

**ОЦЕНКА ВАЛИДНОСТИ СИСТЕМНОГО ИМИТАЦИОННОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ  
ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
КРИТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ**

**А.В. Алексеев, А.Е. Карпов, В.В. Александров (Санкт-Петербург)**

Критерием адекватности результатов моделирования сложных процессов управления объектами морской техники и инфраструктуры (ОМТИ) и их качества является мера (степень) соответствия результатов моделирования реальным процессам ОМТИ и соответствия их качества требованиям по предназначению.

При этом уровень *верификации* исходных данных определяет достоверность результатов моделирования в части соответствия заданным требованиям, а мера и степень соответствия методик и результатов исследования и моделирования поставленным целям и задачам определяется оценками *валидности* (от англ. validity, от лат. validus – «сильный, здоровый, достойный», или от фр. valide – важный, действующий).

Понятие валидности, пришедшее из смежных научных областей, в том числе из экспериментальной психологии, организационной психологии и психодиагностики, приобрело самостоятельное значение в технических областях знаний поскольку определяет соотношение главных категорий деятельности – её целей и результатов.

В этой связи заслуживает внимания вопрос оценки валидности системного имитационного моделирования сложных процессов, в том числе организационно-технического управления критическими объектами ОМТИ, которые приобретают сегодня важное практическое значение [1, 2, 3].

**Постановка задачи.** Определим понятие оценки *валидности* моделирования как процесс и результаты измерения степени соответствия и близости получаемых результатов моделирования целям моделирования. При этом вопросы точности поставленных и решенных задач при моделировании отнесем к понятию *верификации*.

Тем самым, при наличии решения поставленных при моделировании задач и оценки качества их решения оценка валидности моделирования позволит делать заключение о системном уровне достижения целей моделирования, что весьма важно.

В качестве критерия валидности выберем агрегированный показатель качества (АПК),  $V(D, \delta, \varepsilon, A, W, F, \dots)$ , определяемый с учетом групповых показателей качества (ГПК) достоверности оценки качества решения  $D_n$  каждой из  $n = [1; N]$  поставленных задач моделирования, точности задания исходных данных  $\delta_n$  и точности оценивания результатов моделирования  $\varepsilon_n$ , адекватности использованной модели реальным условиям, полноты проведенных вариантов (сценариев) моделирования и оценивания  $W$ , полноты учета влияния внутренних и внешних факторов воздействия и других.

Понятно, что векторный функционал  $V(D, \delta, \varepsilon, A, W, F, \dots)$  является весьма сложным для измерения, но без его квалитетического оценивания делать выводы об адекватности моделирования преждевременно.

Еще более сложной является задача оценки валидности для анализа результатов системного и имитационного моделирования сложных процессов типа организационно-технического управления критическими ОМТИ, что сегодня представляется одной из актуальнейших задач системного анализа и синтеза [4, 5, 6].

Принцип решения задачи. Приведенная постановка задачи оценки валидности, как показывает анализ источников, включая информационный ресурс «Антиплагиат» по технологии [4], уникальна и в области технических наук только начинает осваиваться. Результаты подобных исследований, тем более применительно к системному и имитационному моделированию

сложных процессов, практически не выявлено [5, 6]. Поэтому в основу решения поставленной задачи были заложены следующие *принципиальные положения* (принципы решения поставленной задачи):

1. любое количественное оценивание (измерение качества) является преимущественным в сравнении с вербальным. Даже исходные упрощенные модели исследования могут быть хорошей основой для их последующего развития;

2. в условиях отсутствия измеряемых показателей качества на начальных этапах исследования достойной альтернативой могут быть экспертные оценки, особенно полученные с использованием совершенных методик экспертного оценивания [5];

3. перспективным направлением повышения точности экспертного оценивания, как показывает опыт и полученные результаты [1 - 3], следует считать учет их компетентности по типу [4, 5], а также использование шкал вариантного сравнения (при оценке показателей альтернативных вариантов по отношению к тому же показателю базового, хорошо знакомого экспертам практически) варианта сравнения [5, 6].

