

DOI: [10.18372/2225-5036.24.13429](https://doi.org/10.18372/2225-5036.24.13429)

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНЫХ МОДЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ

Александр Милов, Сергей Евсеев, Владимир Алексеев

Харьковский национальный экономический университет



МИЛОВ Александр Владимирович, к.т.н., доцент

Дата и место рождения: 1955, Запорожье, Запорожской обл., Украина.

Образование: Московский энергетический институт, 1978.

Должность: доцент кафедры кибербезопасности и информационных технологий.

Научные интересы: теория принятия решений, координация в распределенных системах, криптография, агентно-ориентированное моделирование.

Публикации: более 180 научных и методических публикаций, включая монографии, статьи и учебные пособия.

E-mail: Oleksandr.Milov@hneu.net



ЕВСЕЕВ Сергей Петрович, д.т.н., старший научный сотрудник

Дата и место рождения: 1969, Харцызск, Донецкой обл., Украина.

Образование: Харьковский военный университет, 2002.

Должность: заведующий кафедрой кибербезопасности и информационных технологий с 2018 года.

Научные интересы: безопасность банковской информации, криптография криптокодовых конструкций.

Публикации: большое 190 научных публикаций, включая монографии, статьи и патенты.

E-mail: serhii.yevseiev@hneu.net



АЛЕКСЕЕВ Владимир Олегович, д.т.н., профессор

Дата и место рождения: 1975, Харьков, Украина.

Образование: Харьковский государственный автомобильно-дорожный технический университет, 1997.

Должность: профессор кафедры кибербезопасности и информационных технологий ХНЭУ им. С. Кузнеця с 2018 года.

Научные интересы: информационные технологии на транспорте, облачные технологии, распределенные хранилища данных, кибербезопасность.

Публикации: большие 109 научных публикаций, включая монографии, статьи и патенты.

E-mail: alekseyev@gmail.com

Аннотация. Необходимость исследования поведения инвестиционного проекта в кибербезопасность как системы в целом и его устойчивости к синергетическим угрозам вызвана потребностью в выявлении возможных отклонений в процессе его реализации и необходимости влиять на них с помощью корректирующих воздействий на систему кибербезопасности. Показано, что разнообразие методов исследования устойчивости вызвано в первую очередь наличием неоднозначного подхода к математическому описанию исследуемой системы кибербезопасности, отсутствию единой методологии в оценке устойчивости инвестиционных проектов в кибербезопасность. В работе предложен подход, основанный на применении для исследования устойчивости инвестиционного проекта в кибербезопасность сочетания двух видов описания, а именно, описания в виде передаточной функции и описания в пространстве переменных состояния проекта. Предложена модель, позволяющая анализировать устойчивость инвестиционного проекта в кибербезопасность с помощью исследования поведения его передаточной функции с применением методики составления типовых структурных схем построения модели инвестиционных проектов в кибербезопасность. Для анализа устойчивости инвестиционных проектов замкнутого типа (с реинвестициями) в работе применен критерий Найквиста, основанный на методе корневого годографа. Получены оценки устойчивости условного инвестиционного проекта разомкнутого типа и с реинвестициями.

Ключевые слова: кибербезопасность, инвестиционный проект, устойчивость, критерий Найквиста, корневой годограф, передаточная функция, пространство состояний, ориентированный граф.

Постановка проблемы

Кибербезопасность стала ключевым фактором, определяющим успех или неудачу не только отдельных компаний, но и государств в целом, деятельность которых основана на активном использовании информационных систем [1–3].

Поэтому инвестиции в кибербезопасность являются важным финансовым и операционным решением. И если типичные инвестиции в информационные технологии направлены на получение прибыли, то инвестиции в кибербезопасность направлены на минимизацию потерь, нанесенных кибератаками. Следует признать, что инвестиции в кибербезопасность становятся все более сложными, поскольку информационные системы, как правило, подвергаются частым атакам, время появления которых и последствия воздействия носят случайный характер [4–7].

Финансовый кризис заставил инфраструктуру информационных технологий во всем мире изменить свои бизнес-планы и зачастую сократить свои расходы. Хотя эти сокращения, возможно, не отражаются на производительности компаний, это не тот случай, когда речь идет о кибербезопасности. Кибератакующие совершенствуют свои технологии и стараются быть на шаг впереди тех, кто пытается защитить свою инфраструктуру. Начиная с 2013 года частота проявления выявленных расширенных постоянных угроз значительно возросла. Приоритетной целью этих угроз всегда были организации с ценными активами [8, 9]. Это главная причина постоянства подобных атак.

Однако кибербезопасность – это не только защитный маневр, но и стратегическое решение, которое может увеличить конкурентное преимущество фирмы над потенциальными конкурентами. Важность кибербезопасности заставила многие организации уделять большое внимание инвестиционным решениям в области кибербезопасности, особенно для получения соответствующего уровня этих инвестиций.

При решении вопроса об инвестировании в кибербезопасность практики сталкиваются с рядом утверждений, которые затрудняют получение всеобъемлющего ответа. Суть этих утверждений заключается в следующем [10].

Во-первых, неясно, какие расходы могут быть конкретно отнесены к кибербезопасности. Эта задача содержит два взаимосвязанных аспекта. Прежде всего, это отсутствие общепринятого определения термина. В отсутствие такого общепринятого определения также отсутствуют критерии для определения того, какие инвестиции можно классифицировать как инвестиции в кибербезопасность.

Во-вторых, кибербезопасность является неотъемлемой частью бизнес-операций, так как она интегрирована в другие проекты, процессы и продукты, из-за чего трудно выделить инвестиции, непосредственно связанные с кибербезопасностью, так как они представляют собой лишь часть общих инвести-

ций организации в кибербезопасность, что может создать искаженное представление.

В-третьих, акцент только на инвестиции не совсем корректен. Для разработки комплекса мероприятий по обеспечению безопасности должны быть рассмотрены все расходы, которые несут организации в критически важных секторах инфраструктуры. В противном случае можно получить искаженное представление о том, сколько организации тратят на кибербезопасность.

В-четвертых, сбор и отображение данных о характере и размерах инвестиций в кибербезопасность затруднены из-за качественного подхода к кибербезопасности. К кибербезопасности в первую очередь обращаются с качественной точки зрения, потому что введение мер кибербезопасности основано на анализе рисков. Поэтому отправной точкой является перевод анализа рисков в план действий, который включает эти меры. Это подтверждает идею о том, что кибербезопасность в первую очередь рассматривается с качественной, а не количественной точки зрения.

Подтверждением сказанного, является точка зрения, изложенная в [11–14.], где авторы утверждают, что расходы на кибербезопасность относятся к различным областям, включая программное обеспечение для обнаружения вирусов, брандмауэры, сложные методы шифрования, системы обнаружения вторжений, автоматизированное резервное копирование данных и аппаратные устройства.

И хотя почти каждая компания понимает преимущества адекватных гарантий, многие из них ограничены утвержденным бюджетом инвестиционных решений. Как правило, инвестиции в кибербезопасность не увеличивают прибыль напрямую. Поэтому их преимущества сложно продемонстрировать. Расчет рисков требует знаний из теории вероятностей, которая часто незнакома для лиц, принимающих решения (ЛПР). ЛПР в высшем руководстве, часто сосредоточены на инвестициях, которые приносят прямую прибыль.

Чтобы эффективно защитить компанию, профессионалам в области кибербезопасности приходится приобретать опыт использования экономических показателей. Менеджеры должны понимать экономические аспекты, касающиеся кибербезопасности.

Из утверждений, сделанных выше, следуют не всегда однозначные выводы. Точка зрения авторов на вопросы инвестирования в кибербезопасность заключается в следующем.

Прежде всего необходимо дать четкое и однозначное определение кибербезопасности [7]. Включение кибербезопасности в систему бизнес-процессов организации диктует необходимость рассматривать инвестиции в эту сферу не как разовые независимые, а как четко спланированный инвестиционный проект, рассматриваемый как “комплекс взаимосвязанных мероприятий, предназначенных для достижения поставленных целей в течение ограниченного периода и при установленном бюджете”

[15]. С учетом замечания о качественном подходе к кибербезопасности, предлагается акцентировать внимание на системных характеристиках инвестиционного проекта в кибербезопасность, таких как устойчивость, маневренность, надежность [16].

