

Учет интервальной неопределенности при оценке эффективности инвестиционных проектов в нестационарной экономике России. Допущения и методы.

С. И. САВИЛОВ

Аннотация. Интервальная неопределенность – неопределенность, при которой известны только возможные значения эффекта, но не вероятность их наступления (известно только, что они положительны и в сумме дают 1). Такая неопределенность является наиболее распространенным фактором, который необходимо учитывать при оценке проектов. В статье указаны недостатки различных методов учета неопределенности и предложены обоснованные корректировки.

Ключевые слова: интервальная неопределенность, критерий Гурвица, принцип Гиббса-Джейнса, оценка инвестиционных проектов, нестационарная экономика

Введение

Устойчивое развитие частной компании или экономики всей страны невозможно без реализации инвестиционных проектов. Частные компании реализуют инвестиционные проекты в целях увеличения чистого дисконтированного дохода. Это может достигаться за счет увеличения объемов выпускаемой продукции, укорачивания производственного цикла, снижения издержек. Эффект от реализации инвестиционных проектов на государственном уровне выражается в росте производства, изменении экологических тенденций и ускорении научно-технического прогресса.

Инновационная деятельность во всем мире, и в России в частности, приобретает год от года все возрастающую значимость, оценить которую можно по объемам средств, инвестируемых странами в НИОКР. Так, в 2014 году в России затраты на инновации составили 1,5% от ВВП, в Германии и США – по 2,8%, в Японии – 3,4%, Южной Кореи – 3,6% [17]. При этом развитые страны (США, Германия, Япония, Южная Корея и др.) лидируют не только по количеству выделяемых инвестиционных средств, но и по показателям эффективности их использования. Одновременно с этим, у стран с переходной экономикой, таких как Россия и Белоруссия, показатели эффективности расходования средств на инновационную деятельность остаются на достаточно низком уровне [8].

Эффективность инновационной деятельности определяется еще на прединвестиционной стадии, когда инвестор делает выбор между существующими альтернативными проектами. Умение взве-

шенно подойти к такому выбору очень важно, так как не все проекты имеют положительный эффект. Таким образом, точность оценки проектов определяет эффективность реализации производственных инноваций. Поэтому ключевой проблемой является отбор проектов на прединвестиционной стадии и их точная оценка. Эта проблема осложнена наличием рисков и неопределенностей. Они оказывают большое влияние на итоговую оценку, а их учет – сложная задача, которая до сих пор обладает спорными решениями.

Ситуация в российской экономике осложняется ее нестационарностью. Обоснованность этого факта представлена в [2, 3, 6, 11, 12, 15]. Там же обозначено одно из характерных отличий типов экономик – структура рисков. В нестационарной экономике она более сложная и оказывает большее влияние на проект, что определяет неприменимость стандартной методики, принятой в развитых странах Запада для оценки проектов в нестационарной экономике [14]. А потому уточнение и адаптация под российские условия методики оценки рисков – актуальная и важная задача, необходимая для повышения эффективности реализации инвестиционных проектов, в особенности проектов производственного характера, обеспечивающих устойчивое развитие экономики России.

Учет интервальной неопределенности

Одним из распространенных случаев неопределенности является «интервальная неопределенность», которая в [9] выделена наряду с веро-

ятностной неопределенностью и определена как «случай, когда о вероятностях возможных сценариев известно только, что они положительны и в сумме равны 1». Существуют несколько методов учета такой неопределенности, каждый из которых обладает своими недостатками.

Критерий А. Вальда, максиминный. Критерий Вальда [5, 7, 10, 19] можно также назвать критерием пессимизма, потому что метод предлагает ожидать, что интервальная неопределенность реализуется наихудшим для инвестора способом. То есть проект оценивается своим минимально возможным эффектом. Предпочтение отдается проекту с наибольшей оценкой, то есть проекту с максимальным минимумом чистого дисконтированного дохода. Очевидный недостаток этого метода заключается в том, что оценка и ранжирование проектов не зависят от возможных значений проекта, кроме минимального.