**Методика оценки валидности результатов моделирования.** Количественная оценка степени соответствия методик и результатов моделирования (исследования в целом) поставленным целям и поставленным исследователем задачам по их достижении (оценка валидности результатов моделирования), по нашему мнению, должна включать следующие этапы:

1. этап систематизации (выявления, обобщения, формулирования, включая уточнение, корректировку) комплекса взаимосвязанных критериев и показателей валидности (системы критериев и показателей) типа множества  $\{Q, \delta, \varepsilon, A, W, F, \dots\}$ ;

2. этап агрегирования частных (ЧПК), ГПК (по группам ЧПК, характеризующим определенные свойства объектов анализа), модельных (МПК, определяются выбранными моделями агрегирования ЧПК и ГПК в АПК по данной модели), а также полимодельного агрегирования МПК в единый АПК моделирования;

3. этап алгоритмизации процедур по п. 1 и п. 2 и разработки программного модуля (ПМ или комплекса, ПК) для автоматизации процессов (с целью снижения ресурсных затрат и минимизации ошибок операторов) многовариантного числового эксперимента по оценке валидности результатов моделирования (ОВРМ);

4. этап подготовки и обоснования вариантов исходных данных для численного эксперимента по ОВРМ, сценариев системного и имитационного моделирования;

5. этап вариантного численного моделирования с использованием ПМ или ПК;

6. этап интерпретации и анализа полученных результатов ОВРМ;

7. этап обобщения результатов ОВРМ, формулирования, обсуждения, составления акта, согласования, представления и утверждения результатов и выводов по ОВРМ.

**Результаты апробации методики ОВРМ.** Применительно к одной из практических задач системного мониторинга реализации производственного месячного плана и имитационного моделирования сложных процессов организационно-технического управления критическим объектом морской инфраструктуры типа судоремонтного завода (СРЗ) по созданию сложных ОМТИ [5, 6] в соответствии с представленной выше Методикой ОВРМ качества деятельности СРЗ был разработан специализированный ПК «СПРУ-СРЗ» с ПМ организационно-технического мониторинга и управления производственными процессами (ПМ «ОТМУ-СРЗ») с модулем ОВРМ.

Пример главной интерфейсной формы ПМ «ОТМУ» приведен на рис. 1 для решения задачи моделирования АПК деятельности СРЗ с открытой детализацией по основному структурному подразделению – цехам основного производства (остальные подразделения учитываются при оценке АПК СРЗ, но для краткости на рис. 1 не показаны).

Рисунок отражает результаты моделирования одного из основных системных показателей качества деятельности СРЗ в виде АПК (значение приведено в поле «Итог»), который учитывает фактические результаты деятельности всех структурных подразделений с учетом ежедневно вводимых данных (на рис. 1 приведены только для цехов основного производства в полях «Текущий результат»).

СПРУ-СРЗ		Контроль выполнения задач: Судоремонтный завод			10.09.17 1:28				
Цель	Цели, системные задачи	Содержание задачи, форма отчета	Значимость, %	Начало	Срок	Текущий результат	Прогноз на срок	Итог	
<b>1</b> <b>Результативность деятельности СРЗ (мониторинг эффективности)</b>	1.1.Цехи основного производства (ЦОП)	1.1.1. - 1.1.8. План с подробным описанием задач (ниже на развороте) и форм контроля (отчета) их решения	30,0%	1.11.16	20.1.17	Ожидаемый % выполнения данных задач на дату завершения (срок в столбце F)	91,7	96,0	
	1.2.Цехи вспомогательного производства (ЦВП)	1.2.1. - 1.2.8. План с подробным описанием задач (ниже на развороте) и формы контроля (отчета) её решения	25,0%	1.11.16	31.8.17		100,0	Требования выполняются (ВТ). См. лист-Рекомендации: ВТ	
	1.3.Цехи обслуживающего производства (ЦОБП)	1.3.1. - 1.3.8. План с подробным описанием задач (ниже на развороте) и форм контроля (отчета) их решения	20,0%	1.1.17	31.5.17		100,0		
	1.4.Специальная программа СРЗ	1.4.1. - 1.4.8. План с подробным описанием задач (ниже на развороте) и форм контроля (отчета) их решения	10,0%	31.5.17	31.10.17		92,9		
	1.5.Управление СЗЗ	1.5.1. - 1.5.8. План с подробным описанием задач (ниже на развороте) и форм контроля	7,0%	31.10.17	31.5.18		94,6		85
	1.6.Служба СМК	1.6.1. - 1.6.8. План с подробным описанием задач (ниже на развороте) и форм контроля	3,0%	31.5.18	30.11.18		94,6		80
	1.7.Служба заказов	1.7.1. - 1.7.8. План с подробным описанием задач (ниже на развороте) и форм контроля	2,0%	30.11.18	31.5.18		94,6		50
	1.8.Другие программы и задачи	1.8.1. - 1.8.8. Подробное описание Задач (ниже на развороте) и формы контроля (отчета) её решения	3,0%	30.11.18	1.10.17		94,6		Петров А.В.
<b>11</b>	1.1.1.Ремонтно-монтажные цехи (РМЦ): Механосборочный	План с подробным описанием задач и форм контроля (отчета) их решения	5,0%	1.9.17	20.11.17	10,0	88,3	91,7	
<b>1.1.Цех и основного производства (ЦОП)</b>	1.1.2.РМЦ: Корпусосварочный	План с подробным описанием задач и форм контроля (отчета) их решения	5,0%	1.9.17	20.11.17	10,0	88,3	Требования выполняются (ВТ). См. лист-Рекомендации: ВТ	
	1.1.3.РМЦ: Доковотакальный	План с подробным описанием задач и форм контроля (отчета) их решения	10,0%	1.9.17	20.11.17	10,0	88,3		
	1.1.4.РМЦ: ТрубоПроводомедницкий	План с подробным описанием задач и форм контроля (отчета) их решения	20,0%	1.9.17	20.11.17	10,0	88,3		
	1.1.5.РМЦ: Электромонтажный	План с подробным описанием задач и форм контроля (отчета) их решения	15,0%	1.9.17	20.11.17	10,0	88,3		
	1.1.6.РМЦ: Межрейсового ремонта	План с подробным описанием задач и форм контроля (отчета) их решения	15,0%	1.9.17	20.11.17	10,0	88,3		
	1.1.7.Судоподъемные сооружения	План с подробным описанием задач и форм контроля (отчета) их решения	15,0%	1.9.17	20.11.17	30,0	100,0		Алексеев А.В.
	1.1.8.Заготовительные цехи и другие	План с подробным описанием задач и форм контроля (отчета) их решения	15,0%	1.9.17	20.11.17	30,0	100,0	10.09.17 1:28	

