

Задачи совершенствования методов технологического проектирования морских торговых портов



А. Л. Кузнецов,
д-р техн. наук, профессор
кафедры портов
и грузовых терминалов
Государственного
университета морского
и речного флота им. адм.
С. О. Макарова (ГУМРФ),



А. М. Сампиев,
канд. экон. наук, директор
по производству
АО «Ленморнишпроект»,



А. Д. Семенов,
аспирант ГУМРФ,



А. О. Иванов,
аспирант Центрального
научно-исследовательского
и проектного института
Минстроя России

Разрыв экономических связей с традиционными партнерами и необходимость переключить товаропотоки на новые направления потребовали коренной перестройки транспорта. При этом многие порты, составляющие основу транспортной инфраструктуры внешней торговли, оказались расположенными не в самых востребованных географических локациях или же не соответствующими грузопотокам.

Технологическое проектирование — это разработка технологических решений, необходимых при строительно-монтажных работах, вводе в эксплуатацию и работе инженерных объектов. Этот творческий процесс подчиняется многим ограничениям и рекомендациям, основные из которых сведены в документ «Нормы технологического проектирования» для соответствующих отраслей [1, 2].

Нормы технологического проектирования объектов транспортной инфраструктуры, как и вся практика их применения, в нынешнем виде были сформированы в годы восстановления разрушенного народного хозяйства после Великой Отечественной войны. Необходимость быстро получить результат в условиях дефицита кадров и операционных ресурсов обусловило требования простоты и однозначности содержащихся в этих документах рекомендаций и методов расчета. В сложившихся обстоятельствах такая регламентация являлась оправданным и рациональным решением, позволяющим избежать грубых ошибок и просчетов, свойственных масштабным и многочисленным проектам создания объектов транспортной инфраструктуры в быстро меняющихся экономических условиях.

Эффективность и полезность норм поддерживалась и господствующей моделью командно-административного хозяйствования, позволявшей использовать унифицированные технологические решения, оборудование и технологии, а также не выдвигавшей требования финансово-экономического плана вслед-

ствие отсутствия конкуренции и наличия государственного распределения грузопотоков и ресурсов.

В условиях относительно узкого спектра технических средств и соответствующих технологий унификация без дополнительных усилий обеспечивала более-менее приемлемый уровень эффективности за счет действия эффекта масштабной экономии. Централизация управления экономикой в сфере транспорта предусматривала также сбор полной и достоверной информации о работе всех объектов транспортной инфраструктуры, что позволяло без особого труда так же централизованно проводить всесторонний анализ опыта их эксплуатации, а отсутствие конкуренции создавало все условия для открытого обмена опытом и распространения лучших операционных практик в фактически стандартных условиях.

Унификация, предсказуемость и стабильность линии экономического развития обуславливали надежность и достоверность методов планирования на всех его горизонтах и уровнях, позволяя создавать такие эффективные инструменты, как непрерывный план-график работы порта.

Однако в конце десятилетия, которое тогда называли «эпохой развитого социализма», все перечисленные выше факторы постепенно стали менять знак направленности своего влияния. Во многом развал СССР был обусловлен не политическими, а экономическими причинами, хотя их детальный анализ выходит за рамки настоящей работы.

Безусловно, в отношении объектов

транспортной отрасли, напрямую определяющей экономику любой страны, все турбулентные события конца XX в. не могли не оказать влияния. Превращение морских и сухопутных терминалов в субъекты жесткой конкуренции, гонимая борьба за грузопотоки, почти полная утрата «страховочных сетей» господдержки, непредсказуемость путей экономического развития государства и потеря возможности стратегического и тактического планирования поставили их в совершенно иные коммерческие и финансово-экономические условия.

На самом деле все перечисленное полностью изменило суть игры для всех ее участников. В то же время государство и производные от него органы регулирования пытались на разных уровнях и по разным причинам сохранить свое влияние. Хотя цель игры изменилась, ее организаторы и судьи пытались оставить за собой роль устанавливающих правила. При этом отрицать появление не только новых экономических моделей, но и транспортных технологий было невозможно, и правила игры в аспекте технологического проектирования объективно требовали изменений. В отношении морских торговых портов это выразилось в последовательном появлении нескольких редакций технологических норм. Общим недостатком всех этих попыток было сохранение жесткой регламентации в отношении технологических решений при расширении возможной вариативности отдельных структурных и параметрических характеристик.