Критерий Л. Гурвица, среднее арифметическое взвешенное из экстремальных значений возможного эффекта. Критерий Гурвица [5, 16, 20], впервые описанный в [18], еще называют критерием пессимизма-оптимизма, потому что этот метод предлагает оценивать проект как среднее арифметическое взвешенное наилучшего и наихудшего для инвестора возможных эффектов. В качестве весов для наименьшего и наибольшего возможных чистых дисконтированных доходов чаще всего предлагают использовать 0,7 и 0,3 соответственно. Однако для инвесторов, склонных к риску, или, наоборот, избегающих рисков, веса необходимо корректировать. Ранжирование проектов проводится на основе полученных оценок. В качестве недостатков эффекта стоит выделить: во-первых, игнорирование информации о промежуточном распределении возможных эффектов; во-вторых, зависимость оценки от предпочтений инвестора.

Критерий Т. Байеса – П. Лапласа, априорных вероятностей. Метод предлагает присвоить возможным эффектам вероятность их наступления, тем самым свести интервальную неопределенность к вероятностной. Далее необходимо оценить проект с помощью критерия Байеса, то есть как математическое ожидание эффекта. В случае, когда количество возможных эффектов конечно и равно N , чаще всего предлагается присвоить возможным эффектам равные вероятности $1/N$. Основным недостатком этого метода является необоснованность выбора вероятностного распределения. Попытка обосновать выбор вероятностного распределения присутствует в принципе Гиббса-Джейнса. Этот метод еще называют методом максимизации энтропии, потому что из всех возможных вероят-

ностных распределений предлагается отдавать предпочтение распределению с максимальной энтропией. Данный принцип пришел из раздела общей физики, термодинамики. Одна из формулировок второго начала термодинамики гласит: «энтропия изолированной системы не может уменьшаться». Принцип Гиббса-Джейнса предлагается использовать для статистических задач с неполной информацией [1].

Критерий на основе использования нечетких множеств Л. Заде. Этот метод предлагает оценивать интервальную неопределенность, используя так называемые нечеткие множества. Л. Заде ввел в рассмотрение нечеткие множества в [21]. Границы нечетких множеств размыты, а принадлежность объекта множеству определяется функцией принадлежности с возможными значениями из интервала (0; 1). Подробнее о нечетких множествах можно прочитать в [4, 13]. Основным недостатком этого метода является необоснованность в выборе функции принадлежности.

Наиболее признанным является критерий Гурвица, который был изложен в [16] и принят в методических рекомендациях по оценке эффективности инвестиционных проектов, утвержденных Минэкономки РФ, Минфином РФ, Госстроем.

Обоснование этого метода, представленное в [16, с. 70-71], базируется на трех аксиомах-допущениях, в которых постулируются особенности поиска ожидаемого эффекта проекта E .

Аксиома согласованности. «Проект, которому отвечает одноточечное множество $A = \{h\}$ возможных эффектов, естественно рассматривать как детерминированный, имеющий эффект h : $E(\{h\}) = h$ ».

Аксиома монотонности. «Проект X доминирует проект Y , если любой возможный эффект проекта X не меньше какого-то возможного эффекта проекта Y , а любой возможный эффект проекта Y не больше какого-то возможного эффекта проекта X ».

Аксиома аддитивности. «Пусть X и Y – независимые интервальные альтернативы, которым отвечают множества A и B соответственно. При слиянии обоих проектов, любой возможный эффект проекта X может сочетаться с эффектом Y , тогда возможными эффектами проекта $X \oplus Y$ будут точки множества $A \oplus B$ (сумма множеств A и B по Минковскому). Проект $X \oplus Y$ также считается интервальной альтернативой, причем ожидаемый эффект слияния проектов равен сумме ожидаемых эффектов: $E(A \oplus B) = E(A) + E(B)$ ».

Аксиома согласованности не вызывает сомнений в своей корректности, в то время как остальные аксиомы далее подвергнем критическому анализу. Подобный анализ также представлен в [14].

Предложенная аксиома монотонности определяет доминирование только экстремальными значениями возможных эффектов и не зависит от промежуточных. То есть проекты с возможными эффектами $\{1; 2; 4\}$ и $\{1; 3; 4\}$ считаются эквивалентными, что слабо согласуется со здравым смыслом.

