

## **СОВРЕМЕННОЕ ВАРИАНТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАК АКТУАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА В МЕТАЛЛОСТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Шушкевич В.И.**

*В статье рассмотрено современное состояние имитационного моделирования производства строительных металлических конструкций, области его применения и актуальные вопросы дальнейшего развития.*

### **Постановка проблемы в общем виде.**

В современных условиях многие предприятия во всех сферах экономики испытывают сильное давление со стороны конкурентов и растущих требований рынка. Это является одной из главных причин увеличения потребности в инструментах и методах, позволяющих, с одной стороны, оптимизировать параметры конструктивной формы изготавливаемого продукта (в рассматриваемом случае, - строительных металлоконструкций) еще на стадии проектирования, а с другой стороны, - оптимизировать технологические процессы его заводского изготовления с точки зрения количественного и качественного состава оборудования, его энергоемкости, а также с точки зрения совершенствования выбора маршрута движения детали и, в конечном итоге, себестоимости заводского изготовления. Однако, помимо метода требуется способ, инструмент для его реализации. Одним из таких способов является подход на основе имитационного моделирования производства металлических конструкций.

### **Формулировка целей статьи.**

1. Оценить эффективность современных универсальных программных сред имитационного моделирования производственных процессов для моделирования заводского изготовления строительных металлоконструкций.
2. Сформулировать и конкретизировать принципиальные особенности определения себестоимости технологической операции при имитационном моделировании производства строительных металлоконструкций.
3. Сформулировать актуальные направления научных исследований применительно к имитационному моделированию производства строительных металлических конструкций.

### **Анализ последних достижений и публикаций.**

Большинство современных методов оптимального проектирования в металлостроительстве ограничиваются анализом конструктивной формы по массе. В ряде случаев такой подход оказывается оправданным, поскольку доля стоимости металла в общей себестоимости металлоконструкций достаточно велика – до 60...70% [1] и для широкой номенклатуры традиционных строительных

металлоконструкций технологическая эффективность часто оказывается заложенной в основные формулы для проектирования.

Однако, в настоящее время, необходимость решения задач, связанных с удовлетворением потребности общества и государства в энергоносителях выдвигает перед учеными-металлостроителями вопросы, связанные с освоением Черноморского континентального шельфа, богатого углеводородами, - нефтью и газом. Для их добычи необходимы специфические металлические конструкции, - стационарные глубоководные морские платформы, основным элементом которых, - опорный блок, высотой до 100-120 метров и более, требует для своего изготовления миллионы гривен, что прямо указывает на необходимость анализа трудоемкости и себестоимости его изготовления еще на стадии проектирования.

Кроме того, анализ трудозатрат дает нам, помимо фактического значения себестоимости, представление о резервах экономии времени. Не случайно поэтому попытки рассчитать аналитически трудоемкость изготовления металлоконструкций предпринимались с самого начала формирования отечественной конструкторской школы. Ретроспективный взгляд на историю развития математического представления производства показывает, что оно есть отражение развития вычислительных средств моделирования. Прогресс в области этих средств привел к переходу от «алгебраических», аналоговых, статистических моделей производства к имитационным, когда технологические переходы, операции и процессы изготовления продукта, осуществляемые в моделируемой системе, воспроизводятся на ЭВМ в виде программ.

Под имитационной моделью производства строительных металлоконструкций следует понимать совокупность программных средств, воспроизводящих технологические процессы, операции, переходы, движения отдельных частей станка, имеющие место в действительности, на ЭВМ, причем, для каждой детали алгоритм формируется в зависимости от её конструктивных параметров [2]. Имитационная модель производства, таким образом, прежде всего, - информационная система, содержащая в себе информацию об основных принципах выбора технологического маршрута обработки деталей, параметрах технологического оборудования, режимах обработки и т.д. Такая модель помимо представления экономической информации: трудоемкости, себестоимости отдельных технологических операций способна выполнять информационно-консультационные функции, направленные на совершенствование конструктивной формы элемента. Используя в качестве входной информации только параметры конструктивной формы, имитационная модель позволяет проектировщику, оставаясь в рамках своих профессиональных категорий (не прибегая к написанию программных кодов) легко анализировать разнообразные, даже ранее не изготавливаемые элементы с высокой степенью достоверности и точности.

