

УДК 519.83  
DOI 10.17513/snt.39910

## ПРИМЕНЕНИЕ ВЕКТОРА ШЕПЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМЫ

Сальникова А.Ю., Степанов Л.В.

ФКОУ ВО «Воронежский институт ФСИН России», Воронеж,  
e-mail: salnikova.nastya1999@yandex.ru

Обеспечение безопасности является приоритетной задачей в современных условиях. Для обеспечения безопасности необходимо применять эффективные мероприятия, которые позволят нейтрализовать негативные воздействия на систему. Одним из видов таких влияний является деструктивная деятельность, как злоумышленников, так и персонала. В публикации предлагается применить вектор Шепли для определения оптимального сочетания мероприятий и оценить их эффективность по отношению к деструктивной деятельности. Для этой цели рассмотрены базовые вопросы обеспечения безопасности в различных условиях. Обосновывается понятие деструктивной деятельности как различных видов негативного влияния на режим безопасности системы. Установлено, что нейтрализация деструктивной деятельности может быть осуществлена на основе сочетания различных мероприятий по обеспечению безопасности. Это обосновывает применение теории кооперативных игр и вектора Шепли для определения оптимальной коалиции мероприятий. Рассматриваются подходы к формированию коалиций и предлагаются различные критерии для выбора оптимальной коалиции мероприятий по обеспечению безопасности. Рассмотрен числовой пример применения вектора Шепли к задаче оценки безопасности. Исследование возможности применения кооперативных игр позволяет реализовать предложенный подход в практической деятельности специалистов по обеспечению безопасности на предприятиях.

**Ключевые слова:** система, безопасность, угроза, деструктивная деятельность, мероприятия по обеспечению безопасности, злоумышленник, теории кооперативных игр, вектор Шепли

## APPLICATION OF THE SHAPLEY VECTOR TO ASSESS SYSTEM SAFETY

Salnikova A.Yu., Stepanov L.V.

Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Voronezh,  
e-mail: salnikova.nastya1999@yandex.ru

Ensuring safety is a priority in modern conditions. To ensure safety, it is necessary to apply effective measures that will neutralize negative impacts on the system. One type of such influence is destructive activity, both from intruders and from staff. The publication proposes to use the Shapley vector to determine the optimal combination of measures and evaluate their effectiveness in relation to destructive activities. For this purpose, basic safety issues in various conditions are considered. The concept of destructive activity is substantiated as a generalization of various types of negative impact on the security regime of the system. It has been established that neutralization of destructive activities can be carried out based on a combination of various security measures. This justifies the use of cooperative game theory and the Shapley vector to determine the optimal coalition of activities. Various approaches to coalition formation are considered. Various criteria are proposed for selecting the optimal coalition of security measures. A numerical example of applying the Shapley vector to a safety assessment problem is considered. Studying the possibility of using cooperative games makes it possible to implement the proposed approach in the practical activities of security specialists at enterprises.

**Keywords:** system, security, threat, destructive activity, security measures, attacker, theories of cooperative games, Shapley vector

Под безопасностью понимают состояние защищенности человека или инженерно-технической и программной инфраструктуры в различных условиях от возможных опасностей и их сочетания путем установления в отношении системы заданных параметров функционирования, а также минимизации опасностей, исходящих от человека и самой системы.

Составляющие безопасности включают в себя различные виды мероприятий и действий, направленных на обеспечение безопасности. Они могут быть предотвращающими, реактивными или непосредственными дей-

ствиями, а также могут включать использование различных технологий и методов.

Одной из главных составляющих безопасности является физическая безопасность, которая относится к мерам, направленным на предотвращение угроз физическим повреждениям людей и ущерба материальным ценностям. Это может включать использование видеонаблюдения, охранной сигнализации, контроля доступа и даже физической охраны.

Еще одной составляющей безопасности является информационная безопасность, которая связана с защитой конфиденциальной, ценной информации от несанкциони-

рованного доступа, использования или распространения [1, с. 48]. Для обеспечения информационной безопасности могут применяться меры, такие как шифрование данных, использование паролей и биометрических идентификаторов, межсетевые экраны и антивирусное программное обеспечение [1, с. 61]. Злоумышленники в своей деструктивной деятельности руководствуются собственными целями, как правило, ориентированными на дестабилизацию информационного поля и нанесение репутационных потерь.