В то же время весь ход развития мировой транспортной отрасли и методов проектирования объектов ее инфраструктуры говорил о том, что предметами такой жесткой регламентации должны служить лишь объекты и процессы, непосредственно связанные с обеспечением безопасности. Все остальные аспекты, касающиеся использования технологических решений для обеспечения коммерческих преимуществ, должны быть выведены из сферы регламентации. Несмотря на растущее понимание этой проблемы со стороны всех причастных, осколки государственного аппарата сумели сохранить за собой главенствующее положение в этой сфере деятельности в форме государственных экспертиз. Как следствие, в проектной документации ее составители все чаще в качестве вариантов указывали предлагаемые нормами технологического проектирования решения как обязательные, но не как ре-

альные и рекомендуемые. Крайним проявлением этого подхода стала практика подготовки двух вариантов отчетов по проекту: первый представлялся в органы для получения необходимых разрешений, а второй содержал предложения по его реальному функционированию.

Вообще методические проблемы существующих норм технологического проектирования были обусловлены историей их появления. В основе всех расчетов, содержащихся в исходных нормах, лежали расчетно-аналитические методы [3–6]. При этом вначале достаточно компактные и ограниченные по объему данные позволяли составлять представление о типовых значениях всех исходных расчетных величин, а малый размер пространства возможных технологических решений обуславливал предложение небольшого числа расчетных формул для вычисления искомых выходных параметров.

Технологическое проектирование в различных инженерных сферах и проектах существенно различается по цели, объему и содержанию, поэтому говорить о конкретных задачах его совершенствования следует в соответствующем контексте.

Проектирование морских перегрузочных комплексов — сложный и длительный процесс, в который вовлечены многочисленные группы инженеров разных специальностей. При этом практически всегда выполняются научно-исследовательские работы.

Хорошей практикой в настоящее время становится выполнение математического и физического моделирования волновых процессов, оценка влияния ледовых условий на гидротехнические сооружения, математическое моделирование движения наносов при дноуглублении акватории для оценки межсезонной заносимости и др. Требования к выполнению данных видов исследований определяются нормативными документами (например, СП 38.13330.2018), а также заказчиками строительства.

Потребность в научно-исследовательских работах может возникнуть на любой стадии реализации проекта, если у проектировщиков нет тривиальных инструментов решения возникшей проблемы, когда положения действующей нормативной базы не могут дать однозначного решения проблемы. Также обращаются к научному исследованию при решении задач по снижению стоимости проектных решений.

Однако в технологическом проектировании морских перегрузочных комплексов вопрос выполнения научно-исследовательских работ, позволяющих внедрить элементы «бережливого проектирования», до настоящего времени не осмыслен проектировщиками и проверяющими их экспертными организациями.

Сейчас основным документом, в соответствии с которым ведется технологическое проектирование морских перегрузочных комплексов, является СП 350.1326000.2018 «Нормы технологического проектирования морских портов» (далее — Нормы).

Основные технологические параметры морских перегрузочных комплексов, которые выделяются в Нормах:

- проектная мощность;
- количество причалов;
- пропускная способность причала;
- валовая интенсивность грузовых работ;
- длина причальной линии;
- пропускная способность железнодорожного и автомобильного грузовых фронтов;
- площадь и вместимость склада.

Данные технологические показатели определяют облик и экономику проектируемого терминала, не влияя на безопасность и надежность конструкций. Вариация их значений не создает угрозы жизни и здоровью людей. При этом требования к исполнению Норм в части определения данных показателей избыточны, приводят к завышенным результатам и могут применяться для ранних (предпроектных) стадий проектирования.

Определение технологических показателей на этапе разработки проектной документации должно вестись с применением современного математического инструмента, а именно имитационного моделирования, позволяющего рассмотреть различные сценарии изменения исходных данных с учетом вариации расчетных параметров. Как следствие, основными задачами совершенствования методов технологического проектирования является внедрение подхода имитационного моделирования для расчета каждого элемента, представленного выше.

Вероятностные методы расчета технологических параметров

Появление новых транспортно-логистических технологий расширило спектр параметров и ужесточило требования к экономической эффективности принимаемых технологических решений

результаты статистических испытаний



Рис. 1. Результаты статистических испытаний по методу Монте-Карло

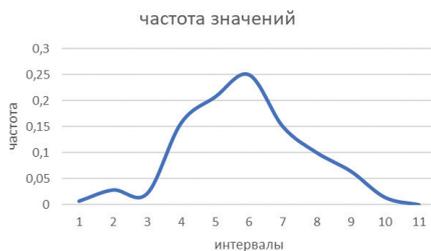


Рис. 2. График статистической обработки результатов

из-за роста конкуренции. Это постепенно привело к необходимости работы со всеми расчетными параметрами как не с детерминированными, а со случайными величинами. В этом случае все проектные переменные также становились случайными величинами, колеблющимися вокруг некоторых центральных значений. Между тем в современных методах расчета технологических параметров центральное место занимает оценка вероятности получения тех или иных значений, на основе которых заказчик формирует предпринимательские решения.