Для получения надежных оценок успешности проекта следует совместно рассматривать обоснованные экономические показатели с учетом технических характеристик проекта, которые должны быть интегрированы в обоснованную методику принятия решений, учитывающую предпочтения лица, принимающего решения [10, 17, 18].

Целью статьи является рассмотрение устойчивости инвестиционного проекта для обеспечения кибербезопасности системы на основе формирования модели этой системы в виде знакового орграфа, а также переход от построенного графа к описанию системы в пространстве переменных ее состояния и формированию интегро-дифференциальной модели инвестиционного проекта. Это позволит анализировать поведение инвестиционного проекта по возмущениям, влияющим на его устойчивость. Проведение анализа устойчивости инвестиционного проекта при внедрении концепции "управление по отклонениям" позволяет осуществлять контроль его реализации благодаря выявлению отклонений значений запланированных и фактических показателей, определяющих его осуществление и управления ими.

Анализ последних исследований и публикаций. Инвестиционный проект является динамической системой, поведение которой может быть представлено траекторией изменения множества показателей, характеризующих состояние проекта в зависимости от времени как аргумента. Для разработки моделей таких систем могут быть использованы различные подходы в зависимости, от которых и выбираются методы исследования их поведения. В частности, в теории автоматического управления применяется подход, основанный на построении структурных схем системы, отображающих причинно-следственные связи между ее элементами. Такой подход является распространенным для исследования динамических систем прежде всего в технике.

Проведение аналогии между физическими и экономическими параметрами дает возможность более точно прогнозировать поведение экономической системы в неопределенных или не полностью определенных условиях. Это позволяет предложить использование определения "коридора" значений параметров, действие которых прогнозируется, которые в экономическом плане являются предельными значениями факторов, влияющих на результат реализации инвестиционного проекта. В этих условиях нестабильность экономической системы может быть определена количественно в условиях предельно допустимых отклонений. Исследование сложных систем методами экономической динамики, анализ их устойчивости доказывает, что "динамический", а не "вероятностный" прогноз возможен только для систем с небольшим числом степеней свободы и на ограниченном горизонте планирования. Однако эта проблема решается выбором в пространстве воз-

можных состояний исследуемой системы, области в которой состояние объекта характеризуется несколькими ведущими переменными, связь которых описывается детерминированной системой. В работе [19] приведена модель инвестиционного проекта предприятия как подсистема более общей динамической модели предприятия с использованием операторного метода моделирования. Важным отличием представления системы управления инвестиционным проектом предприятия методами теории автоматического управления является возможность исследования системных характеристик проекта в динамике, то есть спектра состояний системы в течение определенного времени, в отличие от статического подхода, при котором исследуется лишь набор и изменение во времени фиксированных показателей, отражающих конкретное состояние системы.

Критический обзор в [20] выявил интересный факт. Киберзлоумышленники оказываются более мотивированными в нарушении системы безопасности организации для достижения множества собственных целей, в то время как организации удовлетворяются всего лишь рентабельностью собственных инвестиций. В то время как "защитники" тратят миллионы, пытаясь защитить свои системы от кибератак, "атакующим", возможно, придется потратить лишь небольшую сумму денег, чтобы нарушить управление кибербезопасностью. В частности, это может быть связано с гибридными атаками на основе социальной инженерии, которые могут обойти лучшие практики кибербезопасности или кибератаками пятого поколения, дающими синергетический эффект.

В дополнение к этому, диапазон и масштабы кибератак создают необходимость для организаций расставлять приоритеты в способах защиты. Имея это в виду, каждая организация должна учитывать угрозы, которым она подвергается наибольшему риску, и действовать таким образом, чтобы уменьшить как можно большее число соответствующих уязвимостей. Это особенно трудная задача, в решении которой многие руководители информационной безопасности не уверены из-за: (i) отсутствия достаточного бюджета; (ii) неопределенность в отношении стоимости кибератак и наличия средств управления кибербезопасностью и (iii) необратимостью расходов, связанных с управлением кибербезопасностью.

Несмотря на то, что инвестициям в кибербезопасность постоянно уделяется огромное внимание, число нарушений и несанкционированных вторжений в информационные системы неуклонно растет.

Частично это объясняется плохим пониманием экономики инвестирования в кибербезопасность, что приводит к принятию решений, которые не являются жизнеспособными с точки зрения затрат и выгод, поскольку попытка исправить большинство, если не все, потенциальные уязвимости системы безопасности фирм во избежание нарушений кибербезопасности может привести к явным чрезмерным инвестициям в эту область.

Учитывая неопределенность, связанную с нарушениями кибербезопасности и усилиями по

предотвращению таких нарушений, третье объяснение повсеместного характера уязвимостей кибербезопасности может заключаться в том, что экономически целесообразно изначально инвестировать часть бюджета кибербезопасности и отложить оставшиеся инвестиции до тех пор, пока фактически не произойдут нарушения кибербезопасности. Другими словами, может оказаться выгодным занять выжидательную позицию по отношению к части инвестиций в кибербезопасность. Впервые такой подход был предложен в [20]. Это объяснение сродни понятию варианта отсрочки, обсуждаемому в современной экономической литературе по составлению бюджета капиталовложений [21]. Если этот подход будет принят на вооружение, следует ожидать, что организации будут использовать нарушения кибербезопасности в качестве критического фактора их фактических (в отличие от предусмотренных в бюджете) расходов на кибербезопасность. Поскольку инвестиции в кибербезопасность предполагают принятие решений в условиях неопределенности, представляется целесообразным заимствовать понятия и методы, используемые в теории финансовых инвестиций, которая учитывает отложенные инвестиции, чтобы способствовать более эффективному принятию решений по инвестициям в кибербезопасность.

В [20] был введен в рассмотрение фактор времени в инвестициях в кибербезопасность, предлагая тактику “жди и смотри”. Этот подход заключался в ограничении чрезмерных инвестиционных средств в кибербезопасность, принимая во внимание неопределенность момента времени, когда потребуются их использование для смягчения последствий атаки. Авторы считают единственным способом получения информации о времени атаки – ожидание возникновения некатастрофического инцидента. Только после этого “защитник” должен реагировать, вкладывая средства в оборону. Недостатком этого подхода является то, что он основан на структуре с дискретным временем, которая не учитывает последовательный характер таких катастрофических событий и необходимость повторно реализовывать эту стратегию во времени.

В работе [22] показывается, как традиционные методы оценки инвестиционного проекта занижают его ценность, игнорируя гибкость, заложенную в распределенных во времени инвестициях. Аналитическая основа для последовательных инвестиций представлена в [23], которые предполагают, что стоимость проекта падает экспоненциально, и у инвестора есть бесконечное множество вариантов замены.

Авторы в [24] предлагают варианты, которые делают требуемый порог инвестиций менее чувствительным к изменениям в неопределенности и поведению инвестиций, в отличие от простого правила прибыли на вложенные средства. Сравнивая одноступенчатые инвестиции со ступенчатой инвестиционной стратегией в [25] показано, что более высокая неопределенность в стоимости проекта делает первую стратегию более привлекательной по сравнению с последней.

Примеры аналитических структур, допускающих появление на рынке технологических инно-

ваций в произвольные моменты времени [26], демонстрируют, что на время принятия новых технологий влияют ожидания относительно будущих технологических изменений и что неопределенность в появлении технологических инноваций вызывает задержку в принятии на вооружение новых технологий. В [27] авторы разрабатывают модель последовательных инвестиций, согласно которой фирма может либо принять любую технологию, которая становится доступной, либо отказаться от использования старой технологии, чтобы принять следующую, либо дождаться появления новой технологии. В каждом случае они иллюстрируют, как темпы инноваций и технологического роста влияют на оптимальную стратегию внедрения технологий, и обнаруживают, что фирма может принять доступную технологию, несмотря на вероятное появление более эффективных инноваций. Тем не менее, подробно не обсуждается, как соотношение цены и технологической неопределенности влияет на правило оптимального инвестирования в рамках каждой стратегии.