Теперь рассмотрим внимательней аксиому аддитивности. Вполне естественно приравнять ожидаемый эффект от совместной реализации двух независимых проектов сумме эффектов этих проектов, реализованных по отдельности. Но разберемся, насколько параллельная реализация двух независимых интервальных альтернатив является интервальной альтернативой. Рассмотрим пример: пусть X и Y – независимые интервальные альтернативы, которым отвечают множества возможных эффектов $A\{-1; 1\}$ и $B\{0; 2\}$ соответственно. При слиянии проектов X и Y получаем проект Z , которому отвечает множество $A \oplus B = C\{-1; 1; 3\}$. Обозначим вероятность возможного эффекта -1 проекта X как a ; вероятность эффекта 1 проекта X – b ; вероятность эффекта 0 проекта Y – c ; вероятность эффекта 2 проекта Y – d . Тогда ac – вероятность возможного эффекта -1 проекта Z ; $(ad+bc)$ – вероятность эффекта 1 проекта Z ; bd – вероятность эффекта 3 проекта Z . Заметим, что если $(ad+bc) < ac$, то $d < c$ и $b < a$, но тогда $ad+bc > bd$. Значит при любых возможных значениях a, b, c, d вероятность возможного эффекта 1 ($ad+bc$) превосходит хотя бы одну из вероятностей остальных возможных эффектов (ac или bd) у проекта Z . То есть, например, распределение вероятностей $2/5; 1/5; 2/5$ для возможных эффектов $\{-1; 1; 3\}$ проекта Z невозможно. А потому проект, полученный слиянием (параллельной реализацией) двух независимых проектов с интервально неопределенным ожидаемым эффектом, необязательно также обладает интервально неопределенным ожидаемым эффектом.

Приведенные соображения позволяют сделать вывод, что использование критерия Гурвица для оценки эффективности инвестиционных проектов в условиях интервальной неопределенности обоснованно недостаточно. А потому использование этого метода может давать некорректную оценку, что приведет к неэффективному распределению средств. Например, из существующих альтернатив реализуют менее эффективный проект. Или вообще может быть реализован неэффективный проект (эффективность которого отрицательна). В результате инвестиционная деятельность страны замедлится, и усилится стагнация экономики в целом.

В качестве возможного пути решения автор предлагает скорректировать предложенные

С.А. Смоляком аксиомы монотонности и аддитивности в более очевидные утверждения и добавить две дополнительные аксиомы. Далее на полученной аксиоматике обосновать подходящий функционал. Ниже перечислены предлагаемые автором аксиомы.

Аксиома согласованности. Проект, которому отвечает одноточечное множество $A=\{h\}$ возможных эффектов, естественно рассматривать как детерминированный, имеющий эффект h : $E(\{h\})=h$.

Аксиома монотонности. Проект X с множеством возможных эффектов A доминирует проект Y с множеством возможных эффектов B , если все элементы множества $A \setminus B$ превосходят все элементы множества $B \setminus A$.

Аксиома линейности. Если у проектов X и Y множества значений возможных эффектов A и B соответственно такие, что каждый элемент множества A больше какого-то элемента множества B в k раз, а каждый элемент множества B меньше какого-то элемента множества A в k раз, то ожидаемый эффект от проекта X больше ожидаемого эффекта проекта Y в k раз: $E(A)=k \cdot E(B)$.

Аксиома независимости. Если проект X улучшают путем увеличения какого-то возможного эффекта на d , то величина улучшения ожидаемого эффекта D ($D=E_2-E_1$, где E_1 – ожидаемый эффект проекта до улучшения, а E_2 – ожидаемый эффект проекта после улучшения) не зависит от того, какой именно эффект улучшен и прямо пропорциональна d : $D=kd$.

