

УДК 338

*Д. А. Самаров*

Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексеева,  
Нижний Новгород, e-mail: d.samarov@ase-ec.ru

## **АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА СРОКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ АЭС. АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ СТОРОН ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СООРУЖЕНИИ АЭС**

**Ключевые слова:** заинтересованные стороны, управление рисками, управление проектами, агентное моделирование, АЭС, ПСР, программное обеспечение.

Современные тенденции развития бизнеса требуют от компаний высокой скорости выполнения работы при сохранении должного качества. Как показывает практика большинство работ, в частности сооружение АЭС, происходит со сдвигом графиков, что влечет за собой дополнительные затраты в процессе проектирования и сооружения. Одной из основных причин сдвига графиков работ является неправильно построенное взаимодействие между заинтересованными сторонами проекта. Данная причина влечет за собой огромное количество факторов, из-за которых происходит сдвиг сроков сооружения АЭС. Поэтому для достижения поставленных перед компанией целей необходимо учитывать интересы широкого круга заинтересованных сторон, которые могут оказать значительное положительное или отрицательное влияние на деятельность фирмы. Это нужно, в первую очередь, для сохранения конкурентного преимущества на мировом рынке. Для повышения эффективности взаимодействия с заинтересованными сторонами внутри Инжинирингового дивизиона Госкорпорации «Росатом» предлагается использовать агентное моделирование взаимодействия заинтересованных сторон при проектировании и сооружении АЭС. Это позволит систематизировать подходы выявления причин сдвига графиков работ, учитывая специфику атомной отрасли и облегчить подготовку отчетности. В данной работе проведен анализ факторов, влияющих на сроки и стоимость сооружения АЭС, изучены основные понятия об агентном моделировании и ПО, используемым для создания моделей и реализации процессов при помощи агентного моделирования, и осуществлена попытка применения данной концепции на одном из реальных производственных процессов.

*D. A. Samarov*

Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod,  
e-mail: d.samarov@ase-ec.ru

## **ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE TIMING OF NPP DESIGN AND CONSTRUCTION. AGENT-BASED MODELING OF STAKEHOLDER INTERACTION IN THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF NUCLEAR POWER PLANTS**

**Keywords:** stakeholders, risk management, project management, agent modeling, nuclear power plants, PSR, software.

Modern business development trends require companies to perform work quickly while maintaining proper quality. As practice shows, most of the work, in particular the construction of nuclear power plants, occurs with a shift in schedules, which entails additional costs in the design and construction process. One of the main reasons for the shift in work schedules is the incorrectly structured interaction between the stakeholders of the project. This reason entails a huge number of factors due to which there is a shift in the timing of the construction of nuclear power plants. Therefore, in order to achieve the goals set for the company, it is necessary to take into account the interests of a wide range of stakeholders, which can have a significant positive or negative impact on the company's activities. This is necessary, first of all, to maintain a competitive advantage in the global market. To improve the efficiency of interaction with stakeholders within the Engineering Division of Rosatom State Corporation, it is proposed to use agent-based modeling of stakeholder interaction in the design and construction of nuclear power plants. This will make it possible to systematize approaches to identifying the reasons for the shift in work schedules, taking into account the specifics of the nuclear industry and to facilitate the preparation of reports. In this paper, we analyzed the factors that affect the time and cost of building a nuclear power plant, studied the basic concepts of agent-based modeling and software used to create models and implement processes using agent-based modeling, and made an attempt to apply this concept to one of the real production processes.

## Введение

Современные тенденции развития бизнеса требуют от компаний высокой скорости выполнения работы при сохранении должного качества. Как показывает практика большинство работ, в частности сооружение АЭС, происходит со сдвигом графиков, что влечет за собой дополнительные затраты в процессе проектирования и сооружения. Одной из основных причин сдвига графиков работ является неправильно построенное взаимодействие между заинтересованными сторонами проекта. Данная причина влечет за собой огромное количество факторов, из-за которых происходит сдвиг сроков сооружения АЭС.

Поэтому для достижения поставленных перед компанией целей необходимо учитывать интересы широкого круга заинтересованных сторон, которые могут оказывать значительное положительное или отрицательное влияние на деятельность фирмы. Это нужно, в первую очередь, для сохранения конкурентного преимущества на мировом рынке.

Строительство АЭС относится к наиболее ответственным отраслям экономики, деятельность которой всегда сопряжена с многочисленными рисками, которые влияют на сроки и стоимость сооружения АЭС. Именно поэтому управление рисками при строительстве является актуальной проблемой в течение многих десятилетий не только в России, но и во всех странах мира.

Целью статьи является анализ возможного использования агентного моделирования взаимодействия заинтересованных сторон при проектировании и сооружении АЭС. Это может позволить систематизировать подходы выявления причин сдвига графиков работ, учитывая специфику атомной отрасли и облегчить подготовку отчетности. Для достижения цели решаются следующие задачи: анализ факторов, влияющих на сроки и стоимость сооружения АЭС, изучить основные понятия об агентном моделировании и ПО, используемом для создания моделей и реализации процессов при помощи агентного моделирования, и применение данной концепции на одном из реальных производственных процессов.

Научная новизна работы состоит в применение агентного моделирования как метода организации и управления взаимодействием с заинтересованными сторонами в Инженерном дивизионе Госкорпорации «Росатом».

Теоретическая значимость исследования состоит в научном обосновании предложений по развитию подхода в области взаимодействия с заинтересованными сторонами инженерных компаний атомной отрасли.

Практическая значимость состоит в возможном использовании инженерными компаниями атомной отрасли предложенных механизмов и концепций, основанных на взаимодействии с заинтересованными сторонами.

### 1. Анализ факторов, влияющих на сроки проектирования и сооружения АЭС

Строительство АЭС относится к наиболее опасным отраслям экономики, деятельность которой всегда сопряжена с многочисленными рисками, которые влияют на сроки и стоимость сооружения АЭС. Именно поэтому управление рисками при строительстве является актуальной проблемой в течение многих десятилетий не только в России, но и во всех странах мира.

В настоящее время не существует определенного понятия сущности риска. Однако можно рассмотреть понятие риска с точки зрения нескольких авторов:

1) риск – возможность отрицательного отклонения между плановым и фактическим результатом, то есть опасность неблагоприятного исхода на одно ожидаемое явление [5];

2) риск – возможность возникновения неблагоприятных ситуаций в ходе выполнения какой-либо работы, осуществления какого-либо решения, реализации планов и бюджетов предприятия и возможность потерять в виде фактических убытков или упущенной выгоды [6].

Для того чтобы управлять рисками необходимо их на начальном этапе классифицировать. Одна из систем классификации рисков при строительстве АЭС представлена на рис. 1.

В приведенной классификации имеется один важный элемент. Классификация рисков составлена с использованием характера учета. По характеру учета риски делятся на внешние и внутренние. Внешние риски – это те риски, которые не связаны с деятельностью предприятия. На их уровень влияет большое число факторов – политические, экономические, финансовые, отраслевые, демографические и др. Внутренние риски – риски, обусловленные деятельностью самого предприятия.