В [28] исследуются оптимальные сроки внедрения технологии, предполагая, что появление новых технологий происходит в соответствии с пуассоновским процессом, однако они игнорируют ценовую неопределенность.

Следует указать еще на несколько работ, в которых исследуются вопросы выбора информационно-технологических инноваций и сроки их внедрения в систему обеспечения кибербезопасности [28, 29]. Интересный подход применен в [30], где анализируется ситуация, в которой фирмы сталкиваются с ценовой и технологической неопределенностью, и показывается, что эффективность новой технологии может компенсировать монопольную прибыль, которую получает лидер, будучи одиноким на рынке.

В [31] используют стандартное броуновское движение, чтобы описать неопределенность в результате технологической конкуренции и проанализировать инвестиционную стратегию фирмы, которая может выбирать между двумя конкурирующими технологиями.

В статьях [20, 32] рассматривается вопрос инвестиций в кибербезопасность с учетом обмена информацией, например, в отношении уязвимостей. Авторы показывают, что обмен информацией может снизить неопределенность в отношении рисков, тем самым уменьшая ценность вариантов отсрочки; поэтому оптимальные сроки инвестирования могут быть более ранними. Они также используют пример, чтобы показать, как рассчитать минимальную стоимость обмена информацией, необходимую для того, чтобы компания сразу инвестировала средства в кибербезопасность. Авторы четко сформулировали ограничение своего подхода, заключенного в предположении, что снижение рисков происходит только за счет более широкого обмена информацией; полностью игнорируя, что ожидание может иметь больше преимуществ, таких как доступность для приобретения более эффективных средства контроля кибербезопасности. Еще одно ограничение подобного подхода [20, 32] состоит в том, что не раз-

работывается формальная модель инвестиционного процесса и, как следствие, не находится оптимальное решение.

В [33] обобщаются основные подходы реализации инвестиций в кибербезопасность. Автор предлагает пятиэтапную методологию подхода к поддержке решений по кибербезопасности. Для каждого этапа перечисляются соответствующие исследовательские вопросы и обсуждаются проблемы в разработке конкретного подхода. Адаптация предлагаемой методологии к реальным условиям заключается в следующем. Необходимо: (i) принять во внимание вероятное появление вариантов безопасности; (ii) выявить ключевые основные неопределенности; (iii) выбрать подходящую математическую модель, а именно динамическое программирование; (iv) вывести правило оптимального решения; и (v) обеспечить интуитивное понимание управления.

В [34] разрабатывается эмпирическая модель, основанная на байесовской статистике, для получения оптимальных инвестиций в кибербезопасность с учетом конкретного механизма кибербезопасности, то есть системы обнаружения вторжений (IDS). Авторы расширяют подходы [35, 36], включая стоимость и преимущества конфигурирования IDS, исследуя наилучшие сроки инвестирования и, наконец, пересматривая параметры IDS на основе байесовского обучения. Авторы предполагают, что предпочтительно осуществлять инвестиции в кибербезопасность поэтапно, оценивая производительность IDS, и в случае выявления новых угроз, уязвимостей или нарушения кибербезопасности можно было принять решение инвестировать в его улучшение. Их работа предполагает инвестирование в ряд взаимосвязанных инвестиционных проектов, которые осуществляются после снятия неопределенности. Значительным вкладом этой статьи является то, что авторы используют фактические данные об электронной почте и спаме для проверки структуры, и оптимальности определенных инвестиций, измеряемых с точки зрения эффективности IDS.

Предполагая существование двух технологий обеспечения безопасности S_1 и S_2 , авторы в [37] предлагают модель принятия решения, которая призвана помочь менеджерам решить, следует ли (а) инвестировать в негибкие инновации процесса обеспечения безопасности (SPI), в которых используется либо технология S_1 , либо S_2 , или (б) инвестировать в гибкий SPI, который позволяет переключаться между двумя совместимыми технологиями. Модель также нацелена на изучение того, когда было бы рентабельно продолжать использовать текущую технологию, и когда фирме лучше перейти на совместимую технологию. Авторы используют динамическое программирование для определения стоимости инвестиций в SPI.

В [38] использована модель определения мер, которые могут замещать друг друга, а также иметь взаимодополняющие или синергетические отношения. Новшество этой работы заключается в повышении эффективности инвестиций в кибербезопасность путем сопоставления затрат на смягчение последствий с их возрастающим (уменьшающимся)

воздействием на снижение неопределенности от ожидаемой потери кибербезопасности. С практической точки зрения такая модель способствует снижению затрат на кибербезопасность без ущерба для потенциала предотвращения потерь. Тем не менее, ограничение заключается в том, что наличие мер по смягчению обычно зависит от технологических инноваций, которые происходят в случайные моменты времени. Игнорирование этой стохастичности может привести к динамической неэффективности с возможными циклами недостаточного или избыточного инвестирования и, в свою очередь, к увеличению риска, когда требуются корректирующие действия на стратегическом уровне.

В работе [39] приведено объяснение того, как методы ценообразования могут быть полезны для оценки конфиденциальности информации. Предложена простая модель, которая подчеркивает описание изменений в значениях атрибутов каждого отдельного субъекта данных и эволюцию распределения значений атрибутов в совокупности как двух независимых случайных процессов. Авторы предлагают возможные применения предлагаемых методов оценки для поддержки принятия решений в будущих технологиях повышения конфиденциальности.

В [40] предложены подходы к анализу того, как неопределенность в отношении (i) стоимости кибератак и (ii) появления средств управления кибербезопасностью влияет на оптимальную инвестиционную стратегию фирмы.

Выполненный анализ публикаций по вопросам инвестиционного проектирования в безопасности систем показал, что не существует единой аналитической модели, которая бы позволила оценивать динамические характеристики инвестиционного проекта в кибербезопасность, рассматривая одновременно финансовые, технологические и временные параметры управления проектом. Отсутствие единых подходов к инвестиционным проектам в кибербезопасность обусловлена необходимостью формирования методологических основ построения моделей с динамическими характеристиками, учитывающими все аспекты управления проектом.

Основные материалы исследования.

Проблема исследования устойчивости инвестиционных проектов в кибербезопасность может иметь множество различных, неэквивалентных математических формулировок. В зависимости от выбранного описания системы для ее анализа применяются различные подходы, что доказывает важность наличия гибкости в математической постановке задачи.

Для исследования устойчивости среди множества других используется внешнее описание системы с обратной связью, описанное в [41], что является так называемой проблемой устойчивости системы типа "черный ящик" с ограниченным входом и ограниченным выходом. Иное описание было применено при рассмотрении структурной схемы системы управления инвестиционным проектом в работе [42], где она рассматривалась как система управления по отклонениям выходной переменной. Упомянутая

модель предполагает, что орган управления является “регулятором” системы управления инвестиционным проектом, то есть производит корректирующие влияния на объект управления с целью обеспечения требования максимального приближения значений выходной функции к значениям входной во все моменты времени, то есть минимизации интегральной квадратичной ошибки системы.

Для исследования устойчивости системы, которая формализована с помощью внешнего описания, применяют различные аналитические методы.

Наиболее общим средством математической интерпретации динамических процессов является так называемое внутреннее описание [41], представляющее собой дифференциальные уравнения вида [43]:

$$\dot{x} = f(x, t), x(0) = c, \quad (1)$$

где динамика системы может задаваться в различных формах, в частности, описанием системы в пространстве состояний, уравнение которого связывает скорость изменения состояния системы с самим состоянием и выходным сигналом.

В [44] рассматривается внутреннее описание инвестиционного проекта как подсистемы объекта управления инвестиционным проектом. Для исследования устойчивости инвестиционного проекта, который представлен внутренним описанием, существует большое количество методов, которые соответствуют различным критериям устойчивости. В работе [42] рассматривался подход к оценке динамики проекта, широко применяемый в теории автоматического управления. Этот подход базируется на построении передаточной функции системы, которая формируется в результате построения структурной схемы инвестиционного проекта. Формируемая функция состоит из блоков направленного действия, каждому из которых соответствует некоторая элементарная передаточная функция. Эти блоки отражают простейшие преобразования, происходящие в реальной системе. Известно, что существует переход от описания системы в виде передаточной функции к описанию в виде переменных состояния и наоборот.

