

## ПОДХОДЫ К ОБОСНОВАНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ, ОСНОВАННЫЕ НА ИДЕЯХ ТЕОРИИ ИГР

*Окунев В.С.*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,  
Москва, Россия*

**Ключевые слова:** ядерный реактор, безопасность, вероятностный подход, детерминистический подход, феноменологический подход, консервативный подход, реалистические коды.

**Аннотация.** В статье анализируется возможность использования теории игр в обосновании безопасности ядерных реакторов. Рассматриваются три известных подхода к анализу безопасности: вероятностный, детерминистический, феноменологический. Автор приходит к выводу о необходимости комплексного использования этих подходов. Наиболее предпочтительным следует считать формализм игры с мыслящим противником. Это соответствует консервативному и детерминистическому подходам.

## APPROACHES TO JUSTIFYING THE SAFETY OF NUCLEAR REACTORS BASED ON THE IDEAS OF GAME THEORY

*Okunev V.S.*

*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia*

**Keywords:** nuclear reactor, safety, probabilistic approach, deterministic approach, phenomenological approach, conservative approach, realistic codes.

**Abstract.** The article analyzes the possibility of using game theory in justifying the safety of nuclear reactors. Three well-known approaches to safety analysis are considered: probabilistic, deterministic, and phenomenological. The author comes to the conclusion about the need for the integrated use of these approaches. The formalism of the game with a thinking opponent should be considered the most preferable. This is consistent with conservative and deterministic approaches.

Существуют два основных подхода к анализу безопасности ядерных реакторов: вероятностный и детерминистический [1]. Третий подход – феноменологический [1] – можно считать частным случаем детерминистического, учитывающим объективную реальность. Для реализации этих подходов иногда используют так называемые реалистические коды (реалистический подход) – высокоточные коды, не содержащие консервативных моделей [2], которые отражают стремление максимально исключить неопределенности в результатах. Область неопределенности может быть настолько велика, что полученные результаты не будут иметь практическую значимость. Все три подхода следует использовать комплексно, поскольку каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. Чем больше независимых подходов можно предложить и использовать, тем более обоснованным будет принятое решение. Для реализации комплексного использования различных подходов можно обратиться к теории игр [3]. Общую методологию принятия решений относят

к исследованию операций. Из множества теорий и методов, используемых в исследованиях операций, лишь теория оптимального управления доведена до «инженерного» уровня, в том числе применительно к проектированию ядерных реакторов.

Реалистические коды (высокоточные коды, не содержащие консервативных моделей) соответствуют играм, в которых природа не является сознательным существом, умышленно препятствующим нам решению задачи оптимального проектирования реактора с заранее выбранными критериями и ограничениями или задачи повышения безопасности. Такие коды можно бы было взять за основу, если бы человек (лицо, принимающее решения) в принципе не имел возможности ошибаться или заблуждаться при принятии решений. В итоге человек может сам себе противостоять как мыслящий противник. В этом случае реалистические коды вряд ли можно брать за основу для обоснования безопасности потенциально опасных объектов и технологий.

Консервативный и детерминистический подходы – игра с мыслящим противником. У нас и нашего противника разные интересы и он всячески препятствует достижению оптимального с нашей точки зрения решения. В случае нашей ошибки он со 100-процентной вероятностью воспользуется этим, т. е. ухудшит оптимальное для нас решение. Причем «противник» это не природа, сознательно противостоящая человеку, а сам человек, делающий ошибки уже на стадии разработки моделей процессов и проектирования объекта. По своей сути детерминизм не терпит неопределенностей, т.е. если они присутствуют, их необходимо корректно учитывать. Таким образом, детерминистическому подходу всегда присущ учет неопределенности исходной информации [4]. Результаты анализа удобно представлять в виде области, ограниченной кривыми или поверхностями, соответствующими пессимистичному и оптимистичному вариантам, причем таких вариантов может быть несколько. Пессимистичные варианты соответствуют консервативным оценкам. Консервативный подход можно рассматривать как частный случай детерминистического. Определенную роль в «усугублении консервативности» могут сыграть так называемые «придуманные аварии» [5]. Тогда детерминистический подход есть феноменологический плюс «придуманные аварии».

Вероятностный подход соответствует случаю, когда наш противник принимает правильные решения с определенной (не известной заранее) вероятностью. Таким образом, в пределе вероятностный подход должен приводить к оптимистическому и пессимистическому (консервативному) вариантам: границам области неопределенности, полученных с помощью вероятностного анализа или реализации феноменологического подхода.

#### **Список литературы / References**

1. Уолтер А., Рейнольдс А. Реакторы-размножители на быстрых нейтронах. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 623 с.

1. Waltar A.E., Reynolds A.B. Fast Breeder Reactors. New York, Oxford, Toronto, Sydney, Paris, Frankfurt: Pergamon Press; 1981. 853 p.
2. Accident Analysis for Nuclear Power Plant. Safety Reports Series No 23. Vienna: IAEA, 2002. 121 p.
3. Myerson R.B. Game Theory: Analysis of Conflict. Harvard University Press; 1997. 568 p.
4. Okunev V.S. An effective method for accounting for the uncertainty of scenarios for the development of emergency situations in nuclear reactors // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022, vol. 979, p. 012106, doi:10.1088/1755-1315/979/1/012106.
5. Orlov V.V. et al. Deterministic Safety of BREST Reactors // Proc. 11-th Int. Conf. on Nucl. Engrg., ICON-11. JSME/ASME, Shinjuku, Tokio, Japan, 2003.

<b>Окунев Вячеслав Сергеевич</b> – кандидат технических наук, доцент кафедры физики	<b>Okunev Viacheslav Sergeevich</b> – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of physics
okunevvs@bmstu.ru	

*Received 10.06.2022*