В 80-90-х годах при участии автора была разработана и внедрена имитационная модель производства элементов морских стационарных платформ применительно к технологической схеме и оборудованию Бакинского завода стационарных глубоководных оснований. Она положена в основу автоматизированной системы

нормирования трудоемкости и себестоимости заводского изготовления элементов глубоководных оснований, - «АСН-ШЕЛЬФ» [6,7].

За минувшие годы отечественное имитационное моделирование в металлостроительстве испытывало известные спады, связанные с переходными процессами в экономике постсоветского пространства, но в последнее десятилетие произошло именно то, что можно назвать ренессансом в отношении имитационного моделирования. Это в первую очередь связано со ставшей вполне реальной доступностью последних программных продуктов мирового уровня, реализующих имитационные модели. Более того сегодня можно говорить не просто о доступности, а скорее об активном продвижении на наш рынок этих продуктов. Если говорить о категории продуктов, ориентированных на, так называемое «цифровое» производство (*digital manufacturing, e-manufacturing*), то здесь фактически стандартом стало использование продукта компании *Systems Modeling Corporation*, известного под названием *ARENA 3.0*. В нем характерно наличие типовых рабочих мест, на которых в произвольных комбинациях используются персонал, обычные станки, автоматизированные обрабатывающие центры и промышленные роботы. В большинстве случаев такие модели поставляются как трехмерные анимационные, и в них почти с фотореалистической точностью воспроизводятся движения как рабочих органов типовых, существующих в архиве программы станков, так и самих обрабатываемых деталей [3].

Вторым программным продуктом, наглядно демонстрирующим, куда направлен вектор технического прогресса в области имитационного моделирования производства является, несомненно, продукт под названием *Tecnomatix Plant Simulation*. В нем модель строится на основе абстрактных стандартных объектов, либо объектов специализированных библиотек. Каждый объект обладает настраиваемым поведением и параметрами. По утверждению разработчиков возможной настройке объектов хватает для решения типовых задач без написания программного кода [4]. Этот продукт можно считать одним из самых удачных из всех пакетов, ориентированных на дискретно-событийное моделирование процессов. В одной только Германии с его помощью на профессиональном уровне созданы тысячи моделей – в частности, для автомобилестроительных заводов, выпускающих автомашины марок *Audi, BMW, Opel* и *Volkswagen*, на которых продукт *Plant Simulation* принят в качестве стандартного [5]. Несложно заметить два обстоятельства, которые в многом определяют перспективы развития имитационного моделирования в аспекте производства той или иной продукции. Во-первых, все вышеперечисленные компании являются высокосерийными производствами, что является фактором, во многом упрощающим имитационное моделирование технологических процессов. А во-вторых, только подобные предприятия, корпорации с мировыми брэндами, могут позволить себе профинансировать весьма значительные издержки, связанные с привязкой универсальных моделей к собственным бизнес-процессам.

Здесь уместна аналогия с известным универсальным продуктом – *Microsoft Project*. Одновременно с тем, что в силу своей универсальности данный продукт может быть приспособлен для эффективного управления бизнес-процессами многих

небольших и средних компаний, мы наблюдаем, что крупные корпорации все-таки идут на то, чтобы финансировать разработку собственных, весьма сложных и разветвленных внутрикорпоративных программ электронного менеджмента-управления (здесь хорошими примером могут служить компании Siemens и Nokia-Siemens Networks).

Учитывая вышесказанное следует констатировать, что применительно к производству строительных металлоконструкций, являющемуся мелкосерийным, рассмотренные выше пакеты обобщенных абстрактных имитационных моделей, ориентированные на массовое высокосерийное производство, могут иметь крайне ограниченное применение. Особенно в аспекте определения реальных затрат на производство тех или иных строительных металлоконструкций. И не только потому, что заложенные в них библиотеки оборудования в большинстве случаев не совпадают с оборудованием реальных заводов-металлоконструкций. Но еще и по той причине, что подходы к определению себестоимости технологической операции при многосерийном и мелкосерийном производстве неодинаковы.