В работе [44] внутреннее описание инвестиционного проекта представлено моделью системы в переменных состояния, что позволяет получить характеристический многочлен для исследования его устойчивости.

При решении практических задач в сложных системах, связанных с деятельностью человека, как правило, трудно с полной определенностью выделить внутренние связи и указать точные числовые соотношения между компонентами системы, которые необходимы для внутреннего описания. Поэтому авторами используется понятие связанной устойчивости, сочетает классическое определение устойчивости Ляпунова и комбинаторно-топологический подход. Этот подход основан на определении матрицы взаимосвязи $E = \|e_{ij}\|$, которая строится на основе системы (1).

При решении практических задач в сложных системах, связанных с деятельностью человека, как правило, трудно с полной определенностью выделить внутренние связи и указать точные числовые соотношения между компонентами системы, которые необходимы для внутреннего описания. В этих условиях целесообразно ввести понятие связанной устойчивости, которое сочетает классическое определение устойчивости по Ляпунову и комбинаторно-топологический подход. Этот подход основан на определении матрицы взаимосвязи, которая строится на основе исходной системы (1)

$$e_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{если переменная } x_j \text{ влияет на переменную } x_i, \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (2)$$
$$i, j = 1, 2, \dots, n.$$

Выбор методов исследования устойчивости систем определяется конкретным подходом к математической формализации описания этой системы. Приведенное исследование опирается на разделение видов описания систем на внутреннее и внешнее [41]. Авторами предложено одновременное использование указанных видов описания инвестиционного проекта как системы, что приводит к синергетическому эффекту моделирования проектов в кибербезопасность. Для этого используются понятия связанной устойчивости и описания системы в пространстве переменных состояния [45]. Под состоянием системы понимается совокупность значений, которые при известной входной функции и уравнениях динамики системы позволяют определить будущее состояние системы.

Понятие связанной устойчивости позволяет описывать поведение инвестиционного проекта даже при возможной неопределенности модели, наличии случайных возмущений и не всегда очевидных связей между элементами системы, а также исследовать его устойчивость. Альтернативный подход предполагает отражение связей между переменными, характеризующими поведение проекта, которые выделены на основе первого подхода, а формулировка модели в виде системы дифференциальных уравнений первого порядка относительно каждой переменной состояния, позволяет избавиться наиболее важных недостатков первого подхода.

Поэтому авторы данной работы исходили из понятия связанной устойчивости, формируя модель в виде знакового орграфа с последующим переходом от графа к описанию системы в пространстве переменных ее состояния. Это является основой для формирования интегро-дифференциальной модели инвестиционного проекта, что позволит анализировать его поведение при наличии возмущений, влияющих на его устойчивость. Проведение анализа устойчивости инвестиционного проекта при внедрении концепции «управление по отклонениям» позволяет осуществлять контроль его реализации благодаря выявлению отклонений значений запланированных и фактических показателей, определяющих его осуществление и управления ими.

приписываемое каждой вершине, изменяется во времени, и которое определяется правилом:

$$v_i(t+1) = v_i(t) + \sum_{j=1}^N f(u_j, u_i) p_j(t), \quad (4)$$

где $v_i(t)$ - значение в вершине u_i в момент времени t , $i=1, 2, \dots, N$; $t=0, 1, \dots$ $\pm p_j(t)$ - функция, которая описывает влияние на u_i в момент времени $t+1$ изменений, которые происходят в момент t в u_j в зависимости от знака дуги, которая соединяет u_i и u_j .

Вопрос исследования устойчивости по состоянию и возмущению системы возникает в связи с процессами распространения возмущений по графу.

Вершина u_j является устойчивой по значению, если последовательность $\{|v_j(t)|, t=0, 1, \dots\}$ является

ограниченной, а устойчивой по возмущениям, если ограниченной является последовательность $\{|p_j(t)|, t=0, 1, \dots\}$ (устойчивость по возмущениям не определяет существования устойчивости по значениям, хотя обратное и является справедливым).

Это определение полностью отвечает представлениям об устойчивости типа "ограниченный вход - ограниченный выход" [45].

Критерии, позволяющие определить устойчивость системы, которая представлена взвешенным графом, основаны на определении характеристических значений этого графа, которые в свою очередь определяются как собственные значения матрицы взаимосвязи.

Матрица взаимосвязи для графа, рассматривается имеет следующий вид:

$$U = \begin{pmatrix} & U_0 & U_1 & U_2 & U_3 & U_4 & U_5 & U_6 \\ U_0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ U_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ U_2 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & -1 & 1 \\ U_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ U_4 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ U_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ U_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Следует отметить, что приведенный граф не является взвешенным, а элементы матрицы (5) скорее демонстрируют тот факт, что между переменными проекта существует положительная или отрицательная связь. Для дальнейшего исследования соответствующим элементам матрицы следует назначить вес, который будет указывать на степень влияния переменных инвестиционного проекта. В результате этого приведенный граф влияния становится взвешенным.

Основываясь на структуре взвешенного графа, может быть предложено установление соответствия описания инвестиционного проекта в виде знакового орграфа и внутреннего описания системы в пространстве состояний. Состояние инвестиционного проекта описывается дифференциальными уравнениями первого порядка относительно каждой переменной состояния. Эти уравнения могут вид

системы дифференциальных уравнений (6), откуда соответственно можно записать матрицу A коэффициентов этой системы размерности 7×7 и имеющей вид (7):

$$\begin{cases} \frac{dX_0}{dt} = a_{30}X_3; \\ \frac{dX_1}{dt} = a_{21}X_2; \\ \frac{dX_3}{dt} = -a_{03}X_0 + a_{43}X_4; \\ \frac{dX_4}{dt} = a_{04}X_0 + a_{14}X_1 - a_{24}X_2 - a_{54}X_5 - a_{64}X_6; \\ \frac{dX_5}{dt} = -a_{05}X_0 - a_{25}X_2 - a_{65}X_6; \\ \frac{dX_6}{dt} = a_{06}X_0 + a_{16}X_1 + a_{26}X_2 + a_{46}X_4 + a_{56}X_5, \end{cases} \quad (6)$$

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & a_{03} & a_{04} & a_{05} & a_{06} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{14} & 0 & a_{16} \\ 0 & a_{21} & 0 & 0 & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{30} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{43} & 0 & 0 & a_{46} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{54} & 0 & a_{56} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{64} & a_{65} & 0 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

В системах управления инвестиционным проектом в кибербезопасность в процессе вариации значений части переменных происходит целенаправленное воздействие на другие переменные. Это вызывает необходимость установить связи между ними для дальнейшего анализа.

Данные связи в теории автоматического управления устанавливаются описанием систем с помощью набора функций - переходной, передаточной и импульсной. Передаточная функция является удобным описанием линейной системы, определяется как отношение выходной переменной к входной. Математическим инструментарием для работы с передаточными функциями, которые задаются в интегро-дифференциальной форме, является интегральное преобразование Лапласа. Преимуществом изображения в виде передаточной функции является то, что все динамические свойства системы (такие как устойчивость) полностью определяются через исследование значений корней передаточной функции (нулей и полюсов). Применяя структурную схему системы, которая отображает причинно-следственные связи между ее элементами, полученную на основании схемы формирования денежных потоков по инвестиционному проекту, можно проводить анализ устойчивости с помощью исследования поведения передаточной функции проекта. Передаточная функция может быть получена с помощью структурной схемы, которая является наиболее распространенной для отображения динамических систем различной природы. Структурная схема состоит из блоков направленного действия (звеньев), каждому из которых соответствует определенная элементарная передаточная функция.

Объект управления (инвестиционный проект) может быть описан в терминах теории автома-

тического управления. В соответствии с алгоритмом исследования динамики систем в рамках теории автоматического управления предлагается алгоритм исследования динамики инвестиционного проекта, содержащий шаги [19].