К такой ситуации оказались не готовы все участники отечественного рынка проектирования транспортных объектов — как проектанты, так и заказчики. Вообще, классическая математика не представляет каких-либо стандартных средств для работы с вероятностными величинами. Первым и практически единственным на сегодня средством, которое позволяет работать со случайными величинами в формульных зависимостях, являются методы Монте-Карло [7, 8].

Суть их состоит в том, что по вероятностным характеристикам входящих в формулы аргументов генерируются их конкретные значения, которые подставляются в расчетные формулы как детерминированные. В результате многократного повторения таких «испытаний» редкие сочетания аргументов приводят к редким же значениям соответствующей



Рис. 3. Динамика изменения показателя в ходе моделирования

функции, а часто встречающиеся комбинации — соответственно к более частым (рис. 1).

Если стандартным методом математической статистики подсчитать количество попаданий полученных значений в выбранные интервалы, то можно составить представление о плотности распределения искомой величины, которая получается соответствующей формулой (рис. 2).

Вероятностные методы расчета технологических параметров существенно расширили возможности традиционного аналитического подхода. Кроме того, необходимость создания более комплексного подхода к интерпретации результатов проектирования стала поводом к формированию новой парадигмы, когда проектная документация из фиксированного и обязательного к исполнению решения превратилась в инструмент поддержки предпринимательского замысла.

Имитационное моделирование

В конце XX в. рост требований к проектируемым объектам транспортной инфраструктуры естественно способствовал все более углубленному анализу особенностей ее функционирования. В то же время методы статистического моделирования по сути оставались лишь весьма ограниченным расширением расчетно-аналитического подхода, учитывающего лишь наличие определенной вариатив-

ности и изменчивости параметров проектируемого объекта.

Кроме того, для получения адекватных результатов их использование требовало указания точных параметров распределений, применяемых в расчетах случайных величин, что в большинстве случаев сделать невозможно. Таким образом, использование методов Монте-Карло несло в себе некоторую субъективность и неопределенность, от которых принципиально невозможно было избавиться. Образно говоря, этот подход являлся «моделированием леса», в то время как практика требовала «моделирования деревьев», составляющих этот лес.

Поскольку проектирование заключается в создании еще не существующего объекта, но с заданными характеристиками, их можно было проанализировать только на моделях нового типа, учитывающих происходящие в проектируемом объекте технологические процессы в их взаимодействии.

Развитие математических методов анализа бизнес-процессов и появление новой объектно ориентированной технологии программирования привело к появлению и новой парадигмы анализа создаваемых объектов — имитационному моделированию [9, 10]. Оно заключается в отражении нужного числа внутренних элементов изучаемого объекта и формулировке законов их взаимодействия между собой. При этом какого-либо единого алгоритма работы всей систе-

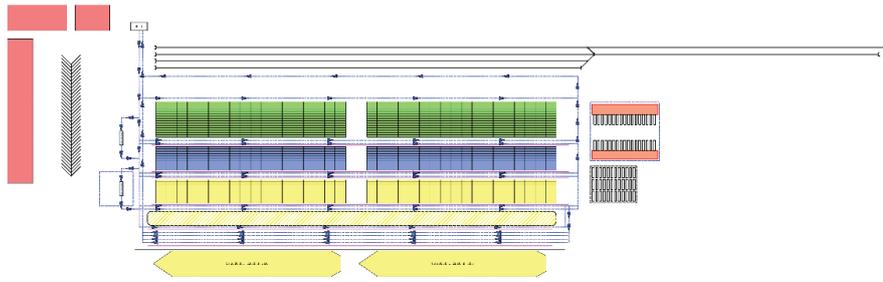


Рис. 4. План контейнерного терминала, сгенерированный компьютером

мы, составленной из этих элементов, не задается. Поведение системы (то есть изменение ее выходных параметров во времени) определяется совокупной реакцией взаимодействующих элементов на определенные входные воздействия.

В ходе имитационного эксперимента с моделью в течение определенного времени можно регистрировать динамику изменения того или иного выходного параметра, входящего в компоненты системного поведения (рис. 3).

Как видно из рис. 3, получаемые с помощью имитационного моделирования результаты по форме напоминают результаты вероятностях методов (см. рис. 1), однако их динамика определяется не случайными комбинациями меняющихся параметров, а внутренними причинно-следственными связями между происходящими в модели процессами. Тем не менее, статистический аппарат для получения характеристик оцениваемых величин остается тем же самым.

