springer.
- Burgess, J. 1978. “The Unreal Future.” *Theoria* 44 (3): 157–179.
- Grigor’ev, O. M. 2021. “Sistemy vremennoy logiki I [Systems of Temporal Logic]: momenty, istorii, derev’ya [Moments, Histories, Trees]” [in Russian]. *Logicheskiye issledovaniya [Logical Investigations]* 27 (2): 153–184.
- Heather, D. 2002. “McTaggart and the Truth about Time.” In *Time, Reality and Experience*, ed. by C. Callender, 137–152. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lukasevich, Ya. 2012. “O determinizme [O determinizmie]” [in Russian]. In *O printsipe protivorechiya u Aristotelya [O zasadzie sprzeczności u Arystotelesa]: kriticheckoye issledovaniye [studium krytyczne]*, by J. Łukasiewicz, trans. from the Polish by B. T. Dombrovskogo, 215–238. Moskva [Moscow] and Sankt-Peterburg [Saint Petersburg]: Tsentr gumanitarnykh initsiativ.
- MacFarlane, J. 2003. “Future Contingents and Relative Truth.” *The Philosophical Quarterly* 53 (212): 321–336.
- . 2013. *Assessment Sensitivity. Relative Truth and Its Applications*. Clarendon Press: Oxford.
- Malpass, A., and J. Wawer. 2012. “A Future for the Thin Red Line.” *Synthese* 188 (1): 117–142.
- Mates, B. 1953. *Stoic Logic*. University of California Press: Berkeley.
- McTaggart, J. E. 1908. “The Unreality of Time.” *Mind, New Series* 17 (68): 457–474.
- Michael, F. S. 1976. “What Is the Master Argument of Diodorus Cronus?” *American Philosophical Quarterly* 13 (3): 229–235.

- Muller, T. 2013. "Alternatives to Histories? Employing a Local Notion of Modal Consistency in Branching Theories." *Erkenntnis* 79:343–364.
- . 2015. "Time and Determinism." *Journal of Philosophical Logic* 44:729–740.
- Ohrstrom, P. 1984. "Anselm, Ockham and Leibniz on Divine Foreknowledge and Human Freedom." *Erkenntnis* 21 (2): 209–222.
- . 2009. "In Defence of the Thin Red Line: A Case for Ockhamism." *Humana Mente* 8:17–32.
- . 2014. "What William of Ockham and Luis de Molina Would Have Said to Nuel Belnap: A Discussion of Some Arguments against 'The Thin Red Line'." In *Nuel Belnap on Indeterminism and Free Action*, ed. by Th. Müller, 175–190. Dordrecht: Springer.
- Ohrstrom, P., and P. Hasle. 1995. *Temporal Logic: From Ancient Ideas to Artificial Intelligence*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht.
- Pimanov, A. S. 2022. "Determinizm i yego vliyaniye na vremennyye ontologii [Determinism and Its Influence on Temporal Ontologies]" [in Russian]. *Tsennosti i smysly [Values and Meanings]* 78 (2): 28–46.
- Ploug, T., and P. Ohrstrom. 2012. "Branching Time, Indeterminism and Tense Logic." *Synthese* 188 (3): 367–379.
- Prior, A. N. 1955. "Diodoran Modalities." *The Philosophical Quarterly* 5 (20): 205–213.
- . 1957. *Time and Modality*. Clarendon Press: Oxford.
- . 1967. *Past, Present and Future*. Clarendon Press: Oxford.
- Reichenbach, H. 1947. *Elements of Symbolic Logic*. Macmillan: New York.
- Rescher, N. 1966. "A Version of the 'Master Argument' of Diodorus." *The Journal of Philosophy* 63 (15): 75–96.
- Rumberg, A. 2016. "Transition Semantics for Branching Time." *Journal of Logic, Language and Information* 25:77–108.
- Rumberg, A., and A. Zanardo. 2019. "First-Order Definability of Transition Structures." *Journal of Logic, Language and Information* 28 (3): 459–488.
- Thomason, R. 1984. "Combinations of Tense and Modality." In *Handbook of Philosophical Logic, Vol. 2 : Extensions of Classical Logic*, ed. by D. M. Gabbay and F. Guentner, 135–165. Dordrecht: Springer.
- Wawer, J. 2014. "The Truth About the Future." *Erkenntnis* 79 (3): 365–401.
- Wawer, J., and A. Malpass. 2020. "Back to the Actual Future." *Synthese* 197 (5): 2193–2213.
- Wawer, J., and L. Wroński. 2015. "Towards a New Theory of Historical Counterfactuals." *Academia*. Accessed June 11, 2021. https://www.academia.edu/14486345/Towards_a_new_theory_of_historical_counterfactuals.
- Weatherford, R. 2017. "The Implications of Determinism." In *Routledge Library Editions : Free Will and Determinism*. Abingdon: Routledge.
- Wright, G. H. von. 1986. "Determinizm i vyskazyvaniya o budushchikh sobytiyakh [Determinism and Knowledge of the Future]" [in Russian]. In *Logiko-filosofskiye issledovaniya. Izbrannyye trudy [Logical and Philosophical Works. Selected Works]*, trans. from the English by A. S. Karpenko, 539–554. Moskva [Moscow]: Progress.