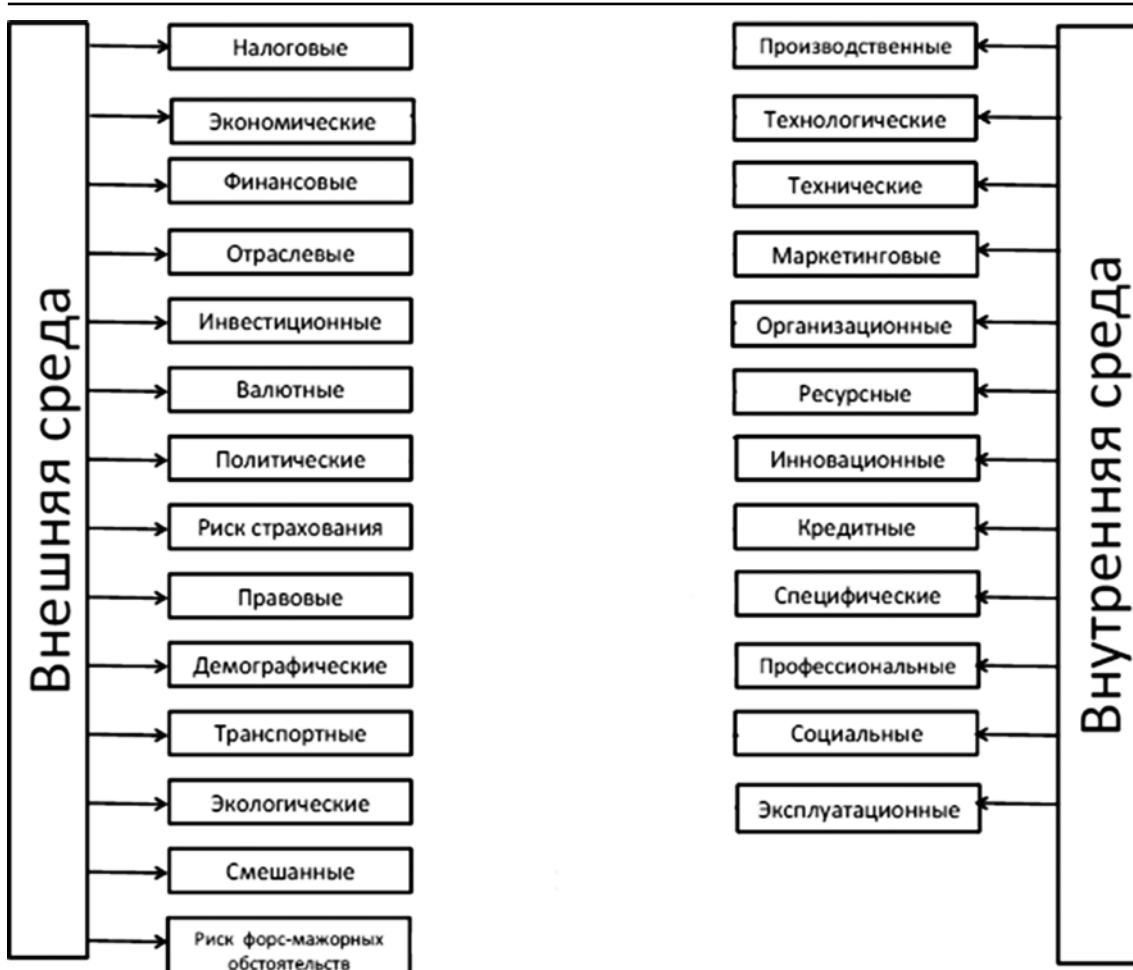


Рис. 1. Классификация рисков при строительстве АЭС

На их уровень влияет деловая активность руководства, производственный потенциал, техническое оснащение, уровень профессионализма работников, уровень производительности труда, техники безопасности и др.

На основе введенной классификации рисков проведем анализ строительства различных АЭС для того, чтобы выяснить основные причины сдвига сроков строительства. Было проанализировано 23 АЭС по всему миру. Результаты представлены в табл. 1.

Классификация рисков при проектировании и сооружении АЭС исходя из анализа факторов сдвига их сроков представлена на рис. 2

Таким образом, мы видим, что проектирование и строительство многих АЭС не проходит без сдвигов графиков. Причины данных сдвигов могут быть как следствием влияния нескольких факторов, так и единичные случаи вли-

яния одного из факторов. К сожалению, мы не можем предугадать политическую обстановку в мире также, как и не в состоянии определить экономическую ситуацию на мировом рынке. Несмотря на это мы можем повлиять на срок строительства посредством управления техническими, технологическими и эксплуатационными рисками за счет контроля стадий проектирования, изготовления оборудования, техники безопасности на строительных площадках. Все эти действия помогают избежать нежелательного увеличения срока строительства АЭС. Чтобы это происходило эффективнее, необходимо понимать, как должны взаимодействовать заинтересованные стороны проекта (проектировщики, поставщики оборудования, строители и т. д.). В этом может помочь, как один из инструментов, агентное моделирование взаимодействия заинтересованных сторон при проектировании и сооружение АЭС.

Таблица 1

## Анализ факторов сдвига сроков строительства АЭС

Наименование АЭС, проектировщик	Зарубежная/ Российская	Сдвиг вправо, лет	Статус строительства	Основные причины срыва сроков строительства		Фактор 1-ого уровня (среда)	Фактор 2-ого уровня
				5	6		
Белорусская АЭС (1-ый э/б), Rosatom	Зарубежная (Беларусь)	2	Введена в эксплуатацию	1. Неодобрение финансирования [7]. 2. Сложность взаимоотношений с контролирующими органами Белоруссии. 3. Нарушение строительных работ [8]. 4. Падение корпуса реактора [9]. 5. Взрыв трансформаторов напряжения [10].	1. Внешний 2. Внешний 3. Внутренний 4. Внутренний 5. Внутренний	1. Финансовый 2. Политический 3. Технический 4. Технический 5. Технический	1. Финансовый 2. Политический 3. Технический 4. Технический
Белорусская АЭС (2-ой э/б), Rosatom	Зарубежная (Беларусь)	2	На стадии строительства	1. Неодобрение финансирования [7]. 2. Сложность взаимоотношений с контролирующими органами Белоруссии. 3. Нарушение строительных работ [8]. 4. Падение корпуса реактора на 1-ом э/б [9].	1. Внешний 2. Внешний 3. Внутренний 4. Внутренний	1. Финансовый 2. Политический 3. Технический 4. Технический	1. Финансовый 2. Политический 3. Технический 4. Технический
Ростовская АЭС (1,2 э/б), Минатом/ Rosatom	Российская	14 – 1-ый э/б 21 – 2-ой э/б	Введена в эксплуатацию	1. Нехватка строителей и специалистов. 2. Недостаточное освящение средств. 3. Авария на Чернобыльской АЭС. 4. Требование создания нового проекта. [11]	1. Внешний 2. Внешний 3. Внешний 4. Внешний	1. Социальный 2. Финансовый 3. Техногенный 4. Технический	1. Внешний 2. Внешний 3. Внешний 4. Внешний
Ростовская АЭС (4-ый э/б), Rosatom	Российская	1	Введена в эксплуатацию	1. Огромное количество выявленных контрафактных комплектующих [12]	1. Внешний	1. Технологический	1. Технологический
Крымская АЭС Минсредмаш	Российская	Отказ от проекта	Не введена в эксплуатацию	1. Неблагоприятная экономическая ситуация в СССР. 2. Авария на Чернобыльской АЭС. 3. Влияние общественных экологических организаций.	1. Внешний 2. Внешний 3. Внешний	1. Экономический 2. Техногенный 3. Экологический	1. Экономический 2. Техногенный 3. Экологический
Калининская АЭС (3,4-ый э/б), Минатом/Rosatom	Российская	13	Введена в эксплуатацию	1. Неблагоприятная экономическая ситуация в СССР. 2. Авария на Чернобыльской АЭС.	1. Внешний 2. Внешний	1. Экономический 2. Техногенный	1. Экономический 2. Техногенный
АЭС Штандаль, Siemens	Зарубежная (Германия)	Отказ от проекта	Не введена в эксплуатацию	1. Решение правительства Германии о сокращении доли атомной энергетики [13]. 2. Завышенная стоимость проекта.	1. Внешний 2. Внешний	1. Политический 2. Финансовый	1. Эксплуатационный 2. Техногенный 3. Эксплуатационный 4. Политический
АЭС Лунгмень, General Electric	Зарубежная (Тайвань)	Отказ от проекта	Не введена в эксплуатацию	1. Увеличение стоимости строительства из-за стоимости расходных материалов. 2. Авария на АЭС Фукусима. 3. Требование проектирования дополнительных систем безопасности.	1. Внешний 2. Внешний 3. Внешний	1. Внешний 2. Внешний 3. Внешний	1. Внешний 2. Внешний 3. Внешний 4. Внешний
АЭС Уоттс-Бар, Westinghouse	Зарубежная (США)	1,5 – 1-ый э/б 35 – 2-ой э/б	Введена в эксплуатацию	4. Решение нового правительства Тайваня об отказе от атомной энергетики [14]. 1. Снижение спроса на электроэнергию в США. 2. Авария на АЭС Фукусима. 3. Требование проектирования дополнительных систем безопасности [15]	1. Внешний 2. Внешний 3. Внешний	1. Демографический 2. Техногенный 3. Эксплуатационный	1. Внешний 2. Внешний 3. Внешний

