

УДК 681.51

А. К. ГОЛОВНИЧ, кандидат технических наук; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ САПР

Представлены общие теоретические подходы к оценке экономической эффективности использования систем автоматизированного проектирования на транспорте.

Экономическая эффективность САПР связывается с сокращением времени процесса проектирования и повышением качества проектов. Практикой доказано, что система автоматизации окупается, если сроки проведения работ и выдачи проектно-конструкторской документации сокращаются не менее чем в 2 раза. Однако полный расчет эффективности внедрения САПР достаточно сложен и неоднозначен. Более того, некоторые исследователи считают, что с помощью существующих методик анализа экономической эффективности принципиально невозможно обосновать необходимость внедрения новых технологий и техники, так как любые надежные количественные расчеты могут быть основаны исключительно на статистике применения САПР [1].

В настоящее время отсутствуют законченные методики расчета экономической эффективности САПР. Транспортные системы автоматизации в большей степени основываются на опыте проектировщика как приоритетной базе процесса построения проектного решения, поэтому необходимо изучить содержательную основу экономического эффекта, построить адекватную модель влияния различных факторов, изменяющих состояние технической системы в позитивном направлении.

Изменение условий существования всей системы необратимо ведет за собой реконструкцию связей, возможно, их разрыв и образование новых, которые не могут работать в полную силу на первых порах функционирования обновленной системы. Ей надо определенное время на «отладку», своеобразный испытательный срок, проверку прочности новых связей.

Все отдельные работы по проектированию объекта связаны между собой невидимыми нитями единого технологического процесса, выверенного, отработанного, закрепленного нормативными документами. Любые изменения, имеющие целью повысить эффективность, самым непредсказуемым образом влияют прежде всего на этот «склеивающий» материал. Разрушаются невидимые связи между отдельными работами, требуется пересмотр существующих нормативов, ломается привычный

уклад труда проектировщиков, поэтому внедрение информационных технологий в практику проектирования сначала приводит к снижению эффективности работы системы (рисунок 1).



Рисунок 1 – График изменения производительности труда проектировщиков при внедрении САПР

Обучение и переподготовка специалистов часто становится критическим фактором, обуславливающим успех внедрения. Ведь только квалифицированный персонал способен добиться эффективной работы той или иной системы и получить от нее максимальную отдачу. Производительность труда проектировщиков снижается на этапе внедрения САПР (период t_0) до 40 %. Длительность этого этапа до устойчивой ремиссии производительности достигает 2–3 месяцев и более. Восстановление уровня эффективности механического проектирования происходит через 6–12 месяцев (период t_1).

Таким образом, процесс «вживления» новой технологии в устоявшиеся связи существующей системы оказывается затратным. Здесь уместна физическая аналогия со сложным механизмом, в котором заменяют некоторый узел на более эффективный. Несомненно, некоторое время такой агрегат будет работать с меньшей производительностью, пока не будут устранены все конфликтные точки во взаимодействии старых и новых элементов. Внедрение САПР – не менее болезненная процедура для достаточно протяженной экономи-

ческой и технологической системы транспортного строительства. В этот процесс оказываются вовлеченными не только многочисленные элементарные этапы деятельности различных проектных групп, но и косвенно – масштабы самой сети дорог.

Эффективность рассматривается как *потенциально достигаемое свойство* проектного процесса. Оно проявляется лишь при изменении других свойств системы: технологии исполнения отдельных операций, их трудоемкости, скорости выполнения и др. Одновременно эффективность определяет, насколько лучше (или хуже) стало качество проектирования по сравнению с предыдущим состоянием. Такая сравнительная характеристика указывает на направление прироста позитивных качеств. Сбалансированная техническая система способна поддерживать динамику положительного прироста этого свойства ($+Eff$). Если $\Delta Eff = f(t)$ близка к 0 или отрицательна, то это разрушающе действует на всю систему в целом. Eff является внутренним стимулятором активной деятельности технической системы, ее неотъемлемым свойством, указывающим на наличие оптимистических перспектив дальнейшего развития технической системы.

Эффективность можно рассматривать как свойство динамической системы, обеспечиваемой некоторым внешним воздействием. Это воздействие побуждает систему изменяться в направлении роста (или уменьшения) определенных параметров. Внешнее воздействие представляет собой реализованные мотивы внедрения САПР и должно быть достаточно выверенным, так как оказываемое им влияние на систему является по сути деструктивным, способствуя кардинальной перестройке внутреннего содержания. Внешнее воздействие как стимул, применяемый к техническим системам, носит быстротекущий характер, приводящий к видимым изменениям за непродолжительный период (см. рисунок 1 – период t_0). Сама же система, работающая в устойчивом, стабильном режиме, часто не способна активно воспринимать предлагаемые ей изменения в предписанный срок, поэтому необходимо соразмерять нагрузку на систему («тяжесть» изменений, их интенсивность) с возможностями самой системы по восприятию предлагаемых новых решений.

Следует иметь в виду, что для системы внешние стимулы (даже самые лучшие) являются негативным влиянием, так как они не порождены самой системой. Нормальной реакцией системы является отторжение попыток изменить ее структуру, воздействовать на процессы, происходящие по выверенному графику, согласованному по всем отдельным параметрам и взаимоувязанному со всеми событиями. За время своей жизни система выработала меры, противодействующие случай-

ным отклонениям от установленных нормативов. Более того, в арсенале системы имеются средства борьбы с такими отклонениями. Эти средства позволяют в минимальные сроки привести систему в первоначальный устойчивый режим, поэтому все стимулы по изменению состояния последней будут квалифицироваться как случайные флуктуации и при этом будет активизироваться механизм их нейтрализации.

