

Инструменты измерения рисков взаимного влияния энергетических предприятий

И.Н. Фомин

Аннотация. Статья посвящена предложению использовать современные инструменты измерения рисков для изучения взаимного влияния энергетических предприятий, находящихся в единой технологической цепи. Риск значимого влияния одного предприятия на другое был выражен через квантиль, определяющий вероятность влияния различных технико-экономических показателей в элементах технологической цепи предприятий, и предложена математическая модель, которая описывает эффекты взаимного влияния на систему технологически связанных предприятий энергетики. Описаны основные свойства производной измеряемого риска и показано, что при использовании набора значимых и согласованных показателей, используя метод квантильных регрессий, можно определить, какие смежные предприятия могут быть подвергнуты большим рискам при изменении этих согласованных показателей.

Ключевые слова: *взаимное влияние энергетических предприятий, мера риска, CoVaR, квантильная регрессия.*

Введение

На современном этапе технологической и экономической интеграции электроэнергетическая отрасль является сложнейшей технической и экономической системой. В первую очередь это означает тесную экономическую и технологическую связь генерирующих, энергосетевых и энергосбытовых предприятий, а также связь всей энергетической отрасли с другими отраслями экономики. Вышеперечисленные предприятия образуют технологическую цепь в процессе создания, передачи, распределения и потребления электроэнергии и логично предположить, что эти предприятия имеют опосредованные связи между собой не только технического, но и экономического характера. Игнорирование зависимостей между предприятиями, находящимися в единой производственной цепи, недостаточная идентификация этих зависимостей, отсутствие или неприменение инструментов измерения влияния деятельности предприятий друг на друга приводит к увеличению вероятности возникновения феномена системных рисков. Появление системных рисков грозит финансово-экономической системе государства глубочайшей депрессией за счет так называемого «эффекта домино» – краха отдельных институтов и отраслей одного за другим [1].

В цепи экономических кризисов и падения производства проявляются условия для появления системных рисков, которые схожи для разных субъектов энергетического рынка, выраженные в снижении эффективности предприятий электроэнергетики, независимо от профиля предприя-

тия, находящегося в технологической цепи. Даже риски розничных продавцов электроэнергии во многом совпадают по природе с рисками генераторов [2]. Такие зависимости влекут за собой риски наступления неблагоприятных последствий в сфере обеспечения энергией реального сектора экономики. В связи с этим вопросы раннего выявления, прогнозирования и предотвращения факторов, способствующих возникновению и развитию системного риска, являются важнейшей научно-практической задачей.

1. Описание модели

В настоящее время одной из самых передовых инструментов измерения рисков является величина *VaR* (*Value-at-Risk*), которая выражает в денежных единицах величину, которую не превысят ожидаемые в течение определенного периода времени потери с заданной вероятностью. Чаще всего эту величину применяли лишь для оценки рисков отдельно рассматриваемых экономических субъектов, не учитывая риски, которым подвергаются предприятия, связанные друг с другом технологически.

В начале второго десятилетия XXI века американскими экономистами Маркусом Браннермее-ром (M. Brunnermeier) и Тобиасом Адриани (T. Adrian) была предложена качественно новая мера риска – *CoVaR*, которая позволяет производить измерение взаимозависимых рисков на финансовых рынках. В настоящей работе была сделана попытка использования величины *CoVaR* для оценки уров-

ня взаимозависимости технологически связанных между собой предприятий электроэнергетики.

Для оценки возможности применения величины $CoVaR$ в задачах оценки уровня взаимозависимости технологически связанных между собой предприятий электроэнергетики нужно дать ему определение и описать основные его свойства.