Аксиома аддитивности. Пусть X и Y – независимые интервальные альтернативы, которым отвечают множества A и B соответственно. При слиянии обоих проектов, любой возможный эффект проекта X может сочетаться с эффектом Y , тогда возможными эффектами проекта $X \oplus Y$ будут точки множества $A \oplus B$ (сумма множеств A и B по Минковскому). Проект $X \oplus Y$ также считается интервальной альтернативой тогда и только тогда, когда каждый возможный эффект слияния проектов $X \oplus Y$ реализуется одинаковым количеством способов, причем ожидаемый эффект слияния проектов равен сумме ожидаемых эффектов: $E(A \oplus B)=E(A)+E(B)$.

Эти аксиомы определяют метод расчета ожидаемого эффекта в случае интервальной неопределенности. Выводимый метод похож на принцип Гиббса-Джейнса, поэтому автор предлагает называть его «*принцип Гиббса-Джейнса модифицированный*».

Принцип Гиббса-Джейнса позволяет выбрать вероятностное распределение на множестве возможных эффектов, отдавая предпочтение распределению с наибольшей энтропией. Далее проект

можно оценить как математическое ожидание эффекта. В случае конечного множества получаем равновероятное распределение, если же множеству возможных эффектов принадлежит отрезок, получаем равномерное распределение. Предлагаемый принцип Гиббса-Джейнса модифицированный требует вначале определить структуру зависимости неизвестных параметров, прежде чем вводить вероятностное распределение, в отличие от принципа Гиббса-Джейнса обычного. Алгоритм проведения оценки:

- Определить «первичные» неизвестные величины, влияющие на эффект проекта, о которых известна только область возможных значений, но не вероятность.
- Определить «вторичные» неизвестные величины, от которых зависят значения первичных.
- Проводить последующую декомпозицию до возможного предела, получив тем самым «конечные» неизвестные величины.
- Присвоить каждой независимой интервальной неопределённости априорное вероятностное распределение на основе принципа максимума энтропии.
- Вывести формулу зависимости ожидаемого эффекта от всех «конечных» неизвестных величин.
- Вычислить математическое ожидание эффекта.

Далее докажем согласованность предложенных аксиом и метода. Рассмотрим по очереди проекты с различными типами множеств возможных эффектов.

Теорема 1. Для проекта X с множеством возможных эффектов A , которое состоит из N элементов $\{a, b, c, \dots, z\}$, ожидаемый эффект будет средним арифметическим всех возможных эффектов:

$$E(X) = \frac{1}{N} (a + b + \dots + z).$$

Доказательство. Если все возможные эффекты проекта уменьшить до нуля, то мы получим проект с точечным распределением $\{0, 0, 0, \dots, 0\}$, ожидаемый эффект которого 0. При этом уменьшение каждого возможного эффекта уменьшает ожидаемый эффект проекта на величину пропорциональную начальному значению. Получаем: $0 = E - k_a - k_b - k_c - \dots - k_z$. По аналогии можно получить уравнение: $1 = E - k(a-1) - k(b-1) - k(c-1) - \dots - k(z-1)$. Вычитая одно уравнение из другого можно получить $k = 1/N$. Получаем:

$$E(X) = \frac{1}{N} (a + b + \dots + z).$$

Утверждение 1. Если возможные значения эффекта проекта X определяются полуинтервалом $[a; b)$, то $(a+b)/2$ – ожидаемый эффект проекта: $E(X) = (a+b)/2$.

Доказательство. Пусть E – ожидаемый эффект проекта X . Если проект X реализовать с проектом $\{-a\}$, а у полученного проекта удвоить все возможные эффекты, мы получим интервальную неопределённость $[0; 2(b-a))$ с ожидаемым эффектом $2(E-a)$. Такую же интервальную неопределённость можно получить при совместной реализации проектов X , $\{-a; b-a\}$, с ожидаемым эффектом $E-a+(b-a)/2$. Получаем уравнение: $2(E-a) = E-a+(b-a)/2$, откуда $E = (a+b)/2$.

Утверждение 2. Если возможные значения эффекта проекта X заполняют множество $[a; b) \cup [c; d)$, то $\int_a^d p(x)xdx$ – ожидаемый эффект проекта, где $p(x)$ – плотность вероятности равномерно распределённая на множестве возможных эффектов.