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
АЭС Бушер (1-ый э/б) Siemens – Росатом	Зарубежная (Иран)	24	Введена в эксплуа- тацию	1. Отказ немецкой компанией Siemens в продолжении строительства из- за санкций США против Ирана [16]. 2. Проблемы финансирования. 3. Политическое давление других стран.	1. Внешний 2. Внешний 3. Внешний	1. Политический 2. Финансовый 3. Политический
АЭС Ангра (2-ой э/б), Siemens	Зарубежная (Бразилия)	12	Введена в эксплуа- тацию	1. Технические недостатки проекта [17]. 2. Влияние общественности.	1. Внутренний 2. Внешний	1. Эксплуатаци- онный 2. Политический
АЭС Ангра (3-ий э/б), Атена	Зарубежная (Бразилия)	8	На стадии строительства	1. Коррупция в правительстве Бразилии [17]. 2. Смена поставщика [8].	1. Внешний 2. Внешний	1. Финансовый 2. Специфический
АЭС Атucha (2-ой э/б), Siemens	Зарубежная (Аргентина)	28	Введена в эксплуа- тацию	1. Недостаточное финансирование [19]. 2. Смена поставщиков.	1. Внешний 2. Внешний	1. Финансовый 2. Специфический
АЭС Харпилуп, NPC – Nuclear Power Corporation	Зарубежная (Великобри- тания)	6	Введена в эксплуа- тацию	1. Несоответствие техническим требованиям конструкции парогенера- тора [20]. 2. Дополнительные затраты на проектирование. 3. Смена поставщика оборудования.	1. Внутренний 2. Внутренний 3. Внутренний	1. Технический 2. Эксплуатаци- онный 3. Специфический
АЭС Сэндэнзьнь, Westinghouse	Зарубежная (Китай)	2	Введена в эксплуа- тацию	1. Авария на АЭС Фукусима. 2. Требование проектирования дополнительных систем безопасно- сти [21].	1. Внешний 2. Внешний	1. Техногенный 2. Эксплуатаци- онный
АЭС Куданкулам, Росатом	Зарубежная (Индия)	1	Введена в эксплуа- тацию	1. Общественные протесты [22].	1. Внешний	1. Политический
Ленинградская АЭС-2, Росатом	Российская	2	Введена в эксплуа- тацию	1. Недостатки в организации строительства [23]. 2. Падение блока защитных труб ядерного реактора [23]. 3. Деформация арматуры наружной защитной оболочки [24]. 4. Низкий спрос на электроэнергию. 5. Контроль ценовой нагрузки на потребителя [25]. 6. Отсутствие синхронизации градииков поставки оборудования и про- ведения строительно-монтажных работ [26].	1. Внутренний 2. Внутренний 3. Внутренний 4. Внешний 5. Внешний 6. Внешний	1. Технический 2. Технический 3. Технический 4. Демографический 5. Финансовый 6. Организаци- онный
Нововоронежская АЭС-2, Росатом	Российская	2	Введена в эксплуата- цию	1. Забастовки строителей из-за невыплаты з/п [27]. 2. Дополнительные проверки из-за несоблюдения правил техники без- опасности [28]. 3. Контроль ценовой нагрузки на потребителя [25].	1. Внутренний 2. Внутренний 3. Внешний	1. Социальный 2. Эксплуатаци- онный 3. Финансовый
Курская АЭС-2, Росатом	Российская	2	На стадии строительства	1. Потребности рынка в электроэнергии.	1. Внешний	1. Демографиче- ский

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Белоярская АЭС (4-ый э/б), Rosatom	Российская	2	Введена в эксплуатацию	1. Уникальность энергоблока и неосвоенная технология строительства энергоблоков данного типа [29]	1. Внутренний	1. Инновационный
АЭС Олкаплуто (3-ый э/б), Areva+Siemens	Зарубежная (Финляндия)	10	На стадии строительства	1. Нарушение технологий строительства (разнородный состав бетона, неправильная сталь для ГЦП, микропрещинны при сварке ГЦП) [30] 2. Смена субподрядчиков. 3. Постоянная доработка проекта.	1. Внутренний 2. Внутренний 3. Внутренний 4. Большое количество брака. 5. Сложность взаимоотношений с контролирующими органами Финляндии.	1. Технический 2. Специфический 3. Эксплуатационный 4. Технологический 5. Политический
АЭС Ханхикиви, Rosatom	Зарубежная (Финляндия)	4	На стадии согласования	1. Сложность взаимоотношений с контролирующими органами Финляндии. 2. Потребности рынка в электроэнергии [31]	5. Внешний 2. Внешний	1. Политический 2. Демографический
АЭС Чернаводэ (1,2-ой э/б), AELC –Atomic Energy of Canada Limited	Зарубежная (Румыния)	5 – 1-ый э/б 15 – 2-ой э/б	Введена в эксплуатацию	1. Авария на Чернобыльской АЭС. 2. Трудности с финансированием [32]	1. Внешний 2. Внешний	1. Техногенный 2. Финансовый
АЭС Чернаводэ (3-4-ый э/б), China General Nuclear Power Group (CGN)	Зарубежная (Румыния)	–	Строительство остановлено	1. Авария на Чернобыльской АЭС. 2. Неудачи привлечения частных инвесторов в отрасль [32]	1. Внешний 2. Внешний	1. Техногенный 2. Инвестиционный
АЭС Моховце (1,2-ой э/б), Skoda JS	Зарубежная (Словакия)	7	Введена в эксплуатацию	1. Авария на Чернобыльской АЭС.	1. Внешний	11. Техногенный
АЭС Моховце (3,4-ый э/б), Skoda JS	Зарубежная (Словакия)	27	На стадии строительства	1. Авария на Чернобыльской АЭС. 2. Разногласия между инвесторами [33]	1. Внешний 2. Внешний	1. Техногенный 2. Инвестиционный
АЭС Фламанвиль (3-ий э/б), Areva	Зарубежная (Франция)	12	На стадии строительства	1. Массовые протесты. 2. Производственный брак корпуса реактора [34]	1. Внешний 2. Внутренний	1. Техногенный 2. Технологический
АЭС Ви-Си-Саммер (2,3-ий э/б), Westinghouse	Зарубежная (США)	5	Строительство остановлено	1. Дополнительные требования американских регуляторов. 2. Задержки изготовления оборудования. 3. Банкротство компании [35]	1. Внутренний 2. Внутренний 3. Внешний	1. Эксплуатационный 2. Технологический 3. Финансовый