Кроме того, безопасность может быть связана с обеспечением безопасности рабочего места или даже с противопожарной безопасностью, которая включает в себя соблюдение требований пожарной безопасности и наличие необходимых систем пожаротушения.

В целом в исследованиях значительное внимание уделяется вопросам информационной безопасности. Так в [2] уделено внимание разработке математического подхода для обеспечения безопасности коалиций микросетей в условиях кибератак. В [3] кооперативное взаимодействие рассматривается как механизм определения дележа денежных сумм. То есть присутствует экономический контекст. В [4] дается анализ и формализация взаимодействия, но без практического применения именно теории кооперативных игр. Также существуют исследования, например [5, 6], в которых рассматриваются направления развития вектора Шепли, но не принципиально меняющие его функционал.

Данное исследование отличается от существующих анализом практических аспектов применения вектора Шепли к оценке безопасности «не информационных систем». Результаты исследования могут быть применены к системам технического и организационного характера. Кроме того, в публикации анализируются различные варианты приложения вектора Шепли.

Целью данной работы является исследование возможности применения теории кооперативных игр и вектора Шепли для нахождения коалиции (сочетания) мероприятия по обеспечению безопасности для максимизации эффективности противодействия деструктивной деятельности, а также исследование применение вектора для оценки степени влияния этой деятельности на безопасность системы.

#### **Материалы и методы исследования**

Введем понятие «деструктивная деятельность» (ДД) – планируемое и (или) практически реализуемое воздействие на

уровень безопасности системы (охраняемого объекта) с целью понижения этого уровня и (или) создания условий для такого понижения.

Для обеспечения безопасности на охраняемых объектах и в системах применяется ряд мероприятий, которые направлены на предотвращение, пресечение или недопущение ДД от любых источников.

Мероприятие по обеспечению безопасности (МпОБ) – мероприятие, направленное на выявление и предотвращение действий и их последствий, направленных на понижение режима безопасности и связанных в том числе с причинением вреда жизни и здоровью людей, а также нанесением различных видов ущерба на охраняемом объекте (территории).

Сочетание различных мероприятий по обеспечению безопасности позволяет создать комплексную систему защиты, которая обеспечит надежную защиту объекта и его сотрудников от возможных угроз и рисков. Однако важно отметить, что эффективность такой системы будет зависеть от правильного выбора и применения мер, а также от оценки и учета специфики конкретного объекта и его потенциальных уязвимостей.

Степень негативного влияния ДД зависит от МпОБ. Чем меньше эффективность мероприятия, тем выше вероятность того, что любое (даже самое простое) действие будет деструктивным и, наоборот, чем мероприятие эффективнее, тем меньше вероятность, что самая сложная ДД понизит режим безопасности. Обеспечение безопасности является важной задачей, требующей комплексного подхода. ДД злоумышленников представляет серьезную угрозу, однако с помощью соответствующих мероприятий эта угроза может быть полностью нейтрализована или сведена к минимуму.

В данной работе предлагается для определения сочетания МпОБ для нейтрализации ДД и оценки эффективности МпОБ применить вектор Шепли [7, с. 157].

Вектор Шепли – это концепция, разработанная математиком Шепли, которая находит свое применение в игровой теории. В этом поле исследования вектор Шепли играет важную роль в определении справедливого распределения выигрышей в коалиционных играх, где группы игроков объединяются в коалиции для достижения общей цели.

Основная идея метода Шепли заключается в определении вклада каждого игрока в формирование выигрышной коалиции. Для этого учитывается, как бы изменилась ситуация, если бы данный игрок присоеди-

нился или покинул текущую коалицию. Таким образом, метод Шепли оценивает значимость каждого игрока и определяет, сколько ему следует получить от общей выгоды.