Доказательство. Рассмотрим случай, когда $(b-a)/(d-c) = p/q$, где p – целое, а q – натуральное. Этот проект можно представить, как совместную реализацию проекта Y с возможными эффектами $\{-(b-a)/2p; (b-a)/2p\}$ и проекта Z с возможными эффектами $\{a+(b-a)/2p; a+3(b-a)/2p; a+5(b-a)/2p; \dots; b-(b-a)/2p\} \cup \{c+(b-a)/2p; c+3(b-a)/2p; c+5(b-a)/2p; \dots\}$, в первом подмножестве p элементов, во втором q элементов. Таким образом, проект X обладает ожидаемым эффектом.

Теорема 2. Если возможные значения эффекта проекта X определяются множеством, состоящим из совокупности интервалов и отдельных значений, то ожидаемый эффект не зависит от отдельных значений и определяется формулой: $\int_a^d p(x)xdx$, где $p(x)$ – плотность вероятности равномерно распределённая на множестве возможных эффектов, а a и d – инфимум и супремум множества возможных эффектов соответственно.

Доказательство. Рассмотрим проект Y – модификация проекта X , все точечные значения которого входят во множество возможных значений проекта Y вместе с σ -окрестностью. Рассмотрим проект Z – модифицированный проект X , все точечные значения которого исключены из множества возможных значений проекта Z . Чем меньше σ , тем меньше модификация проекта, и тем меньше эффект проекта Y отличается от проекта Z . Последовательность проектов Y стремится к X при σ стремящимся к 0, а эффект стремится к эффекту проекта Z . Таким образом, проекты Z и X равноэффективны, следовательно ожидаемый эффект проекта X можно рассчитать по формуле $\int_a^d p(x)xdx$.

Стоит отметить, что, в соответствии с предложенным методом, проект X с множеством воз-

возможных эффектов $A(-100;600)$ будет доминировать проект Y с множеством возможных эффектов $B(50;100)$, несмотря на то, что проект Y в любом случае принесет прибыль, а проект X может оказаться убыточным. Это может показаться противоречивым. Однако критерий Гурвица приводит к аналогичному выводу.

Заключение

Современные мировые, национальные и бизнес-тренды определяют инновационную и инвестиционную деятельности как неотъемлемые составляющие экономики. Российская экономика отстает от экономик успешных западных стран как по количеству, так и по качеству инвестиционной деятельности. Эффективность использования инвестиций зачастую определяется аккуратным отбором и точной оценкой проектов. Точность оценки в российской экономике усложняется ее нестационарностью, что выражается в сложности системы рисков. Поэтому модификация и уточнение общепринятой методики учета риска и неопределенности под российские условия – важная и актуальная задача.

В современных отечественных решениях существуют спорные места, которые заслуживают дополнительного изучения и обсуждения. Так, критерий Гурвица, который принят в качестве метода учета интервальной неопределенности в официальном документе [9], обладает недостаточным обоснованием. При этом интервальная неопределенность – один из самых распространенных случаев неопределенности в моделировании проектов.

Для более точного моделирования проекта необходимы более сложные модели, однако, в случае с реальными инвестиционными проектами производственного характера, затраты на создание сложной, но точной экономической модели несоизмеримо ниже той экономии, которую можно получить на ее основе. Автор предлагает использовать иные допущения, чем те, на основе которых был выведен критерий Гурвица в [16] и обосновывает новый метод учета интервальной неопределенности, который предлагается называть «принцип Гиббса-Джейнса модифицированный». Данный принцип предлагается использовать в дополнении к критерию Гурвица, или, более того, в качестве его замены.

При выборе модели необходимо отдавать предпочтение той, которая более точно предсказывает поведение системы в большинстве случаев. Поэтому в качестве дальнейших исследований в этом направлении предлагается провести оценку

ряда реальных проектов различными методами и сравнить рассчитанные ожидаемые эффекты с реально полученными.