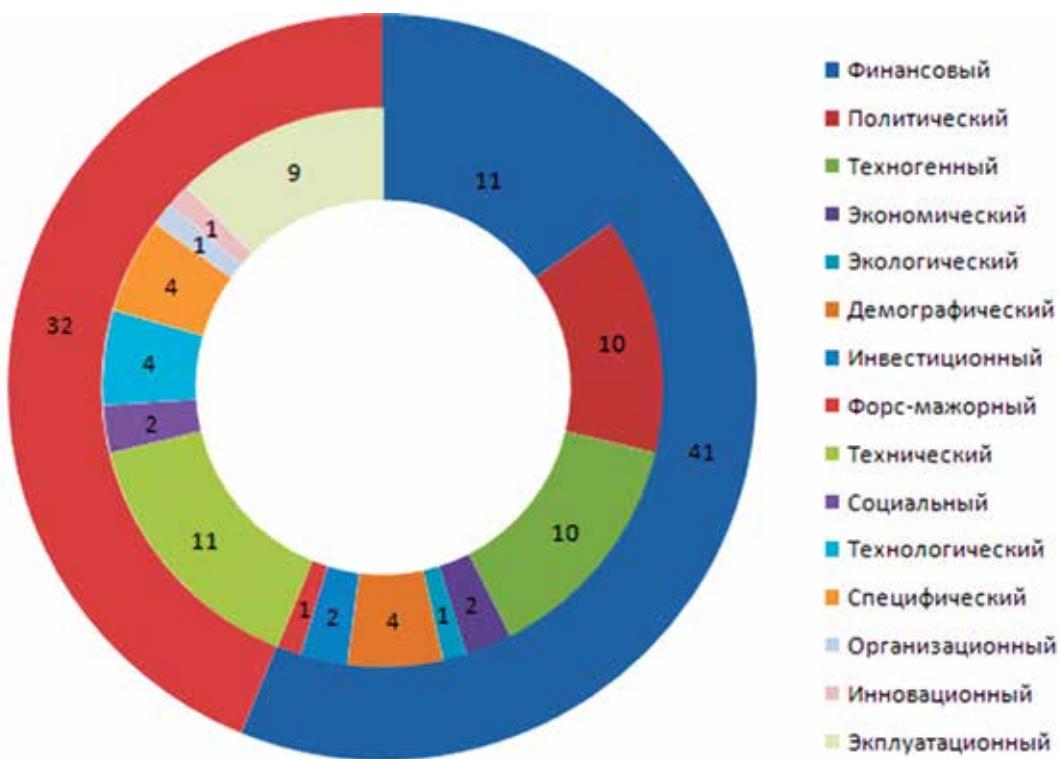


Рис. 2. Классификация рисков при проектировании и сооружении АЭС

## 2. Агентное моделирование взаимодействия заинтересованных сторон при проектировании и сооружении АЭС

## 2.1. Общие понятия

Моделирование – метод исследования объекта познания (оригинала) путем замещения другим объектом – моделью. Моделирование применяется, когда проведение экспериментов над реальной системой невозможно или нецелесообразно, например, из-за высокой стоимости или длительности проведения эксперимента в реальном масштабе времени. Моделирование включает в себя отображение проблемы из реального мира в мир моделей, анализ модели, нахождения решения, и отображение решения обратно в реальный мир.

Имитационное моделирование (ситуационное моделирование) – метод, позволяющий создавать модели, который описывают процессы так, как они проходили бы в действительности. Целью данного моделирования, в конечном счете, является принятие обоснованных, целесообразных управлений, ческих решений. Знание принципов и возможностей имитационного моделирования, умение создавать и применять модели являются необходимыми требованиями к инженеру, менеджеру, бизнес-аналитику.

Агентное моделирование – метод имитационного моделирования, исследующий поведение децентрализованных агентов и то, как такое поведение определяет поведение всей системы в целом. Агентные модели состоят из агентов, которые взаимодействуют в среде. Агентами могут быть различные по своей природе элементы. Одна из классификаций представлена на рис. 3.

Агенты запрограммированы реагировать на окружающую среду, в которой они находятся, и эта среда является моделью реальной среды, в которой действуют субъекты. Ключевая особенность агентных моделей заключается в том, что агенты могут взаимодействовать, т. е. они могут передавать информационные сообщения друг другу и действовать на основе информации, получаемой из этих сообщений. Сообщения могут представлять собой как непосредственный диалог между людьми, так и косвенные средства информационного взаимодействия, такие как наблюдение за взаимодействием других агентов или обнаружение последствий действий другого агента. Возможность моделирования таких взаимодействий между агентами является ключевым отличием агентного моделирования от других типов моделей.



Рис. 3. Классификация агентов

Типичными свойствами агента являются:

- адаптивность (способность обучаться);
- автономность (агент работает как самостоятельная программа, которая ставит себе цели и предпринимает действия для их достижения);
  - коллаборативность (взаимодействие с другими агентами, причем агент может играть разные роли при взаимодействии с одним и тем же агентом);
  - интеллектуальность (агенты могут обладать знаниями или механизмами вывода на основе обобщения, например иметь встроенную искусственную нейронную сеть);
  - коммуникативность (способность общаться с другими агентами);
  - мобильность (способность к пространственному перемещению агента либо миграции агента из одной агентской группы в другую).

Агентное моделирование зародилось в 1990-х гг. в стенах Университета Карнеги-Меллон. Сегодня это, пожалуй, наиболее передовой метод имитационного моделирования, который используется учеными и исследователями в области экономики и управления, позволяющий смоделировать обстановку практически неограниченной сложности. Агентное моделирование позволяет сделать историческую науку экспериментальной и вводить в нее сослагательное наклонение, которое порой может дать богатую пищу для размышлений современному поколению.

## 2.2. Процесс агентного моделирования

Агентное моделирование является инструментом, при помощи которого возможно успешное моделирование сложных адаптивных систем. В основе модели лежит набор основных элементов, из взаимо-

действия которых рождается обобщенное поведение системы.

Возможности агентного моделирования:

- оптимизация сети поставщиков и планирование перевозок;
- планирование развития производства;
- прогнозирование спроса на продукцию и объемы продаж;
- оптимизация численности персонала;
- прогнозирование развития социально-экономических систем (городов, регионов);
- моделирование миграционных процессов;
- имитация и оптимизация пешеходного движения;
- моделирование транспортных систем;
- прогнозирование экологического состояния окружающей среды и т. д.