В этом отношении имитационное моделирование представлялось наиболее перспективным и мощным инструментом проектирования, способным вывести его на качественно новый уровень. К сожалению, несмотря на отдельные впечатляющие успехи, широкого распространения этот инструмент не получил. Основной причиной этому послужил тот факт, что моделирование методически является средством анализа, а не синтеза. С его помощью можно получить данные об одном конкретном объекте, которому адекватна данная модель. Вариативность параметров модели приводит к непредсказуемой вариативности ее поведения, что автоматически требует планирования и проведения массы модельных экспериментов. Сложность внутренней структуры и программной реализации модели делает эту задачу весьма трудоемкой и затратной.

Кроме того, сложность построения имитационной модели требовала обяза-

тельного установления ее адекватности, поскольку модель, адекватность которой по объекту не доказана, имеет нулевую гносеологическую ценность. Если два разработчика представят два варианта с разным поведением, какой из них следует выбрать для поддержки технологических решений проекта?

Имитационные модели, полезные и нужные при соблюдении многих разнородных условий и допущений, очевидно не могли создаваться самими проектировщиками из-за отсутствия должных компетенций. Привлечение сторонних исполнителей было и остается весьма затратным, в то время как заказчик в большинстве случаев не склонен нести дополнительные расходы на компоненты проекта с неясными преимуществами.

Еще одним барьером на пути внедрения имитационного моделирования становится многовариантность проектной процедуры. Имитационная модель создается ad hoc¹, и чем точнее она отражает свойства конкретного объекта, тем менее оказывается применима к другому.

Наконец, последним препятствием повсеместного внедрения имитационного моделирования было как минимум скептическое отношение к нему органов государственной экспертизы. Регламентов, которые бы устанавливали границы применения этого инструмента, в нормах технологического проектирования нет, а проявлять инновационный подход к проверке выполнения жестких требований норм контролирующие органы не хотели и не могли.

Развитие информационных технологий и искусственного интеллекта

При составлении технического задания исполнитель требует от заказчика точного и полного перечня значений множества исходных данных, касающихся физических и логистических ограничений, состава и характеристик флота

и сухопутных транспортных средств, параметров движения наземного транспорта, результатов геологических и гидрографических изысканий, структуры ожидаемого грузопотока и пр.

Между тем заказчик, как правило, имеет об этом лишь самое общее представление, если имеет его вообще. Решение, таким образом, принимает за него исполнитель, что в значительной мере предопределяет субъективность общего направления расчетов и возможные диапазоны значений ключевых параметров.

В то же время развитие и расширение внедрения информационных технологий принципиально предоставляет источники всех этих данных. Однако их объем, различная природа и многообразие способов представления в полной мере относит их к категории «больших данных». Для извлечения полезной составляющей из этого бесконечного информационного пространства требуется использовать соответствующие инновационные методы и технические средства.

Конечные результаты, получаемые в виде типовой процедуры технологического проектирования, в более-менее однозначном формате представляют все пространственные и технические характеристики отдельных компонентов, входящих в структуру проектируемого инфраструктурного объекта.

При этом сложность формы территории и акватории, выделенной под реализацию проекта, требует принятия весьма неформальных решений по их размещению, взаимной компоновке и привязке к реальной конфигурации. Результаты, полученные в теории искусственного интеллекта, позволяют сегодня не столько подменить человеческий интеллект в этой роли, сколько предложить человеко-машинный интерфейс системы поддержки принятия соответствующих решений.

Так, на рис. 4 представлен пример сгенерированного компьютером (по данным технического задания и в полном соответствии с действующими Нормами) плана контейнерного терминала.

На рис. 5 приведен пример соответствующей этому варианту трехмерной модели терминала, также сгенерированной компьютером.

На рис. 6 показан пример размещения штабелей полученного склада контейнерного терминала на территории непрямоугольной формы, предложенный компьютером.

¹ Ad hoc — «для данного случая» (лат).