Литература

1. *Белашев Б. З., Сулейманов М. К.* МЕТОД МАКСИМУМА ЭНТРОПИИ. СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМ//Письма в ЭЧАЯ. 2002. №6 с.44-50.
2. *Белоусова Н. И., Бушанский С. П., Васильева Е. М., Ливищ В. Н., Позамантур Э. И.* Информационная технология синтеза сложных сетевых структур нестационарной российской экономики: модели, алгоритмы, программная реализация //Аудит и финансовый анализ. - М., ЗАО 1с: Компьютерный Аудит, Вып. 1, 2008. С.50-88.
3. *Бендигов М. А., Хрусталёв Е. Ю.* Эволюция концепции и механизма управления конверсией в условиях переходной российской экономики. //Экономическая наука современной России. 1998. № 3. С. 108-120.
4. *Борисов А. Н., Алексеев А. В.* Модели принятия решений на основе лингвистической переменной. Рига: Зинатне, 1982, 256 с.
5. *Вентцель Е. С.* Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972, 552 с.
6. *Виленский П. Л., Ливищ В. Н., Орлова Е. Р., Смоляк С. А.* и др. Краткие практические указания по оценке эффективности инвестиционных проектов (Методические рекомендации). - М.: ТПП, 2005, 67 с.
7. *Дубров А. М., Лагоша Б. А., Хрусталева Е. Ю., Барановская Т. П.* Моделирование рискованных ситуаций в экономике и бизнесе. – М.: Финансы и статистика, 2001. - 224 с.
8. *Жуковский И. В.* Влияние инновационной деятельности на конкурентоспособность экономики страны (на примере Республики Беларусь) / И.В. Жуковский // Человек, психология, экономика, право, управление: проблемы и перспективы: материалы XV Международной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов. – Минск, 2012. С. 11
9. *Коссов В. В., Ливищ В. Н., Шахназаров А. Г.* Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (Вторая редакция). М-во экон. РФ, М-во фин. РФ, ГКРФ по стр-ву, архит. и жил. политике. М.: ОАО «НПО Изд-во Экономика». 2000. 421 с.
10. *Лабскер Л. Г., Яновская Е. В.* Общая методика конструирования критериев оптимальности решений в условиях риска и неопре-

- деленности// Финансовый менеджмент, 2002, №5. С. 58-74.
11. *Лившиц В. Н.* Системный анализ рыночного формирования нестационарной экономики России: 1999-2013». – М.: ЛЕНАРД, 2013. – 640 с
 12. *Лившиц В. Н., Лившиц С. В.* Особенности оценки эффективности инвестиционных проектов в стационарной и нестационарной экономиках. Бюллетень транспортной информации. №5 (167), май 2009 г. С.8-15.
 13. *Поспелов Д. А.* Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. М.: Наука, 1986.
 14. *Савилов С. И.* ПРОБЛЕМЫ УЧЕТА ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЭКОНОМИКЕ РОССИИ // Национальные интересы: приоритеты и безопасность -- М.: Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, выпуск 30, 2015, с. 38-47.
 15. *Савилов С. И.* Учет внутришагового распределения финансового потока при оценке эффективности инвестиционных проектов в нестационарной экономике России // «Экономический анализ: теория и практика». 2013. № 17. С. 10-14.
 16. *Смоляк С. А.* Оценка эффективности инвестиционных проектов в условиях риска и неопределенности (теория ожидаемого эффекта) – М.: Наука, 2002.
 17. *GLOBAL R&D FUNDING FORECAST* [Электронный ресурс]// R&D magazine URL: http://www.battelle.org/docs/tpp/2014_global_rd_funding_forecast.pdf Дата посещения: 27.08.2015
 18. *Hurwicz L.* Optimality Criteria for Decision Making under Ignorance Cowles commission papers. 1951. 370 p.
 19. *Ilie D.* An application of strategic games to a decision-making problem // *Econom Comput. Econ. Cybern. Stud. Res.*, 1971, №2, 200.
 20. *Kannai Y., Peleg B.* A note on the extension of an order on set to the power set // *J. of Economic Theory*, 1984, Vol. 32.203.
 21. *Zadeh L. A.* Fuzzy Sets//*Information Control*. № 8, 1965. P. 338- 353.

Савилов Степан Игоревич. Аспирант ИСА ФИЦ ИУ РАН. Окончил в 2012 г. МФТИ (ГУ).
Количество печатных работ: 5. Область научных интересов: технология оценки проектов.
E-mail: savilovstepan@gmail.com