Мультиагентные системы представляют собой совокупность интеллектуальных агентов. Агентное моделирование включает в себя элементы теории игр, сложных систем, мультиагентных систем и эволюционного программирования, методы Монте-Карло, использует случайные числа и др.

Поведение агента задается так называемой картой состояний (statechart), программируемой на индивидуальном уровне. Агентно-ориентированный подход позволяет учесть индивидуальные особенности активных элементов социально-экономической системы: людей, субъектов неживой материи (предприятий, транспортных средств и др.) и живой природы (в частности, экологических систем).

Карты состояний позволяют графически определить возможные состояния агента, переходы между ними, события, вызывающие эти переходы, временные задержки и действия, совершаемые агентом на протяжении

своего жизненного цикла. Такие конструкции, как вложенные состояния, позволяют задавать режимы функционирования агента.

Агент может иметь несколько параллельно активных и взаимодействующих карт состояний, каждая из которых отвечает за какой-либо аспект его деятельности: например, за производство, финансы и т. д. Помимо внешнего управления, реализуемого в организационных структурах, как правило, корпоративным центром, возможно и внутреннее управление, реализуемое самим агентом при выборе определенной стратегии поведения.

Между агентами также имеются двунаправленные связи, так как поведение одного агента может зависеть от поведения других агентов. Типичным примером является поведение отдельных покупателей, обращающих внимание на выбор других покупателей (эффект большинства). В реальных организационных структурах связи между агентами, как правило, ограничены. К примеру, связи между предприятиями могут быть ограничены по географическому признаку (в пределах одного региона), связи между покупателями ограничены одним локальным рынком (в пределах возможной информированности о покупках) и т. д. Этот фактор оказывает существенное влияние на состояние системы в целом и приводит к появлению устойчивых структур-объединений агентов в группы с общими признаками или целями. Примерами таких структур являются искусственные общества – компьютерные модели, описывающие групповое поведение агентов-членов искусственных обществ.

В сложных организационных системах агенты могут иметь вложенную структуру. Между элементами вложенной структуры также могут быть установлены определенные связи. При этом степень вложенности практически неограничена (например, начиная от отдельного сотрудника, заканчивая организацией в целом). Характер связей (прямые, обратные и т. п.) существенно зависит от агентной специфики.

При проектировании мультиагентных систем управления важно учесть взаимовлияние агентов различной природы с учетом их подчиненности и в зависимости от центральной задачи. В частности, для систем оперативного управления производством первостепенное значение имеет взаимодействие технических агентов (например, оборудования в цехе), а роль социальных

агентов учитывается при моделировании потребительского спроса. Разделение агентов в различных системах весьма условно и зависит от задачи. Вместе с тем выбор эффективного метода моделирования поведения агентов зависит от их природы.

Следует отметить, что между мультиагентным моделированием и методами системной динамики имеется определенная связь. Многие простые агентные модели могут быть легко конвертированы в соответствующие агентные версии. Однако с ростом числа агентов со своими характеристиками в системно-динамических моделях возникает известная проблема так называемого комбинаторного взрыва, обусловленная ростом размерности переменных модели. При агентном подходе можно добиться существенно большей степени детализации модели и учесть влияние активных участников системы.

### *2.3. Применение агентного моделирования*

Агентное моделирование доказало свою успешность во многих областях применения. Появление новых методов моделирования и рост вычислительной мощности компьютеров позволяет утверждать, что количество этих областей будет только расти.

Агентные модели могут быть как очень детализированными, когда агенты представляют физические объекты, так и предельно абстрактными, когда с помощью агентов моделируются конкурирующие компании или правительства государств [2].

На рис. 4 представлено распределение областей применения агентного моделирования в соответствии с используемыми в моделях уровнями абстракции.

В нижней части рисунка располагаются модели физического уровня, в которых объекты реального мира моделируются максимально подробно. На этом уровне мы учитываем физическое взаимодействие, размеры, скорости, расстояния. Антиблокировочная система тормозов автомобиля, эвакуация болельщиков со стадиона, движение на регулируемом перекрестке, взаимодействие солдат на поле боя – все эти примеры требуют низкого уровня абстракции при их моделировании.

Модели, расположенные в верхней части схемы, более абстрактны и чаще всего оперируют обобщенными понятиями, такими как совокупность потребителей или статистика уровня занятости, а не отдельными

объектами. Так как взаимодействие между объектами происходит на высоком уровне, такие модели помогают понять взаимосвязи в системе без необходимости моделировать промежуточные шаги, например, изучить влияние вложений в рекламу на продажи продукта компании.

Другие модели имеют средний уровень абстракции. Например, при моделировании отделения скорой помощи необходимо учитывать реальные размеры помещения, чтобы узнать, как долго пациент будет идти от приемной до рентгеновского кабинета. При этом, предположив, что помещение не переполнено, мы можем исключить из рассмотрения физическое взаимодействие между людьми.

Разрабатывая модель бизнес-процесса или работы центра обработки звонков, мы моделируем последовательность и длительность операций, а не место, в котором они происходят. В модели грузоперевозок мы учитываем скорость грузовика или поезда, но в модели цепочки поставок на более высоком уровне мы просто считаем, что доставка заказа занимает от семи до десяти дней.

В настоящее время применение агентного моделирования наиболее развито в таких областях, как логистика (грузоперевозки, такси, каршеринг), отношения на потребительских рынках (особенно развито в применение CRM-систем), организационные

процессы и в других активно развивающихся сферах.

В нашей же отрасли агентное моделирование может применяться в следующих процессах:

- Контроль соблюдения норм проектирования.
- Взаимодействия между поставщиками материалов и строителями.
- Совершенствование технологий строительства.
- Соблюдение технологий строительства и техники безопасности на строительных площадках.
- Календарно-сетевое планирование.
- Создание цифрового профиля компетенций сотрудника.
- Деятельность сотрудников ПСР.

#### 2.4. Агентное моделирование как способ выбора наиболее компетентного сотрудника

Агентное моделирование может широко применяться не только для оптимизации технологических процессов, но также и для подбора персонала в организации. Данный подход нацелен на определение целевых компетенций, которыми должен обладать потенциальный сотрудник компании, и выбор на его место самого «подходящего» из всех



Рис. 4 Области применения агентного моделирования

кандидатов. Рассмотрим более подробно, как это можно реализовать.

У каждой компании есть различные задачи, которые необходимо решать. Для решения этих задач руководство старается найти наиболее образованных сотрудников, но не все кандидаты могут решать поставленные задачи из-за недостатка нужных навыков. С помощью агентного моделирования мы можем создать модель той задачи, которую необходимо решить. Для более подробного описания задачи в модели нужно задать ограничения (это, как правило, время и качество выполнения задания) и набор компетенций, необходимых для решения задачи. Также важно отметить в модели такие ограничения, как уровень заработной платы, которую компания готова платить сотруднику, и какие условия труда может предоставить. После создания модели мы можем симулировать, как будет выполняться задача, если над ней будут работать различные сотрудники. Например, при работе сотрудника, который обладает всеми необходимыми компетенциями, в процессе моделирования мы увидим, что задача будет выполнена во время и должного качества. В случае же, если решение задачи не будет удовлетворено заданным ограничениям, модель покажет нам, какие есть слабые стороны у сотрудника, которых не хватает для решения поставленных задач. Также помимо компетенций

в модели можно указать дополнительные навыки, которые необходимы для более продуктивной организации работы компании. Данное действие может стать шагом, для создания виртуального рынка сотрудников, в котором будет учитываться креативность и инициативность в работе. Модель виртуального рынка показана на рис. 5.