Рис. 1. Главная экранная форма ПМ «СПРУ-ОТМУ» при оценке АПК деятельности СРЗ

Одним из преимуществ представляемого ПК «СПРУ-СРЗ», разработанного на основе большого ряда альтернатив при вариантной оптимизации в течение длительного времени и решения широкого круга задач, можно назвать инвариантность программного обеспечения и интерфейса, формы, критериев и алгоритмов оценивания к специфике решаемых задач. Это позволяет реализовывать такое важное свойство СПРУ? как возможность масштабирования задач и использования типовой формы для объектов анализа практически любой структуры без модификации программного обеспечения и ПК.

На рис. 2 с учетом сформулированных выше методических положений показана технология и пример результатов ОВРМ для приведенной задачи анализа СРЗ при использовании следующих исходных данных:

- значимость (весовые коэффициенты) каждого из ГПК выполнения ОВРМ;
- диапазон разброса ГПК (минимальное и максимальное значения) по названным критериям ОВРМ при использовании экспертного метода оценивания;
- экспертные оценки среднеквадратической погрешности (СКП) показателей;

- расчетное значение достоверности оценки (ДО) по каждому из показателей в соответствии с алгоритмом оценивания  $ДО = 100 * [1 - 2 * СКП / (Max + Min)]$ ;
- расчетное значение ОВРМ по приведенным ДО для 7 разнородным ГПК оценки валидности результатов моделирования в соответствии с гармоническим алгоритмом агрегирования данных [5, 6], как наиболее точным из ряда возможных.

СПРУ-СРЗ		Контроль выполнения задач:		Оценка валидности РМ			10.09.17 1:30	
Цель	Система критериев ОВРМ	Экспертное обоснование условий и достоверности оценивания	Значимость, %	Min	Max	СКП, %	ДО	ОВРМ
<b>1.8.1</b>	1. Достоверность оценки качества решения задач СРЗ, Д	Многофакторная оценка качества решения задач, но при ограниченной точности задания исходных данных	15,0%	70	95	10	87,9	84,1
<b>Оценка валидности результатов моделирования (ОВРМ) качества деятельности СРЗ</b>	2. Точность задания исходных данных	Ограничена отсутствием статистических данных. Есть перспектива сокращения	15,0%	40	70	20	63,6	Угроза невыполнения требований (УНТ). См. лист-Рекомендации: УНТ
	3. Точность оценки результатов моделирования	Достаточно высока за счет гармонического алгоритма агрегирования	20,0%	85	95	10	88,9	
	4. Адекватность модели реальным условиям	Для системных показателей объекта анализа достаточно адекватна	20,0%	80	95	10	88,6	
	5. Полнота вариантов моделирования	Ограниченная возможность привлечения квалифицированных экспертов на длительное время	10,0%	60	70	5	92,3	85
	6. Полнота учета факторов воздействий	Может наращиваться с учетом большого опыта и объема известных данных	15,0%	75	80	10	87,1	80
	7. Полнота учета других критериев ОВРМ	1.7.1 - 1.7.8. Подробное описание Задач (ниже на развороте) и формы контроля	5,0%	80	90	20	76,5	50
	8. Резервное поле	Резервное поле	0,0%	90	100	1	98,9	Смирнов А.В.