Вектор Шепли удовлетворяет следующим свойствам [8]. Свойство эффективности показывает, что весь выигрыш большой коалиции должен быть распределен между игроками. Сумма выигрышей игроков равна выигрышу большой коалиции. Свойство симметричности – игроки, которые вносят одинаковый вклад, должны получить одинаковые выигрыши. Болваном в теории кооперативных игр называется бесполезный игрок, не вносящий вклада ни в какую коалицию. Линейность – выигрыш игрока в сумме игр должен равняться сумме его выигрышей в каждой из игр.

В связи с тем, что понятие безопасности является комплексным (ДД и МпОБ формируют систему), для оценки уровня безопасности нужно выполнить формализацию ДД и МпОБ.

При условии, что для нейтрализации ДД могут применяться различные МпОБ, введем обозначение

$$M = \{m_1; m_2; m_3; \dots; m_i; \dots; m_n\}, \quad (1)$$

где  $m_i$  –  $i$ -е МпОБ;  $i = \overline{1, n}$ ;  $n$  – количество МпОБ.

$$X(V)_i = \sum_{i \in S} \frac{(|S|-1)!(n-|S|)!}{n!} (V(S) - V(S \setminus \{i\})), \quad (4)$$

где  $i = \overline{1, 2, \dots, n}$ ;  $X$  – дележ;  $S$  – количество игроков;  $n$  – количество участников дележа,  $V$  – оценка эффективности МпОБ.

Оценку  $V$  предлагается осуществлять на основе анализа эффективности действий, составляющих МпОБ. Экспертный вариант оценивания обосновывается тем, что МпОБ носят комплексный характер, и их формализация и аналитическое вычисление  $V$  могут быть затруднены.

### Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим возможность достижения поставленной задачи на примере. Предположим, что есть некоторая ДД, которая может негативно отразиться на уровне безопасности системы и есть три МпОБ, способные частично или полностью нейтрализовать ДД

$$M = \{m_1; m_2; m_3\}. \quad (5)$$

Причем каждое из МпОБ состоит из определенных практических действий, эф-

С учетом того, что каждое мероприятие представляет собой комплекс практических действий по обеспечению безопасности, каждое мероприятие можно представить как

$$m_i = \{p_{i1}; p_{i2}; p_{i3}; \dots; p_{if}; \dots; p_{it_i}\}, \quad (2)$$

где  $f = \overline{1, t_i}$ ;  $t_i$  – количество практических действий для  $i$ -го МпОБ.

С учетом того, что для понижения уровня безопасности системы может быть реализовано множество ДД, введем обозначение

$$DD = \{d_1; d_2; d_3; \dots; d_j; \dots; d_k\}, \quad (3)$$

где  $d_j$  –  $j$ -е ДД;  $j = \overline{1, k}$ ;  $k$  – количество деструктивных воздействий.

Таким образом, необходимо найти такое сочетание МпОБ из  $M$ , при котором для каждого ДД из  $DD$  обеспечивалась бы максимальная эффективность нейтрализации ДД. В связи с тем, что вектор Шепли является важным инструментом в теории кооперативных игр и может быть использован для анализа и оценки различных сценариев кооперации, предлагается рассмотреть возможность его применения для решения задачи оценки соответствия и степени нейтрализации ДД с учетом имеющегося множества МпОБ:

эффективность которых по отношению к некоторой ДД может быть экспертно оценена, например, в диапазоне от 0 до 100. При этом шкала может быть любой, но одинаковой для всех действий. Применительно к МпОБ предлагается трактовать оценку как степень эффективности мероприятия для обеспечения безопасности системы (табл. 1).

Таблица 1

Экспертная оценка эффективности практических действий по отношению к ДД

Практическое действие	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$
Экспертная оценка	10	15	15	25	10

Следует отметить, что ни одно отдельное практическое действие не обладает высокой эффективностью против ДД, а также суммарная эффективность всех действий

менее 100. Следовательно, необходимо определить сочетание МпОБ.

Тогда для множества МпОБ (5) получим оценки эффективности, представленные в табл. 2. В данном случае эффективность определена простым арифметическим суммированием. Однако могут быть применены и другие способы ее вычисления. Требование единообразия для всех МпОБ обязательно.