Таким образом, агентное моделирование может быть использовано не только для выбора более подходящего кандидата на работу в компанию, но также и для нахождения слабых сторон у действующих сотрудников. Это поможет для создания программ развития и повышения квалификации работников компании. Все этим действия в итоге приведут к тому, что компания будет выполнять все поставленные задачи в срок без ущерба для качества продукции. Это очень важно, так как от качества выполнения работы зависит ее стоимость и итоговая прибыль компании.

#### 2.5. Обзор ПО для агентного моделирования

Агентное моделирование основывается на двух основных типах построения агентских моделей:

- на основе программного кода (пример может служить программа NetLogo).
- на основе карты состояний («стейт-чарта») и переходов между состояниями



Рис. 5 Виртуальный рынок сотрудников

(пример такого руководства служит программа AnyLogic).

Для моделирования необходимых нам процессов мы будем пользоваться вторым типом агентских моделей, которые строятся на основе карт состояний. За основу возьмем программу AnyLogic.

AnyLogic – программное обеспечение для имитационного моделирования. AnyLogic используется для разработки имитационных исполняемых моделей и последующего их прогона для анализа. Разработка модели выполняется в графическом редакторе AnyLogic с использованием многочисленных средств поддержки, упрощающих работу. Построенная модель затем компилируется встроенным компилятором AnyLogic и запускается на выполнение. В процессе выполнения модели пользователь может наблюдать ее поведение, изменять параметры модели, выводить результаты моделирования в различных формах и выполнять разного рода компьютерные эксперименты с моделью.

AnyLogic является надстройкой над языком Java – одним из самых мощных и в то же время самых простых современных объектно-ориентированных языков. Также данное ПО обладает специальным веб-сервисом AnyLogic Cloud, который позволяет хранить, запускать и делиться имитационными моделями, а также анализировать результаты экспериментов. Модели, загруженные в AnyLogic Cloud, можно запускать в веб-браузерах на компьютерах и мобильных устройствах. Сами модели при этом выполняются на стороне сервера.

Библиотеки AnyLogic – это коллекции элементов, созданных для решения какой-то определенной задачи моделирования или описывающих какую-то прикладную область. AnyLogic включает в себя набор следующих стандартных библиотек:

- Process Modeling Library (Библиотека моделирования процессов) – моделирование системы реального мира с точки зрения заявок, процессов и ресурсов. Процессы задаются в виде потоковых диаграмм (блок-схем).

Таблица 2

Сравнение ПО AnyLogic с другими аналогичными ПО

Наименование	Aspen Hysys	Aspen Plus	PRO/II	ProMax	AnyLogic
Страна разработки	Канада	США	Великобритания	США	Россия
Разработчик	Hyprotech Ltd	AspenTech	Invesys	Bryan Research &Engineering	The AnyLogic Company
Год начала выпуска	1996	1991	1992	2005	2000
Локальные лицензии	+	+	+	+	+
Сетевые лицензии	+	+	–	–	+
Бесплатные лицензии	–	–	–	–	+, ограниченный функционал
Операционная система	Windows	Windows	Windows	Windows	Windows, Mac OS, Linux
Библиотеки и шаблоны	+	+	+	+	+
Создание библиотек и шаблонов	+	+	+	–	+
Язык программирования	Visual Basic, C++	Visual Basic, C++	Visual Basic	Visual Basic, C++	Java
Стационарные системы	+	+	+	+	+
Системная динамика	+	+	+	–	+
Дискретно-событийное моделирование	+	+	–	–	+
Многоподходное моделирование	+	+	–	–	+
Моделирование в реальном времени	+	+	–	–	+
Язык интерфейса	Мультиязычный	Английский	Английский	Английский	Мультиязычный
Анимация	+	+	–	–	+

- Pedestrian Library (Пешеходная библиотека) – моделирование пешеходных потоков в «физической» окружающей среде, помогает создавать модели станций метро, стадионов, музеев.

- Rail Library (Железнодорожная библиотека) – моделирование, имитация и визуализация операций сортировочной станции любой сложности и масштаба.

- Fluid Library (Библиотека моделирования потоков) – моделирование процессов хранения и транспортировки насыпных и жидкых грузов или большого количества предметов, которые нет смысла моделировать как отдельные объекты.

- Road Traffic Library (Библиотека дорожного движения) – моделирование движения потоков машин на дорогах.

- Material Handling Library (Библиотека производственных систем) – моделирование промышленных процессов, создание модели производственных и складских объектов и управление материальными потоками на предприятии.

Помимо стандартных библиотек пользователи могут создавать свои собственные и использовать их для создания моделей.

Таким образом, программное обеспечение AnyLogic является наиболее предпочтительным продуктом для наших задач, который обладает рядом преимуществ:

- адаптивность для любой отрасли;
- большое количество встроенных библиотек и возможность создания новых;
- возможность анимации и визуализации моделируемых процессов;
- использование big data для наполнения моделей входными данными из реального мира;
- возможность изменения программного кода;
- наличие приватного облачного хранилища.

#### *2.6. Пример процесса, реализованного при помощи агентного моделирования и ПО AnyLogic*

Для демонстрации реализации агентного моделирования в ПО AnyLogic создадим модель процесса пескоструйной обработки металла. Для создания данной модели нам необходимо использовать 2 основные библиотеки – библиотека производственных систем и библиотека моделирования процессов.

Пескоструйная обработка металла включает в себя 2 основные операции:

- 1) Пескоструйная обработка металла – удаление загрязнений (ржавчины, старой краски).

- 2) Антикоррозионное покрытие металла.

Данная модель представляет собой совокупность взаимодействий материальных объектов (заготовок металла и партий металла) и агентов (погрузчик и оператор) в зависимости от определенных внешних ограничений и критериев. Внешние ограничения – работа конвейеров обработки металла и антикоррозионного покрытия. В зависимости от скорости их работы модель показывает, насколько хорошо агенты справляются с работой. В случае невыполнения поставленной задачи перед агентами программа помогает определить слабые места в данном процессе и оптимизировать его. Например, мы можем увеличить скорость погрузчика для увеличения скорости



*Рис. 6 Процесс пескоструйной обработки металла*

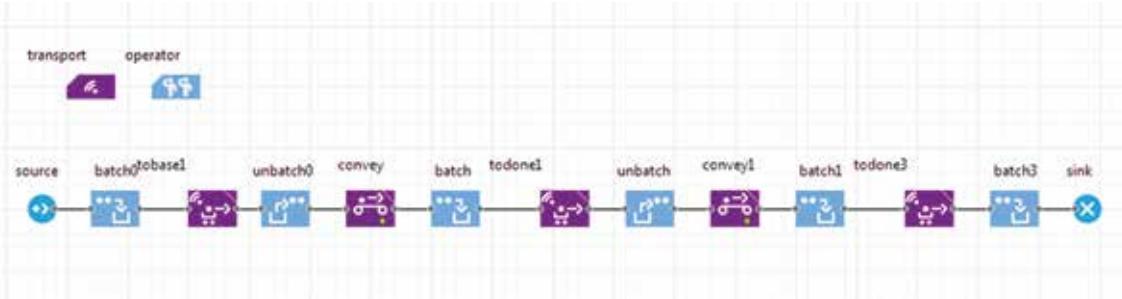


Рис. 7 Блок-схема процесса в ПО AnyLogic

процесса, но нужно понимать, что его скорость также ограничена его техническими характеристиками, поэтому в некоторых ситуациях придется добавить второй погрузчик.