1. Определение системы и ее компонентов.
 2. Описание математической модели и выдвижение необходимых предположений. Главным исходным предположением при конструировании схемы модели инвестиционного проекта является непрерывный характер потоков денежных поступлений на счета и платежей в рамках инвестиционного проекта.

3. Формирование дифференциальных уравнений, описывающих поведение модели. Модель строится в соответствии со структурой, адекватной системе интегро-дифференциальных уравнений, описывающих исследуемый объект.

4. Решение уравнений относительно желаемых входных переменных. Для решения уравнений применяется преобразование Лапласа, обеспечивающее возможность замены довольно сложных соотношений и операций над оригиналами более простыми над их изображениями, и таким образом, замены решений дифференциальных уравнений на решение более простых алгебраических.

5. Анализ решений и предположений.

6. При необходимости – проведение повторного анализа или синтеза системы.

Построим структурную схему инвестиционного проекта в кибербезопасность, описание которого было приведено ранее.

При построении структурной схемы проекта будет использоваться понятие передаточной функции звена, которая представляет собой отношение преобразования Лапласа выходной переменной к преобразованию Лапласа входной переменной при нулевых начальных условиях. Преобразование Лапласа представляет собой преобразование функции времени $f(t)$ в функцию комплексной переменной $F(s)$, задаваемое выражением

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt. \quad (8)$$

Преобразование Лапласа позволяет свести решение дифференциальных уравнений любого порядка к решению алгебраического уравнения с последующим обратным преобразованием Лапласа, что значительно упрощает исследование динамических систем.

Связь между входом ($x(t)$) и выходом ($y(t)$) инвестиционного проекта может в общем случае задаваться нелинейным дифференциальным уравнением произвольного порядка n :

$$F(y^{(n)}, y^{(n-1)}, \dots, y', y, x^{(k)}, x^{(k-1)}, \dots, x', x) = 0, \quad (9)$$

где $F(\bullet, \bullet, \dots, \bullet)$ – функция $n+k+2$ аргументов. Задав вид функции $x(t)$ и n начальных условий $y(t_0) = y_0, y'(t_0), \dots, y^{(n-1)}(t_0) = y_0^{(n-1)}$, можно в принципе решить это уравнение и найти выход проекта $y(t)$ на входное воздействие $x(t)$.

В предположении, что F линейная с постоянными коэффициентами, взаимосвязь между входом и выходом может быть представлена в виде:

$$a_0 \frac{d^n}{dt^n} y + a_1 \frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}} y + \dots + a_{n-1} \frac{d}{dt} y + a_n y = b_0 \frac{d^k}{dt^k} x + \dots + b_k x. \quad (10)$$

Преобразование Лапласа переводит записанное уравнение в алгебраическое, имеющее вид:

$$a_0 s^n y + \dots + a_n y = b_0 s^k x + \dots + b_k x$$

или

$$y = \frac{b_0 s^k + \dots + b_k}{a_0 s^n + \dots + a_n} x. \quad (11)$$

Обозначим передаточную функцию:

$$W(s) = \frac{b_0 s^k + \dots + b_k}{a_0 s^n + \dots + a_n} = \frac{K(s)}{D(s)}. \quad (12)$$

Таким образом, функция $W(s)$ равна отношению двух полиномов

$$K(s) = b_0 s^k + \dots + b_k, \\ D(s) = a_0 s^n + \dots + a_n.$$

Заметим, что уравнение:

$$D(s) = a_0 s^n + a_1 s^{n-1} \dots + a_n = 0$$

является характеристическим уравнением соответствующего дифференциального уравнения, а сам полином $D(s)$ называется *характеристическим полиномом*.

В результате структурных преобразований и некоторых упрощений вместо модели “множество входов – один выход” была получена модель “один вход – один выход” изображенная на рис. 3, содержащая в качестве структурных компонентов скалярные векторы (изображающие основные показатели инвестиционного проекта) и линейные операторы преобразования (правило, которое определяет соотношение входа и выхода данного звена).

В приведенной модели введены такие обозначения: $K_{зал}$ – объем привлеченных инвестиционных средств; $K_{\theta n}$ – начальный объем собственных инвестиционных средств предприятия; $K_{\theta n \text{от}}$ – текущий объем собственного капитала предприятия; $K_{O\Phi n}$ – начальный объем основных производственных фондов проекта; $K_{O\Phi}$ – объем основных фондов проекта; $K_{ликв}$ – план выбытия основных фондов; $K_{инв}$ – общий объем инвестиционных средств; $K_{об}$ – объем оборотных средств проекта; $K_{заг}$ – объем средств, поступающих в проект; $y_{O\Phi}$ – поток вложений в основные фонды инвестиционного проекта; y_a – поток стоимости амортизационных отчислений; $y_{ир}$ – поток процентных платежей за использование привлеченных инвестиционных средств; $y_{\theta в}$ – поток расходов производства; y_{θ} – суммарные расходы; $y_{\theta в}$ – общие текущие расходы; $y_{\theta ир}$ – поток выручки от реализации продукции; $y_{ир \text{бал}}$ – поток балансовой прибыли инвестиционного проекта; $y_{чп}$ – поток чистой прибыли без учета возврата сумм привлеченных инвестиционных средств; $y_{чп}$ – поток чистой прибыли; $НП_y$ –

поток нераспределенной прибыли; Y_a – накопленные амортизационные отчисления; $Y_{НП}$ – накопленная нераспределенная прибыль; D_K – прирост капитала инвестиционного проекта в кибербезопасность.

Для построения схемы проекта использовался минимальный набор элементарных операторов, к которым отнесен перечень простейших передаточных функций, таких как оператор пропорционального преобразования, оператор дифференцирования, оператор интегрирования, оператор чистого запаздывания, оператор суммирования.

Предлагаемая схема формирует причинно-следственные связи между финансовыми показателями бюджета инвестиционного проекта. Операциям, имеющим место при формировании денежных потоков, поставлены в соответствие операции (и отображающие их элементарные звенья направленного действия с соответствующими передаточными функциями).

Тип звена однозначно определяется законом, который связывает между собою входную (u) и выходную (x) величины. Оператор пропорционального преобразования (усиливающее звено) имеет закон $x=ku$, где k может быть любым действительным числом. Этот закон состоит в следующем преобразовании: входной сигнал умножается на постоянную величину k , называемую коэффициентом усиления. Передаточная функция этого звена имеет вид: $W(s)=k$. В схеме на рис. 1, операторы пропорционального преобразования отображают операцию умножения входного вектора на постоянное действительное число, являющееся показателем инвестиционного проекта и имеет соответствующую экономическую интерпретацию: $t_{сл}$ – срок службы основных фондов (года); $r_{инв}$ – стоимость привлеченных средств (процентов в год); h_g – налоги в составе затрат, включаемые в себестоимость; $h_{нр}$ – налоги, начисляемые на прибыль; $p_{инв}$ – рентабельность инвестиций; $n_{чп}$ – процент погашения основной суммы долга по привлеченным инвестиционным ресурсам; $d_{чп}$ – дивиденды, выплачиваемые из чистой прибыли.

Звено дифференцирования описывается уравнением $x = k \cdot du / dt$, то есть выходной сигнал является пропорциональным входному сигналу с коэффициентом пропорциональности k .

Передаточная функция этого звена имеет вид $W(s)=ks$. В приведенной схеме звено дифференцирования отображает преобразование входного вектора объема средств, поступающих в проект ($K_{зис}$) в выходной вектор этого блока – поток расходов инвестиционного проекта.

Интегрирующее звено характеризуется тем, что скорость изменения выходной величины пропорциональна входной величине $dx / dt = ku$.

Таким образом, передаточная функция интегрирующего звена имеет вид $W(s)=k/s$ и является обратной оператору дифференцирования – s^{-1} .

В схеме модели инвестиционного проекта блок интегрирования применен для отображения преобразования входных для него переменных – поток вложений в основные фонды инвестиционного проекта (y_{OF}), поток стоимости амортизационный отчислений (y_a) и поток нераспределенной прибыли ($НП_y$) в выходные переменные – накопленные средства, вложенные в основные фонды инвестиционного проекта (OF_y), накопленные амортизационные отчисления (Y_a) и накопленная нераспределенная прибыль ($НП_y$) соответственно.