Как видно из таблицы, МпОБ формируются на основе одинаковых практических действий. Например,  $m_1$  и  $m_2$  включают действия  $p_1$  и  $p_5$ . В реальных условиях может возникнуть вопрос целесообразности реализации повторяющихся действий. Кроме того, может быть рассмотрен случай, когда реализация некоторых действий может

приводить к синергетическому эффекту из-за чего суммарная эффективность может быть выше.

Таблица 2

Оценка эффективности МпОБ по отношению к ДД

	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	Оценка эффективности МпОБ, $V$
$m_1$	10	0	0	25	10	45
$m_2$	10	0	15	0	10	35
$m_3$	10	15	0	25	10	60

В соответствии с базовыми положениями теории кооперативных игр на основе МпОБ могут быть сформированы коалиции

$$\{m_1\} \{m_2\} \{m_3\} \{m_1; m_3\} \{m_2; m_3\} \{m_1; m_2\} \{m_1; m_2; m_3\}. \quad (6)$$

Для каждой коалиции МпОБ значение характеристической функции  $V$  вектора Шепли также определим простым арифметическим суммированием. Результаты представлены в табл. 3. Однако, как и для оценки эффективности МпОБ могут быть применены и другие способы вычисления  $V$ . Требование единообразия вычислений также обязательно. Кроме того, может быть рассмотрен случай синергетического эффекта для определенных сочетаний МпОБ, тогда совместная реализация определенных МпОБ может давать дополнительную эффективность.

Таблица 3

Характеристическая функция вектора Шепли для коалиций

	$V(\{m_1\})$	$V(\{m_2\})$	$V(\{m_3\})$	$V(\{m_1; m_2\})$	$V(\{m_2; m_3\})$	$V(\{m_1; m_3\})$	$V(\{m_1; m_2; m_3\})$
Повторяемость действий	45	35	60	80	95	105	140
Неповторяемость действий	45	35	35	60	50	60	75
Синергетический эффект действий	45	45	70	80	90	70	105

Тогда, на основе (4) для всех возможных коалиций и случая повторяемости действий могут быть определены значения компонентов вектора Шепли:

1) для коалиции:  $\{m_1; m_2; m_3\}$

$$X_1 = \frac{(1-1)!(3-1)!}{3!}(45-0) + \frac{(2-1)!(3-2)!}{3!}(105-60) + \quad 80 \quad 35$$

$$+ \frac{(2-1)!(3-2)!}{3!}(80-35) + \frac{(3-1)!(3-3)!}{3!}(140-95) = 45;$$

$$X_2 = \frac{(1-1)!(3-1)!}{3!}(35-0) + \frac{(2-1)!(3-2)!}{3!}(95-60) + \quad 80 \quad 45$$

$$+ \frac{(2-1)!(3-2)!}{3!}(80-45) + \frac{(3-1)!(3-3)!}{3!}(140-105) = 34,98;$$

$$X_3 = \frac{(1-1)!(3-1)!}{3!}(60-0) + \frac{(2-1)!(3-2)!}{3!}(105-45) + \frac{(2-1)!(3-2)!}{3!}(95-35) + \frac{(3-1)!(3-3)!}{3!}(140-80) = 60;$$

95 35

2) для коалиции:  $\{m_1; m_2\}$

$$X_1 = \frac{(1-1)!(2-1)!}{2!}(45-0) + \frac{(2-1)!(2-2)!}{2!}(80-35) = 45;$$

$$X_2 = \frac{(1-1)!(2-1)!}{2!}(35-0) + \frac{(2-1)!(2-2)!}{2!}(80-45) = 35;$$

3) для коалиции:  $\{m_2; m_3\}$

$$X_2 = \frac{(1-1)!(2-1)!}{2!}(35-0) + \frac{(2-1)!(2-2)!}{2!}(95-60) = 35;$$

$$X_3 = \frac{(1-1)!(2-1)!}{2!}(60-0) + \frac{(2-1)!(2-2)!}{2!}(95-35) = 60;$$

4) для коалиции:  $\{m_1; m_3\}$

$$X_1 = \frac{(1-1)!(2-1)!}{2!}(45-0) + \frac{(2-1)!(2-2)!}{2!}(105-60) = 45;$$

$$X_3 = \frac{(1-1)!(2-1)!}{2!}(60-0) + \frac{(2-1)!(2-2)!}{2!}(105-45) = 60.$$

Таблица 4

Суммарное значение эффективности для коалиций

	$m_1; m_2$	$m_2; m_3$	$m_1; m_3$	$m_1; m_2; m_3$
Значение эффективности для коалиций, $E$	80	95	105	139,98