$CoVaR$ – это производная VaR , которая часто применяется при моделировании условных дисперсий и вероятностной плотности с маркерами условности, взаимного влияния и параллельной динамики исследуемых субъектов [3,4]. Величина $CoVaR$, рассчитанная для некоторого субъекта относительно системы в целом ($\Delta CoVaR$), может быть использована для определения величины предельного вклада конкретного объекта экономической или технической системы в формирование системного риска в целом. Это дает возможность утверждать, что такая мера является достаточной для изучения риска внешнего эффекта одного предприятия электроэнергетики на другое технологически связанное предприятие в пределах технологической модели производства, передачи, сбыва и потребления электроэнергии и мощности.

Введем формальное определение величины $CoVaR$ и определим ее свойства в задачах оценки уровня взаимозависимости технологически связанных между собой предприятий электроэнергетики.

Объем энергопотребления массива потребителей электроэнергии влияет на различные показатели деятельности энергосбытового предприятия A . Энергосбытовое предприятие определяет объем передачи электроэнергии по сетям энергосетевого предприятия B . Пропускная способность электрических сетей, объемы энергопотребления, технические и финансовые показатели деятельности сетевого предприятия оказывают воздействие на технико-экономические показатели деятельности энергогенерирующего предприятия C .

Согласно предложенной в [5] методики, риск влияния вышеперечисленных предприятий друг на друга $VaR_q^{(ABC)}$ в неявной форме определяется через квантиль q и вероятность прецедентов Pr , имеющих влияние на смежное предприятие, следующим образом:

$$Pr(X^A \leq VaR_q^A) = q,$$

где X^A – переменная, относящаяся к предприятию A , для которого определяется риск VaR_q^A .

Исходя из этого, $CoVaR_q^{B|A}$ – это величина, равная величине VaR предприятия B (или всей системы предприятий) при условии наступления некоторого события $E(X^A)$ на предприятии A . Аналогично $CoVaR_q^{C|B}$ – это величина, равная

величине VaR предприятия C (или всей системы предприятий) при условии наступления некоторого события $E(X^B)$ на предприятии B , и так далее.

Вышеописанную зависимость предприятий, находящихся в технологической цепочке $CoVaR_q^{A|B}$, можно определить через квантиль q распределения условной вероятности следующим образом:

$$Pr\left(X^B \leq VaR_q^{B|E(X^A)} | E(X^A)\right) = q.$$

Это выражение дает возможность сформулировать влияние всех элементов технологической цепи предприятий (A, B, C) друг на друга через разницу производных рисков для исследуемых предприятий и медианных показателей риска других смежных предприятий или всей системы предприятий:

$$\Delta CoVaR_q^{B|A} = CoVaR_q^{B|X^A = VaR_q^A} - CoVaR_q^{B|X^A = Median^A}$$

$$\Delta CoVaR_q^{C|B} = CoVaR_q^{C|X^B = VaR_q^B} - CoVaR_q^{C|X^B = Median^B}$$

$$\Delta CoVaR_q^{A|C} = CoVaR_q^{A|X^C = VaR_q^{AC}} - CoVaR_q^{A|X^C = Median^C}$$

Если через A выразить не энергосбытовое предприятие, а всю систему генерации, передачи, сбыва и потребления электроэнергии в целом, т.е. когда эффективность деятельности системы энергетических предприятий находится на уровне величины, которую не превысят ожидаемые в течение определенного периода времени потери с заданной вероятностью, то в этой системе уравнений индекс A можно опустить. Следовательно, показатель изменения набора сбытовых составляющих $\Delta CoVaR^A$ обозначает разницу между величиной VaR для всей системы технологически связанных предприятий при колебаниях каких-либо заданных технико-экономических показателей и среднестатистического состояния этих показателей для сбытовой составляющей системы предприятий.

Вышеописанная система уравнений $CoVaR_q^{(ABC)}$ описывает эффекты взаимного влияния на систему технологически связанных предприятий. При определении набора исходных технико-экономических показателей, свойственных данной отрасли, она четко опишет величину изменения VaR какого-либо предприятия технологической цепи посредством определения величины $CoVaR_q^{A|B|C|syst}$, которая показывает, какие смежные предприятия подвергаются большим рискам.