Рис. 2. Главная экранная форма ПМ «СПРУ-ОТМУ» при расчете ОВРМ

Важным фактором обеспечения достоверности ОВРМ следует считать обоснование принятых исходных данных, для чего в экранной (интерфейсной) форме предусмотрено специальное поле для фиксации аргументации по обоснованию.

**Предложения по совершенствованию методики ОВРМ.** Приведенный упрощенный вариант ОВРМ иллюстрирует прежде всего возможность реализации метода. Для полномасштабного выполнения ОВРМ используется предусмотренная в ПК свертка ЧПК в ГПК, а также реализация следующих важных методических требований:

1. согласование на уровне предприятия, партнерских объединений, ведомства, например, в рамках систем менеджмента качества, как самой методики, так и ряда нормирующих данных типа показателей значимости используемых критериев (например, в варианте ведомственного утверждения модельных матриц весовых коэффициентов);
2. формирование баз данных и знаний по результатам ранее выполненных ОВРМ и соответствующих моделей, их ранжирование по критерию АПК, соответствующей оценки конкурентной способности и перспективности развития [1, 3, 5, 6];
3. регламентирование обязательности процедуры ОВРМ для разрабатываемых и рекомендуемых к использованию моделей всех видов [1, 2, 4].

Реализация данных предложений непременно будет способствовать совершенствованию самих моделей функционирования и оценки качества объектов моделирования, прежде всего, в направлении их адекватности своему предназначению.

### Выводы

На пути совершенствования технологий моделирования сложных процессов и квалиметрической оценки моделей в последнее время приобрёл особое и самостоятельное значение в технических областях знаний наряду с критерием верификации исходных данных и решения поставленных задач критерий валидности, как меры соответствия модели и результатов моделирования задачам моделирования в целом.

Критерий (как мера соответствия предназначению) и показатель (как численное выражение критериев) валидности позволяет количественно и системно целостно оценивать качество соответствующих моделей и непосредственно сравнивать их (ранжировать) в интересах адекватного и точного модельного представления объекта.

Особое значение необходимость ОВРМ имеет для решения задач системной оценки качества объектов моделирования и их результатов для анализа сложных процессов, в том числе организационно-технического управления. Особенно для процессов критических объектов морской техники (типа кораблей, судов, морских платформ, их технических средств и систем) и морской инфраструктуры (типа судостроительных и судоремонтных заводов, портов, проектных и образовательных организаций), наиболее характерных для настоящего времени в связи с интенсивным информационно-технологическим развитием общества и резким возрастанием сложности ОМТИ.

Приведен вариант системы критериев ОВРМ типа базового и методика выполнения оценок. Применительно к типовой структуре и процессам судоремонтного завода приведен пример, методика и технология оценки с использованием разработанного программного комплекса «СПРУ-СРЗ», подтвердивших возможность и продуктивность ОВРМ, а также сформулированы рекомендации по дальнейшему развитию аппарата оценки валидности моделей и результатов моделирования в целом.



## Литература

1. **Алексеев А.В., Смольников А.В.** Систематизация и анализ методов моделирования процессов информационно-аналитического обеспечения борьбы за живучесть корабля // Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию социально-экономических систем (ВКИМСЭС-2012). Москва. 2012. С. 127–132.
2. **Волков В.И., Тычинин И.Ю., Алексеев А.В.** Системные аспекты управления развитием современных критических объектов морской техники и морской инфраструктуры // XIV Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ-2014)». Материалы конференции. Санкт-Петербург, 29-31 октября 2014 г. СПОИСУ. СПб, 2014. С. 447–48.
3. **Волков В.И., Тычинин И.Ю., Алексеев А.В.** Анализ системных аспектов управления развитием критических объектов морской техники и морской инфраструктуры / Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник трудов. Вып. 1. СПОИСУ. СПб., 2015. С. 520–526.
4. **Алексеев А.В., Волков В.И., Тычинин И.Ю., Михальчук А.В., Карпов А.Е.** Теория и практика мониторинга качества и управления современных критических объектов морской техники и морской инфраструктуры // Материалы научно-практической конференции – ВУНЦ ВМФ «ВМА», 2016.
5. **Алексеев А.В., Антипов В.А., Бобрович В.Ю., Смольников А.В.** Оптимизация системных решений при управлении живучестью судовых автоматизированных систем и комплексов на основе анализа их конкурентной способности // Материалы 9-й конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2016). СПб.: АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2016. С. 33–42.
6. **Александров В.Л., Алексеев А.В., Поляничко В.В., Ходан С.В.** Проблема организационно-технического мониторинга, прогнозирования и управления жизненным циклом // Четвертая международная научно-практическая конференция «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» (ИКМ МТМТС-2017). Труды конференции. СПб.: АО «ЦТСС», 2017. С.11–15.