Оператор суммирования преобразовывает входные векторы $u_i(t)$ в выходной $x(t) = \sum_i u_i(t)$.

Исследование устойчивости инвестиционного проекта было выполнено с применением программного комплекса MATLAB/SIMULINK, который позволил построить структурную модель инвестиционного проекта и исследовать его поведение с использованием ряда критериев. Общий вид модели, приведенный на рис. 3, соответствует сформулированному заданию. Приведенная модель с обратной связью является одной из возможных для исследования устойчивости системы.

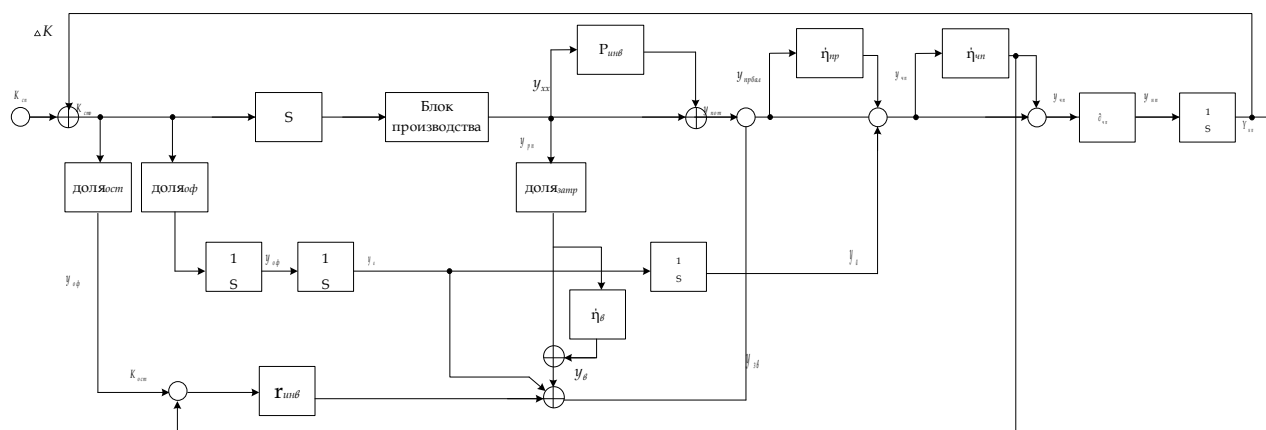


Рис. 2. Модель подсистемы объекта управления (инвестиционного проекта)

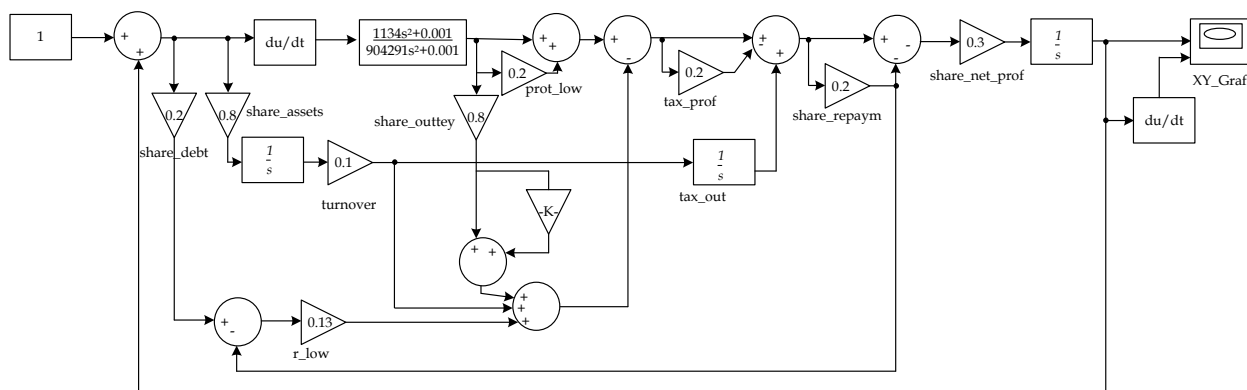


Рис. 3. Общий вид модели инвестиционного проекта в пакете SIMULINK

Говоря об устойчивости проекта как системы, будем исходить из базового определения устойчивости как свойства обладания ограниченной реакцией на ограниченный входной сигнал.

Большинство критериев устойчивости используют общий вид фазового портрета системы для того, чтобы сделать выводы относительно ее устойчивости. Фазовый портрет – это графическое отображение поведения системы (траектория точки) на фазовой плоскости по координатным осям которой отложены значения величины переменной состояния системы и скорости ее изменения (первой производной по времени). Другими словами, зависимость производной координаты точки от самой координаты

$$\begin{cases} x = v_i(t); \\ y = dv_i(t) / dt, \end{cases}$$

где v_i – i -я переменная состояния.

Поведение переменных во времени при таком способе отображения для каждой начальной точки описывается фазовой траекторией. Совокупность таких фазовых траекторий для любых начальных условий и является фазовым портретом.

На рис. 4 представлен фазовый портрет описанного ранее инвестиционного проекта.

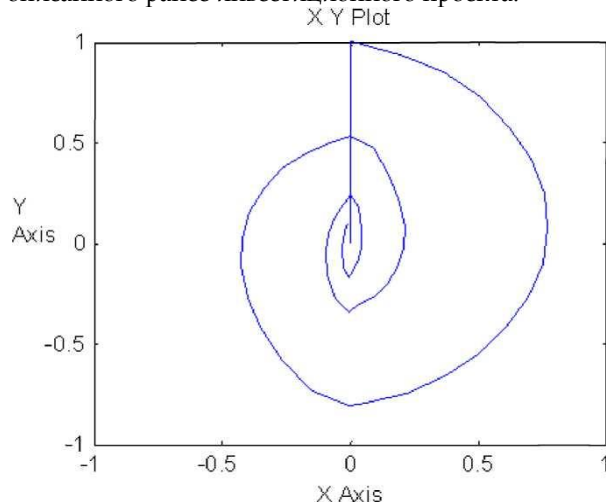


Рис. 4. Фазовый портрет поведения инвестиционного проекта в кибербезопасность

Применение более сложных критериев устойчивости подразумевает использование передаточной функции системы.

В качестве примера рассмотрим некоторый условный инвестиционный проект, параметры которого соответствуют параметрам среднего по размерам проекта в области кибербезопасности.

Передаточная функция этого проекта имеет следующий вид:

$$W(s) = \frac{2.1831s^3 - 2.0044s^2 - 0.0244s + 0.0043}{s^4 - 1.8998s^3 + 0.9043s^2 + -0.0045s + 0.0045}$$

Корни характеристического полинома передаточной функции положительны ($s_1=1.000$, $s_2=0.8948$, $s_3=0.0025$, $s_4=0.0025$), что говорит о неустойчивости инвестиционного проекта в разомкнутом виде (без реинвестирования).

Рассмотрим вариант, когда получаемая прибыль повторно инвестируется в проект, т.е. проект приобретает так называемый замкнутый вид.

Наиболее часто для исследования замкнутых систем (выход частично или полностью подается на вход системы, что в случае инвестиционного проекта соответствует реинвестированию) используется критерий Найквиста. В основе критерия лежит понятие критерия годографа – траектории корней характеристического уравнения на комплексной плоскости при изменении какого-либо параметра.

Корневой годограф, построенный по результатам применения критерия Найквиста, приведен на рис. 5. Исходя из критерия Найквиста, можно сделать вывод, что система устойчива (условно устойчива), потому что она не охватывает точку $(-1, j_0)$. Этот вывод является следствием критерия Найквиста, а именно:

- 1) если корней в правой полуплоскости нет, то годограф не должен охватывать точку $(-1, j_0)$ (что иллюстрирует рис. 6 - график не охватывает точку $(-1, j_0)$);
- 2) неустойчивая система в разомкнутом состоянии может быть устойчивой в замкнутом состоянии. И наоборот.