Модель позволяет смоделировать процесс в исходном состоянии, показав сколько времени он будет длиться. Далее, если время выполнения работы не устраивает компанию, происходит оптимизация процесса за счет изменения параметров агентов процесса. Процесс оптимизации может состоять из нескольких итераций, пока время выполнения работы не достигнет целевого, которое удовлетворит заинтересованные стороны процесса.

Более подробная последовательность действий в модели представлена на рис. 6, блок-схема процесса в ПО AnyLogic представлена на рис. 7, готовая модель представлена на рис. 8 и 9.

Значения блоков (рис. 7):

- Source – формирование заготовок металла;
- Блоки batch и unbatch – формирование партий заготовок и места их выгрузки/погрузки
- Блоки to(...) – транспортировка партий заготовок к назначенному месту;
- Блоки convey – работа конвейеров;
- Блок sink – блок завершение процесса.

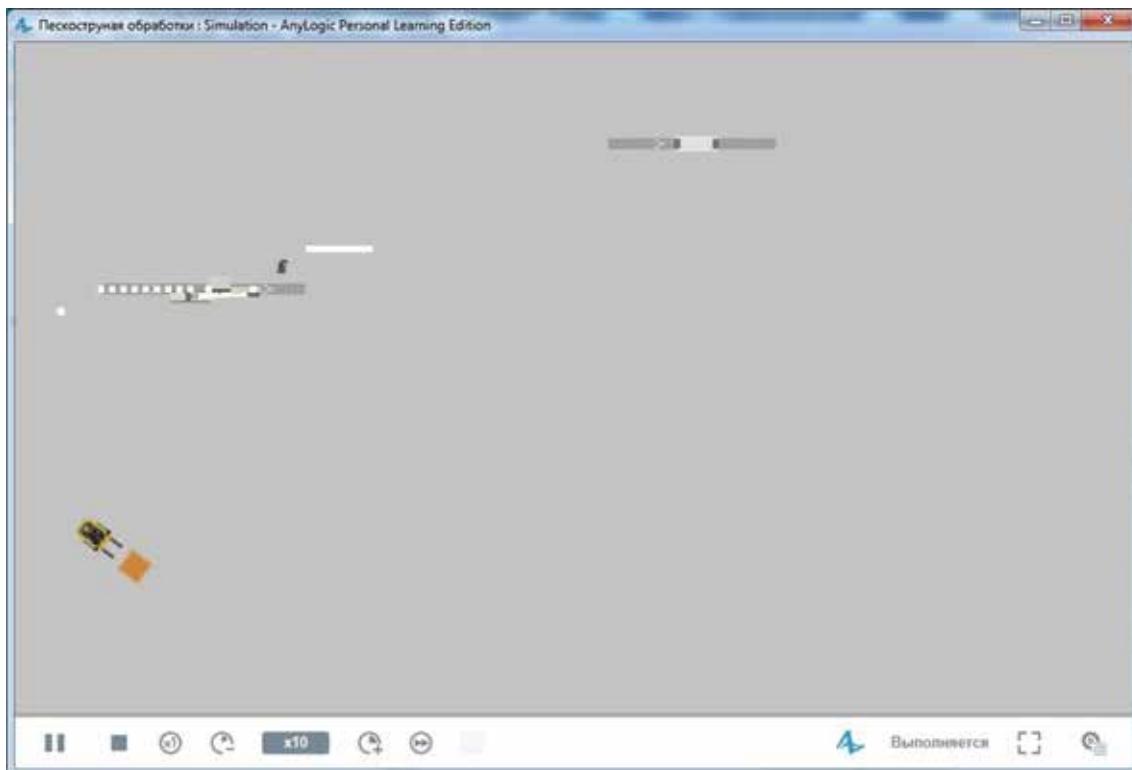


Рис. 8. 2D-модель процесса в ПО AnyLogic

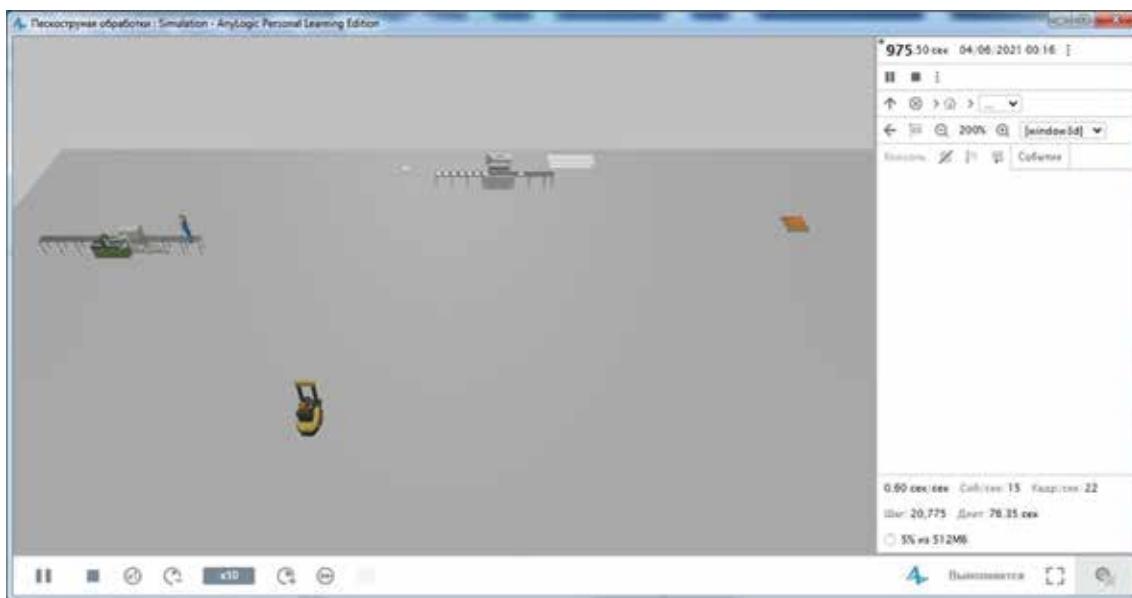


Рис. 9. 3D-модель процесса в ПО AnyLogic

### Заключение

В ходе выполнения работы была доказана актуальность рассматриваемой темы, её важность для компании.

В первой части работы был проведен анализ строительства существующих АЭС, и на основе одной из классификаций рисков при строительстве были выявлены основные факторы, влияющие на сдвиг сроков сооружения АЭС. Результаты анализа представлены в табл. 1. В ходе анализа был сделан вывод, что большинство случаев сдвига сроков сооружения АЭС происходят из-за политических, экономических, технических, технологических и эксплуатационных рисков. Большинство этих рисков можно было исключить, если бы были верно выстроены взаимоотношения между заинтересованными сторонами проектов. Далее, на основании полученного

анализа, было выдвинуто предложение использовать агентное моделирование для управления рисками. Однако данный подход не применим для управления всеми рисками. Целевое применение данного подхода распространяется в большинстве случаев для управления техническими, технологическими и эксплуатационными рисками.