2. Свойства модели

Показатель $CoVaR$ обладает набором свойств, описанных в [5], которые можно проследить и в

предложенных объектах исследования. К таким свойствам можно отнести свойство «клонирования», причинности, эндогенности и направленности.

Свойство «клонирования» выражается в том, что при разделении предприятия на несколько идентичных предприятий («клонов») $CoVaR$ исходного предприятия будет равен соответствующей величине, вычисленной для «клонов».

Свойство причинности определяет, что величина $\Delta CoVaR$ не делает различий между тем, вызваны ли изменения технико-экономических параметров системы предприятий конкретными изменениями какого-то общего фактора для этой системы предприятий. Действительно, ухудшение или улучшение каких-то показателей одного предприятия необязательно влечет за собой изменение показателей смежного предприятия или всей системы предприятий, но когда эти изменения обусловлены важнейшими для технологической цепи факторами, то неизбежны изменения в технико-экономических показателях всех энергетических предприятий, связанных в технологическую цепь.

Свойство эндогенности системного риска показывает, что величина $CoVaR$ каждого предприятия технологической цепи зависит от степени подверженности этому риску других предприятий системы.

Свойство направленности означает, что величина $CoVaR$, определенная для некоторой системы предприятий при изменениях технико-экономических параметров какого-либо предприятия системы, не равна величине $CoVaR$ для этого предприятия.

Кроме того, практика применения $CoVaR$ в других отраслях экономики показала, что величина $CoVaR$ является более экстремальной, чем безусловный VaR , за счет того, что он принимает во внимание VaR в условиях наступления событий, влияющих на технико-экономические параметры отрасли или системы предприятий [5].

Свойства «клонирования», причинности, эндогенности и направленности дают возможность применять их для выстраивания систем управления энергетическими предприятиями и применения инструментов $CoVaR$ -анализа в риск-менеджменте энергетической отрасли. Расчет этого показателя является научно-технической задачей и может быть реализован методами квантильных регрессий или с использованием GARCH моделей, которые описывают зависимость условной дисперсии от прошлых значений временного ряда, что часто применяется в задачах определения рисков и при оценке влияния неформальности на функциональные зависимости [6–9].

Технико-экономические показатели электроэнергетической отрасли часто резко изменяются. В

технологически связанных предприятиях электроэнергетики это вызывает «эффект домино», вызывающее негативные последствия для всех участников энергетического рынка. Особенно это было характерно для России во времена реформы электроэнергетики в первом десятилетии XXI века, в период экономических кризисов 2008 и 2014 гг.

При анализе показателей и выявлении характера их взаимовлияния требуется различать отклонения, связанные с особенностями функционирования энергетических систем от тенденций, которые вызваны внешними социально-экономическими причинами. Метод квантильных регрессий позволяет «оставлять за скобками» подобного рода отклонения, потому при поиске решений такого рода задач его использование более предпочтительно, чем использование классических моделей.

3. Применение модели

Для анализа взаимного влияния субъектов энергетического рынка предложенным методом достаточно построить квантильную регрессию для нахождения оценок коэффициентов для энергосбытового предприятия A и электросетевого предприятия B некой системе технологически связанных предприятий. Классический вид квантильной регрессии в нашем случае принимает вид:

$$\hat{X}_q^{syst,A} = \hat{\beta}_q^A + \hat{\beta}_q^B X^A,$$

где β - вектор различных коэффициентов, соответствующих квантилям определенных технико-экономических показателей.