### **Изложение основного материала.**

Для высокосерийного производства себестоимость технологической операции в большинстве случаев определяется по формуле:

$$C_i = C_m t_i / n_p \quad (1)$$

где  $C_m$  - себестоимость машино-часа работы технологического оборудования в  $i$ -й технологической операции;  $t_i$  - трудоемкость  $i$ -й технологической операции, определенная как результат имитационного моделирования, либо по нормативным документам, расчетным или фактическим данным;  $n_p$  - количество основных рабочих на  $i$ -й операции.

Подобный подход (1) традиционно использовался в машиностроении и содержал известную условность, которую на определенной ступени развития аналитического представления производства, а также при отсутствии надлежащих исследований, можно было считать правомерной. Ныне целесообразность использования ЭВМ оправдана лишь при освобождении от прежних условностей и повышения точности и достоверности расчёта. Условностью вышеприведенной формулы является отождествление основного машинного времени при выполнении технологической операции с общей продолжительностью технологической операции. В какой-то мере это справедливо для высокомеханизированного крупносерийного машиностроительного производства, где эти величины близки.

Исследования фактической структуры операционного времени при производстве металлоконструкций, являющегося единичным либо мелкосерийным, позволили выявить разительное отличие между основным машинным временем и общим временем (трудоемкостью) технологической операции. Это требует при аналитическом представлении себестоимости операции осуществлять перенос затрат, связанных со средствами труда, только во время их воздействия на предмет

труда для исключения неоправданного завышения себестоимости и, что более важно, для сохранения правильного соотношения удельных весов операций по переделу. Вышеуказанный перенос особенно актуален для газорезущего оборудования.

Учитывая вышеизложенное, технологическая себестоимость операции может быть представлена как:

$$C_i = [(1 - \alpha) C_{m.c.} t_i + C_m t_i] / n_p, \quad (2)$$

где  $C_{m.c.}$  - часовая тарифная ставка основных производственных рабочих;

$\alpha$  - доля основного машинного времени в общей трудоемкости операции.

Принципиальным в этой формуле является наличие коэффициента  $\alpha$ , количество же слагаемых может изменяться в зависимости от предпосылок и соотношения статей затрат, принятых при расчете себестоимости машино-часа.

Исследования, проводимые в течение ряда лет на заводах по производству металлических конструкций, позволили выявить фактические значения коэффициента  $\alpha$  как по отдельным ЗМК, так и усредненные по отрасли. Последние составляют для операций: гибки, правки, вальцовки, фрезеровки – 0,4; резки на гильотинных ножницах – 0,38; резки автогеном – 0,604; строжки кромок – 0,47; сверления отверстий – 0,44; сборки металлоконструкций – 0,67; сварки – 0,5.

Введение соответствующих коэффициентов  $\alpha$  расставляет правильные акценты удельных весов себестоимости операций и более точно характеризует технологические свойства конструктивной формы элемента, открывая тем самым более широкие возможности повышения индустриальности применяемых технических решений.

Какие же требования, в этой связи, выдвигает необходимость дифференцированного подхода к определению себестоимости технологической операции при имитационном моделировании? Это требование совершенно однозначно: чтобы поставить в соответствие точность расчета времени при выполнении каждого элемента технологической операции (которое может быть в настоящее время смоделировано анимационными средствами со стопроцентной точностью) и точность определения общей себестоимости операции необходимо осуществлять перенос затрат на эксплуатацию оборудования также поэлементно, при этом стоимость машино-часа работы оборудования должна быть также дифференцированной и соответствовать режиму работы оборудования на протяжении данного временного промежутка технологической операции.

Это самым прямым образом указывает на необходимость совершенствования методики расчета себестоимости машино-часа работы технологического оборудования по производству металлоконструкций до такой степени, чтобы она была «чувствительна» к различным режимам работы станка, а именно: холостой ход, включение различных групп электродвигателей и так далее.