Во второй части работы представлены основные понятия об агентном моделировании, его применении в других отраслях, об основном программном обеспечении, которое используется для моделирования процессов. Также была создана модель процесса пескоструйной обработки металла в ПО AnyLogic. Данная модель показала основные возможности агентного моделирования и доказала эффективность применения этого метода управления рисками.

### Библиографический список

1. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю.Г. Карпов. – СПБ.: БХВ-Петербург, 2005. 400 с.
2. Илья Григорьев. AnyLogic за три дня. Практическое пособие по имитационному моделированию / И.Григорьев. М.: 2020. 273 с.
3. Емельянов В.В. Теория и практика эволюционного моделирования / Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.Н. М: Физматлит, 2003. 427 с.
4. Скобелев П.О., Симонова Е.В., Кожевников С.С., Майоров И.В.. Разработка мультиагентной системы планирования, прогнозирования и моделирования производства / П.О. Скобелев, Е.В. Симонова, С.С. Кожевников, И.В. Майоров // Механика. Автоматизация Управление. 2014. №1 (154). С. 22–30.
5. Шахов, В.В. Риски. Теоретический аспект / В.В. Шахов // Финансы. 2000. №7. С. 33-36.

6. Иванов, А.П. К вопросу об управлении рисками на предприятии ЦБП / А.П. Иванов // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2001. № 11–12. С. 24–25.
7. Заседание Коллегии Счетной палаты Российской Федерации [Электронный ресурс] // Официальный сайт Счетной палаты Российской Федерации. Режим доступа: <https://ach.gov.ru/news/gotovnost-1-go-energobloka-atomnoj-elektrostancii-v-respublike-belarus-sostavila-72-4-32953> (Дата обращения: 21.02.2022).
8. Итоги комплексной проверки сооружения Белорусской АЭС [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «Экологический правовой центр «БЕЛЛОНА». Режим доступа: <https://bellona.ru/2014/11/07/pri-stroitelstve-belorusskoj-aes-vy/> (Дата обращения: 21.02.2022).
9. Комментарий от руководства Белорусской АЭС о происшествии с корпусом реактора [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО
10. «ТУТ БАЙ МЕДИА». Режим доступа: <https://news.tut.by/society/564384.html> (Дата обращения: 21.02.2022).
11. Комментарий от руководства Белорусской АЭС о происшествии с трансформаторами напряжения [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «ТУТ БАЙ МЕДИА». Режим доступа: <https://news.tut.by/economics/707170.html> (Дата обращения: 21.02.2021).
12. Ростовская АЭС [Электронный ресурс] // Свободная энциклопедия Википедия. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F\\_%D0%90%D0%AD%D0%A1](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%90%D0%AD%D0%A1) (Дата обращения: 21.02.2022).
13. Срок запуска 4 блока Ростовской АЭС [Электронный ресурс] // Электронный портал «Атомная энергия 2.0». Режим доступа: <https://www.atomic-energy.ru/news/2017/11/21/81022> (Дата обращения: 21.02.2022).
14. АЭС Штендаль [Электронный ресурс] // Свободная энциклопедия Википедия. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%AD%D0%A1\\_%D0%A8%D1%82%D0%BD%D0%BD%D0%BC%D0%95%D0%BD%D1%8C](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%AD%D0%A1_%D0%A8%D1%82%D0%BD%D0%BD%D0%BC%D0%95%D0%BD%D1%8C) (Дата обращения: 21.02.2022).
15. АЭС Лунгмень [Электронный ресурс] // Свободная энциклопедия Википедия. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%AD%D0%A1\\_%D0%9B%D1%83%D0%BD%D0%B3%D0%BC%D0%95%D0%BD%D1%8C](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%AD%D0%A1_%D0%9B%D1%83%D0%BD%D0%B3%D0%BC%D0%95%D0%BD%D1%8C) (Дата обращения: 21.02.2022).
16. АЭС Уоттс-Бар [Электронный ресурс] // Свободная энциклопедия Википедия. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%AD%D0%A1\\_%D0%A3%D0%BE%D1%82%D1%82%D1%81-%D0%91%D0%B0%D1%80](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%AD%D0%A1_%D0%A3%D0%BE%D1%82%D1%82%D1%81-%D0%91%D0%B0%D1%80) (Дата обращения: 21.02.2022).
17. Бушерская АЭС [Электронный ресурс] // Свободная энциклопедия Википедия. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%AD%D0%A1\\_%D0%9F%D0%BD%D0%BA%D0%BD%D0%BC%D0%95%D0%BD%D1%8C](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%AD%D0%A1_%D0%9F%D0%BD%D0%BA%D0%BD%D0%BC%D0%95%D0%BD%D1%8C) (Дата обращения: 21.02.2022).
18. АЭС имени адмирала Алваро Альберто [Электронный ресурс] // Свободная энциклопедия Википедия. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%AD%D0%A1\\_%D0%91%D0%AD%D0%A1\\_%D0%9F%D0%BD%D0%BA%D0%BD%D0%BC%D0%95%D0%BD%D1%8C](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%AD%D0%A1_%D0%91%D0%AD%D0%A1_%D0%9F%D0%BD%D0%BA%D0%BD%D0%BC%D0%95%D0%BD%D1%8C) (Дата обращения: 21.02.2022).
19. Бразильская Eletrenuclear планирует ввести в эксплуатацию третий блок АЭС Ангра [Электронный ресурс] // Электронный портал «Атомная энергия 2.0». Режим доступа: <https://www.atomic-energy.ru/news/2021/03/01/111987> (Дата обращения: 21.02.2022).
20. АЭС Атуча [Электронный ресурс] // Свободная энциклопедия Википедия. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%AD%D0%A1\\_%D0%9F%D0%BD%D0%BA%D0%BD%D0%BC%D0%95%D0%BD%D1%8C](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%AD%D0%A1_%D0%9F%D0%BD%D0%BA%D0%BD%D0%BC%D0%95%D0%BD%D1%8C) (Дата обращения: 21.02.2022).
21. АЭС Хартпул [Электронный ресурс] // Свободная энциклопедия Википедия. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%AD%D0%A1\\_%D0%9F%D0%BD%D0%BA%D0%BD%D0%BC%D0%95%D0%BD%D1%8C](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%AD%D0%A1_%D0%9F%D0%BD%D0%BA%D0%BD%D0%BC%D0%95%D0%BD%D1%8C) (Дата обращения: 21.02.2022).
22. АЭС Саньмэнь [Электронный ресурс] // Свободная энциклопедия Википедия. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%AD%D0%A1\\_%D0%9F%D0%BD%D0%BA%D0%BD%D0%BC%D0%95%D0%BD%D1%8C](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%AD%D0%A1_%D0%9F%D0%BD%D0%BA%D0%BD%D0%BC%D0%95%D0%BD%D1%8C) (Дата обращения: 21.02.2022).
23. Протесты против запуска АЭС Куданкулам [Электронный ресурс] // Официальный сайт портала «Атомные станции надзор и безопасность». Режим доступа: <https://www.seogan.ru/protesti-protiv-zapuska-aes-kudankulam-obxodyatsya-pravitelstvu-indii-pochti-v-1-mln-dollarov-ezhednevno.html> (Дата обращения: 09.03.2022).