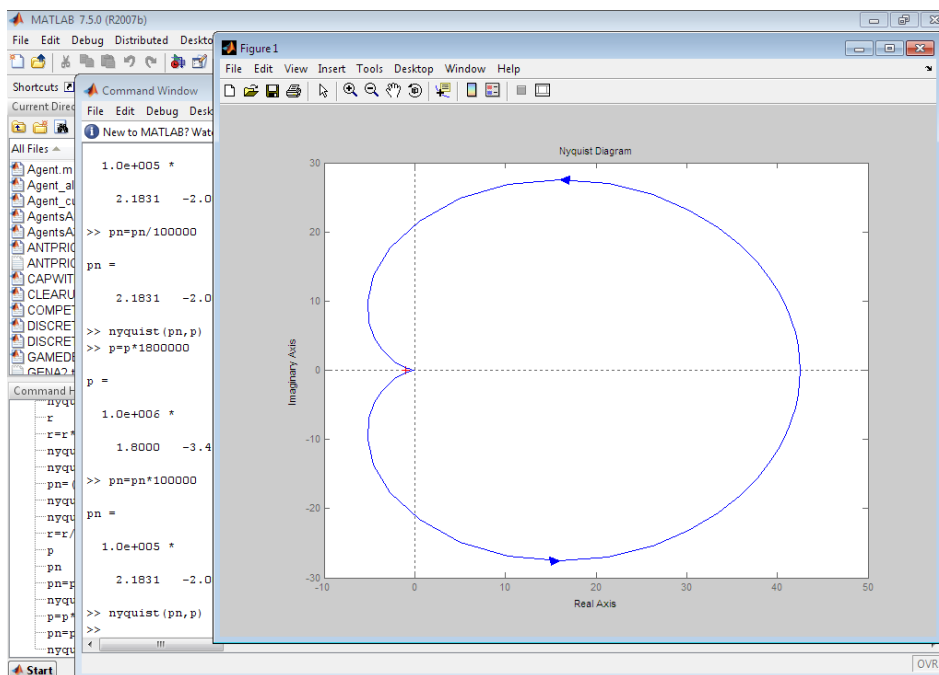


Рис. 5. Диаграмма Найквиста

Как видно из формы корневого годографа, условный инвестиционный проект является устойчивым в замкнутом состоянии, но не является таким в разомкнутом состоянии.

Полученные результаты приводят к следующим выводам.

Кибербезопасность интегрирована в информационные системы, поэтому рассматривать инвестиционные проекты в кибербезопасность следует в комплексе с процессами инвестирования в другие виды деятельности информационных систем. Неустойчивость инвестиционных проектов разомкнутого типа с устойчивостью проектов с реинвестициями следует воспринимать как подтверждение предыдущего утверждения. Косвенно, это коррелируется с целью инвестиционного проекта в кибербезопасность, заключающейся не в получении финансовой прибыли, а обеспечивающей снижение потерь от кибератак. В этой ситуации имело бы смысл рассматривать вопрос об оценке прибыли в зависимости от снижения потерь в информационной системе.

Выводы

Таким образом, предложена модель, позволяющая анализировать устойчивость инвестиционного проекта в кибербезопасность с помощью исследования поведения его передаточной функции с применением методики составления типовых структурных схем построения модели инвестиционных проектов. В системе MATLAB реализована структурная схема инвестиционного проекта в кибербезопасность. Проведение исследования устойчивости инвестиционного проекта с помощью приведенной модели позволит повысить обоснованность принимаемых решений, что в свою очередь позволит минимизировать последствия влияния возмущений (угроз), которые могут приводить к выходу проекта за пределы границ устойчивости. Таким образом, формируется

методологическая база управления проектом в кибербезопасность с учетом динамических характеристик.

Полученная модель позволяет проводить имитационные эксперименты с целью определения границ устойчивости проекта, возмущений, которые могут приводить проект к выходу из них, результаты – проектировать системы управления безопасностью, генерировать такие управляющие воздействия, которые удерживают проект в устойчивом состоянии.

Исследование устойчивости инвестиционного проекта в кибербезопасность позволяет контролировать его реализацию благодаря выявлению отклонений значений запланированных и фактических показателей, определяющих его осуществление, и управлять ими, то есть внедрять концепцию, получившую название «управление по отклонениям». Применение понятия связной устойчивости позволяет решать задачу математического описания системы, в которой трудно выделить внутренние связи и указать точные числовые соотношения между компонентами системы.

В то же время данное понятие объединяет в себе классическое определение устойчивости и комбинаторно-топологический подход, позволяющий осуществить переход к модели инвестиционного проекта в переменных состояниях, в свою очередь обеспечит получение характеристического многочлена системы, вид и значения коэффициентов которого являются определяющими во время исследования устойчивости системы.

Для формулировки направлений дальнейших исследований необходимо отметить, что приведенные модели требуют совершенствования в двух направлениях: сочетание внутреннего и внешнего описаний системы и описания с помощью знакового орграфа с целью включения модели инвестиционного проекта киберзащиты в качестве подсистемы объекта управления в систему управления инвестици-

онным проектом IT-предприятия; и сочетание совокупности моделей оценки устойчивости, присущих разным уровням математической интерпретаций в комплекс моделей исследования устойчивости инвестиционного проекта с целью включения его в систему контроллинга киберустойчивости.

Литература

[1]. Доктрина інформаційної безпеки України, затверджено Указом Президента України від 25 лютого 2017 року № 47/2017. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/47/2017/paran2#n2>.

[2]. Указ Президента України від 15 березня 2016 року № 96 "Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 27 січня 2016 року "Про Стратегію кібербезпеки України". [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/96/2016/paran11#n11>.

[3]. Указ Президента України від 12 лютого 2007 року № 105 "Про Стратегію національної безпеки України". [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/105/2007/>.

[4]. Р. Гришук, О. Корченко, "Методологія синтезу та аналізу диференціально-ігрових моделей та методів моделювання процесів кібернападу на державні інформаційні ресурси", *Захист інформації*, № 3, С. 115-122, 2012.

[5]. А. Корченко, В. Щербина, Н. Вишнева, "Методологія побудови систем виявлення аномалій порождених кібератаками", *Захист інформації*, Т. 18, №1, С. 30-38, 2016.

[6]. В. Бурячок, Р. Гришук, В. Хорошко, *Політика інформаційної безпеки*, 2014, 222 с.

[7]. Р. Гришук, Ю. Даник, *Основи кібернетичної безпеки*, Житомир : ЖНАЕУ, 2016, 636 с.

[8]. С. Евсеев, "Модель нарушителя прав доступа в автоматизированной банковской системе на основе синергетического подхода", *Інформаційна безпека*, № 2 (26), С. 110-120, 2017.

[9]. Р. Гришук, С. Евсеев, "The synergetic approach for providing bank information security: the problem formulation", *Безпека інформації*, № 22(1), С. 64.

[10]. *Investing in Cybersecurity*. RAND Europe, Report RR -1202, August 2015. 67 p.

[11]. L. Gordon, M. Loeb, "The economics of information security investment," *ACM Transactions on Information and System Security*, vol. 5, no. 4, pp. 438-457, 2002.

[12]. A. Fielder, E. Panaousis, P. Malacaria, C. Hankin, F. Smeraldi, "Decision support approaches for cyber security investment," *Decision Support Systems*, vol. 86, pp. 13-23, 2016.

[13]. Y. Lee, R. Kauffman, R. Sougstad, "Profit-maximizing firm investments in customer information security" *Decision Support Systems*, vol. 51, no. 4, pp. 904-920, 2011.

[14]. B. Srinidhi, J. Yan, G. K. Tayi, "Allocation of resources to cybersecurity: The effect of misalignment of interest between managers and investors", *Decision Support Systems*, vol. 75, pp. 49-62, 2015.

[15]. В. Анфилатов, А. Емельянов, А. Кукушкин, *Системный анализ в управлении*, М.: Финансы и статистика, 2002, 368 с.

[16]. О. Полякова, А. Милов, *Моделирование системных характеристик экономики*, Харьков, Изд. Дом ИНЖЕК, 2006, 296 с.