Эта функция описывает ожидаемые значения определенного набора объясняемых технико-экономических показателей для предприятия A по выбранному квантилю и формализует процедуру оценки параметров линейной зависимости между зависимыми показателями и заданным уровнем квантили задаваемых технико-экономических показателей $\{w\}$. Этими показателями могут быть плановые и фактические показатели полезного отпуска электроэнергии w_1 и w_2 , количество точек поставки энергии w_3 , плановая и фактическая выручка w_4 и w_5 , пропускная способность электросети w_6 , располагаемая мощность, параметры себестоимости w_8 и другие согласованные показатели w_i . Наборы технико-экономических показателей $\{w\}$ можно согласовывать, оптимизируя квантильную регрессию. Задача оптимизации при этом будет иметь вид:

$$\sum w_i \left| \hat{\beta}_q^B X^A - \hat{X}_q^{syst,A} \right| \rightarrow \min \beta.$$

В случае, если $X^A = VaR_q^A$ (т.е. энергосбытовое предприятие A находится в состоянии VaR), то

появляется возможность найти коэффициенты квантильной регрессии и значение $CoVaR$ по формуле:

$$CoVaR_q^{syst|X=VaR_q^A} = VaR_q^{syst} | VaR_q^A = \hat{\beta}_q^A + \hat{\beta}_q^A VaR_q^A$$

Для расчета показателя $\Delta CoVaR$ можно использовать программную среду «R», предназначенную для статистической обработки различных видов данных с встроенным языком программирования, в которой есть специализированная библиотека для построения квантильных регрессий «quantreg».

Заключение

К сожалению, автору не удалось найти в открытых источниках информации о деятельности какой-либо системы смежных энергетических предприятий. Следующим этапом исследования должна стать выборка необходимой информации из различных источников, нахождение в ней общих для всей системы предприятий технико-экономических показателей, обработка их предложенными методами для визуализации системных рисков, свойственных этим предприятиям.

Системные риски очень характерны для технологически связанных предприятий. Управление взаимосвязанными рисками в электроэнергетике является не только актуальной научной задачей, но и реальным практическим инструментом риск-менеджмента в прикладной отрасли. В связи с тем, что такого рода риски в такой специфической отрасли как энергетика трудно минимизировать с помощью смены коммерческой стратегии или переориентации производства, то важно вести постоянную практическую работу по идентификации рисков, определению вероятности наступления рискованных ситуаций, выработке мер по их предотвращению. Следовательно, становятся актуальны научные и аналитические исследования, направленные на выявление взаимосвязей между элементами системы предприятий и на изучение их влияния на энергетическую отрасль в целом. Следующий этап исследования с расчетами величины $CoVaR$ для выбранной системы энергетических компаний должен продемонстрировать ее адекватность и практическую применимость.

Фомин Игорь Николаевич. Доцент Саратовского государственного технического университета (СГТУ) им. Гагарина Ю. А., Института прикладных информационных технологий и коммуникаций. Окончил в 2012 г. СГТУ. Кандидат технических наук. Количество печатных работ: 14. Область научных интересов: системный анализ, моделирование и проектирование информационных систем, реинжиниринг бизнес-процессов, оптимизация производственных процессов, автоматизация энергетических предприятий. E-mail: ignik16@yandex.ru

Общий результат проведенного исследования состоит в описании новых способов формирования математических моделей для объектов, систем и процессов прикладной области народного хозяйства, что позволит применять новые методы управления энергетическими системами, повышать энергоэффективность, надежность и качество систем электроснабжения, оптимизировать энергопотребление.

Литература

1. *De Nicolò G., Lucchetta M.* Systemic Risks and the Macroeconomy, NBER Chapters in: Quantifying Systemic Risk. 2011. p. 113–148.
2. *Орловский А.С.* О классификации рисков в электроэнергетике // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2011. Т. 61. № 1. С. 51-55.
3. *Jorion P.* Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk / 3rd Ed.: McGraw Hill Professional. 2006.
4. *Анатольев С.* Объекты неструктурного моделирования временных рядов // Квантиль. 2013. № 1, РЭШ, С. 1-11.
5. *Adrian T., Brunnermeier M.K., Nguyen H.-L.Q.* Hedge Fund Tail Risk, NBER Chapters in: Quantifying Systemic Risk. 2011. p. 155–172.
6. *Абдураманов Р.А., Пасенченко Ю.А.* Моделирование нетто-премий с применением метода квантильной регрессии // Економічний вісник Національного технічного університету України, Київський політехнічний інститут. 2011. № 8. С. 446-451.
7. *Болдин М.В., Симонова Г.И., Тюрин Ю.Н.* Знаковый статистический анализ линейных моделей. М.: Наука. 1997. 288 с.
8. *Лукьянова А. Л.* Использование безусловных квантильных регрессий при оценке влияния неформальности на неравенство // Прикладная эконометрика. 2013. № 4 (32). С. 03-28.
9. *Барабаш В. А., Сидоров С. П.* Анализ взаимного влияния экономических субъектов с использованием меры риска COVAR на примере российских компаний // Корпоративные финансы. 2014. № 1 (29). С. 72-82.