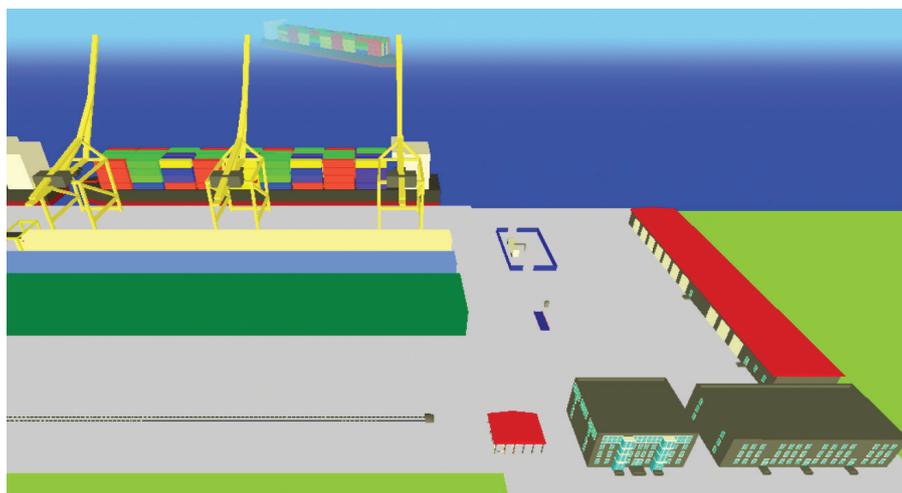


Рис. 5. Трехмерная модель контейнерного терминала



Рис. 6. Сгенерированный компьютером вариант конфигурации склада

Расширение возможностей компьютера в отношении генерации текстовой и графической информации позволяют в полностью автоматическом режиме выпускать пояснительные записки, планы компоновки, ситуационные планы, технологические разрезы операционных схем, таблицы состава оборудования, зданий и сооружений, архитектурно-планировочные решения и прочие обязательные составляющие проектной документации в форме, полностью соответствующей установленным требованиям. Все сказанное позволяет многократно снизить трудоемкость и время создания проектной документации, как минимум, на начальных этапах этой процедуры.

Выводы и рекомендации

1. Изменение норм технологического проектирования велось без учета научно-технического прогресса в части возможности использования математических инструментов и всеобщей автоматизации техники и оборудования, явившейся причиной ускорения всех технологических операций, а также современных тенденций в развитии

информационных технологий и искусственного интеллекта.

2. Наиболее перспективным подходом к модернизации общепринятых методов технологического проектирования является использование вероятностных методов расчета, а также построение имитационных моделей.

3. Использование имитационных моделей имеет свои сложности, в частности, отсутствие универсальности, необходимость большого перечня допущений, требующих согласования с заказчиком, длительность сроков построения.

4. В качестве системного решения описанных в исследовании проблем является внесение изменений в действующие технологические нормы проектирования, которые позволят распространить применение современных методов проектирования. ■

Источники

1. СП 350.1326000.2018. Нормы технологического проектирования морских портов. М.: Стандартинформ, 2018. 218 с.
2. РД 31.31.37-78 (ВНТП 01-78). Нормы технологического проектирова-

- ния морских портов (утв. Министерством морского флота 30.12.1977 и 25.10.1978). М.: Морфлот, 1980. 121 с.
3. Кузнецов А. Л., Сампиев А. М., Семенов А. Д., Кириченко А. В. Направление совершенствования норм технологического проектирования морских портов // Вестн. АГТУ. Сер. Морская техника и технология. 2022. № 2. С. 92–101. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-2-92-101>.
4. Сампиев А. М. Применение метода Монте-Карло для оценки эффективности использования бюджета рабочего времени морского терминала // Вестн. ГУМРФ. 2019. Т. 11, № 1. С. 68–77. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-68-77.
5. Валькова С. С. Методика оценки склада морского порта методами имитационного моделирования / Валькова С. С., Васильев Ю. И. // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2019. — № 3 — С. 485–498.
6. Щербакова-Слюсаренко В. Н. Разработка функциональной модели контейнерного терминала типа «Сухой порт» и принципов ее использования в технологическом проектировании / Щербакова-Слюсаренко В. Н., Погодин В. А., Ткаченко А. С. // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2017. — № 1 (41) — С. 48–60.
7. Fishman G. S. Monte Carlo: concepts, algorithms, and applications. Springer, 1996. 587 p.
8. Кузнецов А. Л., Кириченко А. В., Погодин В. А., Щербакова-Слюсаренко В. Н. Роль имитационного моделирования в технологическом проектировании и оценке параметров грузовых терминалов // Вестн. АГТУ. Сер. Морская техника и технология. 2017. № 2. С. 93–102. DOI: 10.24143/2073-1574-2017-2-93-102.
9. Кузнецов А. Л., Погодин В. А., Спасский Я. Б. Имитационное моделирование работы порта с учетом дифференцированных метеоусловий // Эксплуатация морского транспорта. 2011. № 1. С. 3–8.
10. Кузнецов А. Л., Кириченко А. В., Щербакова-Слюсаренко В. Н. Бенчмаркинговые показатели в технологическом проектировании контейнерных терминалов // Вестн. ГУМРФ. 2018. Т. 10, № 1. С. 7–19. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-7-19.