[17]. Р. Гришук, Ю. Даник, "Синергія інформаційних та кібернетичних дій", *Труди університету НУОУ*, № 6 (127), С. 132-143, 2014.

[18]. S. Beissel, "Cybersecurity Investments", *Progress in IS Springer International Publishing*, Switzerland 2016. DOI 10.1007/978-3-319-30460-11.

[19]. В. Царьков. "Динамические модели экономических систем", *Сборник научных трудов Приложение к журналу «Аудит и финансовый анализ»*, №2, С. 118-139, 2005.

[20]. L. Gordon, M. Loeb, JW. Lucyshyn, "Information security expenditures and real options: A wait-and-see approach", *Computer Security Journal*, vol. 19, no. 2, pp. 1-7, 2003.

[21]. A. Pivoriene, "Real options and discounted cash flow analysis to assess strategic investment projects", *Economics and Business*, vol. 30, no. 1, pp. 91-101, 2017.

[22]. S. Majd, R. Pindyck, "Time to build, option value, and investment decisions", *Journal of Financial Economics*, vol. 18, no. 1, pp. 7-27, 1987.

[23]. A. Dixit, R. Pindyck, *Investment under uncertainty*, Princeton University Press, 1994.

[24]. N. Malchow-Muller, B. Thorsen, "Repeated real options: Optimal investment behaviour and a good rule of thumb", *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 29, no. 6, pp. 1025-1041, 2005.

[25]. P. Kort, P. Murto, G. Pawlina, "Uncertainty and stepwise investment", *European Journal of Operational Research*, vol. 202, no. 1, pp. 196-203, 2010.

[26]. Y. Balcer, S. Lippman, "Technological expectations and adoption of improved technology", *Journal of Economic Theory*, vol. 34, no. 2, pp. 292-318, 1984.

[27]. S. Grenadier, A. Weiss, "Investment in technological innovations: An option pricing approach", *Journal of Financial Economics*, vol. 44, no. 3, pp. 397-416, 1997.

[28]. H. Farzin, K. Huisman, P. Kort, "Optimal timing of technology adoption", *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 22, no. 5, pp. 779-799, 1998.

[29]. U. Doraszelski, "The net present value method versus the option value of waiting: A note on Farzin, Huisman and Kort", *Journal of Economic Dynamics and Control*, vol. 25, no. 8, pp. 1109-1115, 2001.

[30]. K. Huisman, P. Kort, "Strategic technology adoption taking into account future technological improvements: A real options approach", *European Journal of Operational Research*, vol. 159, no. 3, pp. 705-728, 2004.

[31]. R. Kauffman, X. Li, "Technology competition and optimal investment timing: A real options perspective", *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 52, no. 1, pp. 15-29, 2005.

[32]. L. Gordon, M. Loeb, W. Lucyshyn, L. Zhou, "The impact of information sharing on cybersecurity underinvestment: A real options perspective", *Journal of Accounting and Public Policy*, vol. 34, no. 5, pp. 509-519, 2015.

[33]. M. Daneva, *Applying real options thinking to information security in networked organizations*, Centre for Telematics and Information Technology, University of Twente, Tech. Rep., 2006.

[34]. H. Herath, T. Herath, "Investments in information security: A real options perspective with Bayesian postaudit," *Journal of Management Information Systems*, vol. 25, no. 3, pp. 337-375, 2008.

[35]. M. Benaroch, S. Shah, M. Jeffery, "On the valuation of multistage information technology investments embedding nested real options," *Journal of Management Information Systems*, vol. 23, no. 1, pp. 239- 261, 2006.

[36]. H. Herath, C. Park, "Multi-stage capital investment opportunities as compound real options," *The Engineering Economist*, vol. 47, no. 1, pp. 1-27, 2002.

[37]. L. Khansa, D. Liginlal, "Valuing the flexibility of investing in security process innovations," *European Journal of Operational Research*, vol. 192, no. 1, pp. 216-235, 2009.

[38]. M. Benaroch, "Real options models for proactive uncertainty - Reducing mitigations and applications in cybersecurity investment decisionmaking", *Information Systems Research*, 2017.

[39]. S. Berthold, R. Bohme, "Valuating privacy with option pricing theory", *Economics of Information Security and Privacy*, pp. 187-209, 2010.

[40]. M. Chronopoulos, E. Panaousis, J. Grossklags, "An Options Approach to Cybersecurity Investment", *Article in IEEE Access*, November 2017. DOI 10.1109/ACCESS.2017.2773366, IEEE Access

[41]. Дж. Касти, *Большие системы. Связность, сложность и катастрофы: Пер. с англ.* М.: Мир, 1982, 216 с.

[42]. А. Милов, А. Ковалик, "Структурная модель инвестиционного проекта", *Бизнес-информ.* №12 (3), С. 51-53, 2007.

[43]. М. Интрилигатор, *Математические методы оптимизации и экономическая теория.* М: Айрис-Пресс, 2002, 553 с.

[44]. А. Ковалик, "Использование переменных состояния для моделирования инвестиционного проекта предприятия", *Экономика: проблемы теории и практики: Сборник научных трудов.* Вып. 229: Т. 1, С. 281-288, 2007.

[45]. Р. Дорф, Р. Бишоп, *Современные системы управления.* М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004, 832 с.

УДК 004.056.053

Мілов О.В., Євсєєв С.П., Алексієв В.О. Розробка структурних моделей стійкості інвестиційних проектів в кібербезпеці

Анотація. Необхідність дослідження поведінки інвестиційного проекту в кібербезпеці як системи в цілому і його стійкості до синергетичних загроз викликана потребою у виявленні можливих відхилень в процесі його реалізації та необхідністю впливати на них за допомогою коригувальних впливів на систему кібербезпеки. Показано, що різноманітність методів дослідження стійкості викликана в першу чергу наявністю неоднозначного підходу до математичного опису досліджуваної системи кібербезпеки, відсутністю єдиної методології в оцінці стійкості інвестиційних проектів в кібербезпеці. В роботі запропонований підхід, заснований на застосуванні для дослідження стійкості інвестиційного проекту в кібербезпеці поєднання двох видів опису, а саме, опису у вигляді передаточної функції і опису в просторі змінних стану проекту. Запропоновано модель, що дозволяє аналізувати стійкість інвестиційного проекту в кібербезпеці за допомогою дослідження його передаточної функції з застосуванням методики складання типових структурних схем побудови моделі інвестиційних проектів в кібербезпеці. Для аналізу стійкості інвестиційних проектів замкнутого типу (з реінвестиціями) в роботі застосовано критерій Найквіста, заснований на методі кореневого годографа. Отримано оцінки стійкості умовного інвестиційного проекту разомкнутого типу і проекту з реінвестиціями.

Ключові слова: кібербезпека, інвестиційний проект, стійкість, критерій Найквіста, кореневої годограф, передавальна функція, простір станів, орієнтований граф.

Milov O., Yevseiev S., Alekseyev V. Development of structural models of stability of investment projects in cyber security

Abstract. The need to study the behavior of an investment project for cybersecurity as a whole system and its resistance to synergistic threats is caused by the need to identify possible deviations in the process of its implementation and the need to influence them with the help of corrective actions to the cybersecurity system. It is shown that a variety of methods for studying sustainability is caused primarily by the presence of an ambiguous approach to the mathematical description of the cybersecurity system under study, the lack of a unified methodology for assessing the sustainability of investment projects for cybersecurity. This paper suggests an approach based on the application for studying the sustainability of an investment project for cybersecurity combining two types of description, namely, descriptions in the form of a transfer function and descriptions in the space of state variables of project.

A model was proposed allows analyzing the sustainability of an investment project for cybersecurity using the study of the behavior of its transfer function using the method of drawing up typical structural schemes for constructing a model of investment projects for cybersecurity. To analyze the stability of investment projects of the closed type (with reinvestment), the Nyquist criterion based on the root locus method is used in the work. Obtained stability estimates for a conditional investment project of an open type and with reinvestment.

Keywords: cybersecurity, investment project, sustainability, Nyquist criterion, root locus, transfer function, state space, directed graph.

Отримано 29 листопада 2018 року, затверджено редколегією 14 грудня 2018 року