Tools for measuring risks of mutual influence of energy enterprises

I. N. Fomin

Abstract. The article is devoted to the author's proposal to use modern risk measurement tools for studying the mutual influence of energy enterprises. The risk of significant influence of one enterprise on another was expressed through a quantile. A mathematical model was proposed that describes the effects of mutual influence on a system of technologically related energy enterprises. The main properties of the derivative of the measured risk are described and it is shown that using a set of significant and consistent indicators, using the method of quantile regressions, it is possible to determine which adjacent enterprises can be exposed to greater risks when these change indicators is agreed.

Keywords: *mutual influence of energy enterprises, risk measure, CoVaR, quantile regression.*

References

1. De Nicolò G., Lucchetta M. Systemic Risks and the Macroeconomy, NBER Chapters in: Quantifying Systemic Risk, 2011. p. 113–148.
2. Orlovskij A.S. 2011 O klassifikatsii riskov v `elektro`energetike [On the classification of risks in the electric power industry]. Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossijskoj akademii nauk [Proceedings of the Institute of System Analysis of the Russian Academy of Sciences] 61(1): 51-5;
3. Jorion P. Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk. 3rd Ed.: McGraw Hill Professional. 2006.
4. Anatol'ev S. 2013 Ob`ekty nestrukturnogo modelirovaniya vremennyh rjadov [The time series objects of nonstructural modeling]. Kvantil, RESh, 1:1-11.
5. Adrian T., Brunnermeier M.K., Nguyen H.-L.Q. Hedge Fund Tail Risk, NBER Chapters in: Quantifying Systemic Risk, 2011. p. 155–172.
6. Abduramanov R.A., Pasenchenko YU.A. 2011. Modelirovanie netto-premij s primeneniem metoda kvantil'noj regressii [The net-premiums modeling using the method of quantile regression]. Ekonomichnij visnik Nacional'nogo tekhnichnogo universitetu Ukraïni, [Economic Herald of the National Technical University of Ukraine]. Kiïvskij politekhnichnij institut. [Kyiv Polytechnic Institute] 8: 446-451.
7. Boldin M.V., Simonova G.I., Tjurin Ju.N. 1997. Znakovyj statisticheskij analiz linejnyh modelej [Signed statistical analysis of linear models]. Nauka, 288.
8. Luk'janova A.L. 2013. Ispol'zovanie bezusloynyh kvantil'nyh regressij pri otsenke vlijaniya neformal'nosti na neravenstvo [The use of unconditional quantile regressions in evaluating the influence of informality on inequality]. Prikladnaja `ekonometrika. [Applied Economics] 4(32): 03-28.
9. Barabash V.A., Sidorov S.P. 2014. Analiz vzaimnogo vlijaniya `ekonomicheskikh sub"ektov s ispol'zovaniem mery riska COVAR na primere rossijskikh kompanij [The Analysis of the Mutual Influence of Economic Subjects Using Risk Measure CoVaR on the Example of Some Russian Companies]. Korporativnye finansy [Corporate Finance] 1 (29): 72-82.

Fomin I. N. Institute of Applied Information Technologies and Communications, Department of Information and Communication Systems and Software Engineering, Saratov State Technical University named after Gagarin Yu. A., Saratov, Russia, E-mail: ignik16@yandex.ru.