В соответствии с тем, что экспертная оценка отражает эффективность МпОБ по отношению к ДД, для анализа результатов и выбора коалиции предлагается использовать условие

$$X_{S(i)} > X(V)_i. \tag{7}$$

Это связано с тем, что  $V$  – это эффективность мероприятия, по постановке задачи требуется выбрать коалицию, максимизирующую эту эффективность. Эффективность коалиции определим как

$$E_s = \sum_{i=1}^{|S|} X_i. \tag{8}$$

Теория кооперативных игр допускает введение дополнительных условий и ограничений на выбор оптимальной коалиции. Например, с учетом того, что МпОБ состо-

ит из практических действий, можно учесть невозможность (трудозатратность) реализации всех действий из табл. 1. Значит, при указанных исходных данных требуется выбрать коалицию:  $\{m_1; m_3\}$ . Это связано с тем, что она имеет максимальное значение  $E_s$  и не предполагает выполнения всех практических действий из-за чего коалиция  $\{m_1; m_2; m_3\}$  не может быть выбрана.

Аналогичным образом можно воспользоваться теорией кооперативных игр и вектором Шепли для случаев неповторяемости действий и синергетического эффекта действий, а также определить оптимальное сочетание МпОБ и практических действий для всех ДД из (3).

**Заключение**

Таким образом, теория кооперативных игр и вектор Шепли могут быть использована-

ны для выбора сочетания МпОБ при оценке защищенности системы по отношению к выявленной ДД. Такое применение имеет следующие достоинства:

1) вектор Шепли можно использовать не только для определения справедливого дележа, но и для выбора оптимальной коалиции;

2) возможность учета специфических условий формирования мероприятий (повторяемость и неповторяемость действий);

3) возможность использования различных способов вычисления значений характеристической функции;

4) возможность учета специфических условий оценки эффективности МпОБ (синергетический эффект действий в МпОБ);

5) возможность учета специфических условий формирования коалиций МпОБ (синергетический эффект коалиций);

6) возможность учета различных критериев выбора оптимальной коалиции (максимизация суммарной эффективности коалиции МпОБ, трудозатратность реализации всех действий, выбор коалиции с учетом минимизации избыточности МпОБ по отношению к ДД).

### Список литературы

1. Баранова Е.К., Бабаш А.В. Информационная безопасность и защита информации: учебное пособие. 4-е изд., перераб. и доп. М.: РИОР: ИНФРА-М, 2022. 336 с.

2. Гурина Л.А., Айзенберг Н.И. Поиск эффективного решения по обеспечению защиты от киберугроз сообщества микросетей со взаимосвязанными информационными системами // Вопросы кибербезопасности. 2023. № 3 (55). С. 37–49.

3. Гатауллин Т.М., Гатауллин С.Т., Иванова К.В. Синергетические эффекты в теории игр // Управление развитием крупномасштабных систем mlscd'2020: труды Тринадцатой международной конференции (Москва, 28–30 сентября 2020 г.). Под общ. ред. С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2020. С. 655–662.

4. Степанов Л.В., Кольцов А.С., Паринов А.В., Паринов Д.В., Соловьев Б.А. Практические аспекты применения теории игр к оценке безопасности системы // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. № 4 (27). С. 46–47.

5. Васильев В.А. Вектор Шепли однородных кооперативных игр // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2023. Т. 63, № 3. С. 474–490.

6. Камионко В.А., Маракулин В.М. Аксиоматизация вектора Шепли в играх с априорными вероятностями образования коалиций // Журнал Новой экономической ассоциации. 2020. № 2 (46). С. 12–29.

7. Сигал А.В. Теория игр и ее экономические приложения: учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2024. 418 с.

8. Припотень В.Ю., Рябенко Л.И., Шиков Н.Н. Значимость системы управления конкурентоспособностью товара // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. 2015. № 2 (45). С. 191–196.