## **Выводы.**

1. Программы имитационного моделирования производства строительных металлических конструкций в подавляющем большинстве случаев являются штучным продуктом, требующим проведения научных исследований применительно к каждому конкретному производству.
2. Абстрактная, обобщенная имитационная модель производства строительных металлоконструкций также имеет право на существование в случае её использования проектировщиками для оценки технологичности заводского изготовления при оптимизации или вариантном проектировании тех или иных конструктивных форм. То есть в тех случаях, когда структура общезаводских расходов не играет существенной роли для имитационной модели, используемой в качестве инструмента относительных оценок.
3. В этой связи применительно к имитационному моделированию производства строительных металлических конструкций представляются актуальными научные исследования в следующих направлениях:
  - разработка методик сбора информации на заводах металлоконструкций для наполнения информационных баз данных и библиотек оборудования пакетов программ имитационного моделирования;
  - разработка методик поддержания информационных баз данных программных продуктов, реализующих имитационные модели, в актуальном состоянии;
  - разработка методик дифференцированного и структурированного расчета себестоимости машино-часа работы основного и вспомогательного технологического оборудования по производству металлических конструкций;
  - разработка имитационных моделей для отдельных технологических операций (рабочих мест) по производству строительных металлических конструкций, из которых произвольным образом может формироваться необходимая технологическая цепочка (виртуальный завод) для оценки тех или иных конструктивных форм на стадии проектирования по критерию затрат на изготовление (или обобщенному критерию).

## ***Литература.***

1. Металлические конструкции. (Учебник для вузов). / Под общей ред. Е.И. Беленя. - М.: Стройиздат, 1976. – 600 с.
2. Шушкевич В.И. Имитационное моделирование производства морских стационарных платформ: концепции, возможности, целесообразность /

- В.И. Шушкевич // Украинское республиканское правление НТО Стройиндустрия. Четвертая Украинская республиканская научно-техническая конференция по металлическим конструкциям: «Развитие, совершенствование и реконструкция специальных сварных стальных конструкций зданий и сооружений». Октябрь, 1988. Симферополь, Черноморск. Тезисы докладов. – Киев, 1988. – Сборник 2. – С. 7- 8.
3. Маклаков С. Имитационное моделирование с ARENA / С.Маклаков // КомпьютерПресс. - 2001. – Выпуск 7. – С. 15 – 20.
  4. Медведев В.И. Имитационное моделирование систем и процессов в системе TECNOMATIX PLANT SIMULATION / В.И. Медведев // Средства автоматизации и визуализации имитационного моделирования. ИММОД. – 2009. Секция 2. – С. 289 – 292.
  5. Юсупов Р.М. Национальное общество имитационного моделирования России – начало пути / Р.М. Юсупов // CAD/CAM/CAE Observer. – 2012. – Выпуск 2. – С. 10 – 18.
  6. Ладыженский Д.В., Шушкевич В.И. Автоматизированная система нормирования трудоемкости и себестоимости заводского изготовления опорных блоков глубоководных морских платформ: АСН-ШЕЛЬФ / Д.В. Ладыженский, В.И. Шушкевич // Украинское республиканское правление НТО Стройиндустрия. Четвертая Украинская республиканская научно-техническая конференция по металлическим конструкциям: «Развитие, совершенствование и реконструкция специальных сварных стальных конструкций зданий и сооружений». Октябрь, 1988. Симферополь, Черноморск. Тезисы докладов. – Киев, 1988. – Сборник 2. – С. 7.
  7. Ладыженский Д.В., Шушкевич В.И. Разработка и внедрение автоматизированной системы «АСН-ШЕЛЬФ» / Д.В. Ладыженский, В.И. Шушкевич // Миннефтегазпром СССР, Крымское областное правление ВНТО «Стройиндустрия». Всесоюзная научно-техническая конференция: «Морские сооружения континентального шельфа». Ноябрь, 1989. – Севастополь. – Тезисы докладов. – С. 7.
  8. Шушкевич В.И. Развитие метода коэффициентов часовых затрат для расчета себестоимости заводского изготовления строительных металлоконструкций / В.И. Шушкевич // Госстрой СССР, Министерство высшего и среднего специального образования СССР. Всесоюзный семинар: «Индустриальные технические решения для реконструкции зданий и сооружений промышленных предприятий». Май, 1986. – Макеевка. – Тезисы докладов. – С. 109 – 111.
  9. Шушкевич В.И. Расчет себестоимости заводского изготовления строительных металлоконструкций на основе имитационных моделей производства / В.И. Шушкевич // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1987. – Выпуск 1. – С. 112 – 115.