Техническая система под действием внешних реакций претерпевает ряд внутренних изменений. С этих позиций можно рассмотреть аналог – движение шарика по сложной изменяющейся поверхности в неравновесной механической модели (рисунок 2) [2].

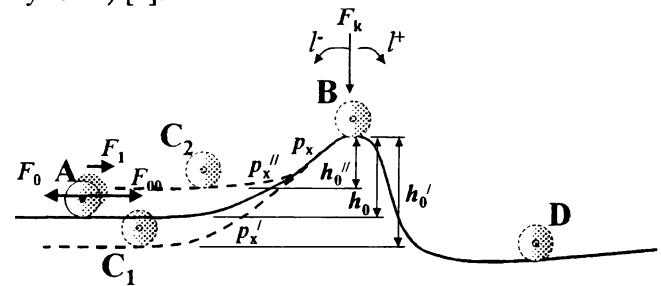


Рисунок 2 – Модель изменения состояний технической системы

Исходное стационарное состояние системы – это точка А модели. В результате влияния внешних воздействий позитивного и негативного характера в системе начинают осциллировать значения различных параметров (пропускной и перерабатывающей способности элементов, их надежности, загрузки и др.). Действие внешних сил F_{00} , оказывающих негативное воздействие на устойчивость системы, приводит к возникновению усилия, которое выводит систему из точки А в направлении действия этой силы. Благодаря ригидности свойств системы одновременно с ней возникает другая сила F_0 , которая выражает инерционность накопленных свойств устойчивого состояния. Равнодействующая этих сил $F_1 = F_0 + F_{00}$. Если $F_{00} > F_0$, то в системе начинают происходить определенные изменения на структурном уровне, а ее модель – шарик – начинает движение по определенной траектории накопления энтропийных характеристик. По мере выхода из равновесия и удаления от точки исходного положения А сила f_0 может нарастать. В данном случае проявляется прогрессирующее противодействие внешнему влиянию силы F_{00} . В модельном представлении этот процесс изображается как изменение поверхности перемещения системы и образование складки [2]. С изменением уклона модельной поверхности возрастают внутренние усилия системы, способствующие возврату системы в первоначальное устойчивое положение, соответствующее точке А. Многократное противодействие сил F_{00} и F_0 приводит к «раскачиванию» сис-

темы с последующим затуханием и возрастанием ригидных усилий F_0 . Достижение пикового положения складки (состояние В) характеризует предел сопротивляемости системы. Высота складки h_0 пропорциональна максимальному значению силы F_0 . Закон изменения $F_0(t)$ определяется длиной пути l_0 и его кривизной (профилем p_x).

Сценарий дальнейших событий может развиваться по двум альтернативам:

1) ригидный потенциал F_0 препятствует «скатыванию» системы в состояние D , и инерционная составляющая пытается вернуть систему в исходное равновесное состояние. Однако в результате появившихся изменений в структуре при многократном «раскачивании» системы между состояниями A и B она приобрела новые свойства, и это уже не та система, которая находилась в точке A . Нарушенный потенциал сопротивляемости F_0 приводит к тому, что даже после возврата к зоне устойчивых состояний система получит новое положение C_1 или C_2 с соответствующими профилями скатывания p_x' или p_x'' . Причем, более вероятно состояние C_2 , характеризующееся ослаблением силы сопротивления F_0 предыдущими внешними воздействиями. Положение C_2 усиливает позиции системы, увеличивая ее потенциал поддержания устойчивого состояния. «Соскальзывание» системы в зону равновесных (или околоравновесных) состояний по иному профилю приводит к формированию новой складки;

2) сила F_{00} оказывается больше F_0 , и система претерпевает катастрофические изменения, приводящие к резкому переходу в новое состояние D . Происходит скачок, сопровождаемый быстрой сменой переходных состояний, общее количество которых определяется длиной пути системы к новому устойчивому состоянию D на другом, противоположном уровне «послескладочной» жизни. От величины $F_{00} - F_0$ зависит длина «пробега» системы к точке D . Коренным отличием состояний C_i и D является то, что в C_i система не разрушается на структурном уровне. Все связи внутри отдельных модулей, слагающих систему, остаются в целости. Изменяется лишь прочность этих связей и их характер, появляются новые свойства. Инерционность, сопротивляемость системы приводят к тому, что прочность структуры оказывается сильнее действия внешних реактивных сил.

В точке D находится совершенно новая система, сформировавшаяся вместо предыдущей, от которой осталась только оболочка, и та через некоторое время изменится до неузнаваемости. Система проходит фазу структурной и функциональной перестройки. Состояние $F_0 = F_{00}$ является неустойчивым, и любое случайное воздействие F_k способно вывести систему из него. Если $F_0 + F_k > F_{00}$, то система движется из точки B к одной из точек C_i ;

если $F_0 < F_{00} + F_k$, то система перейдет к состоянию d . В зависимости от степени внешнего усилия система способна полностью восстановить свою первоначальную внутреннюю конфигурацию, обеспечить исходную форму с возможностью потери некоторых функций или перейти в качественно новое состояние.

Определять эффективность необходимо за некоторый расчетный интервал Δt . В противном случае результат работы всей системы можно неверно оценить, анализируя работу отдельных ее цепочек, так как на определенных этапах могут иметь место не позитивные, а затратные эффекты. При этом можно получить выигрыш в других звеньях, перекрывающих эти затраты. Анализ же затратного цикла приводит к неправильной оценке параметра Eff , поэтому следует принимать временной срез Δt равным времени выполнения всех операций, составляющих основу технической системы. Анализ должен быть подвержен полная, сквозная схема всего процесса проектирования.

Эффективность – сложная характеристика, которая является своеобразной лакмусовой бумажкой состояния технической системы. Чем выше $Eff(t)$, тем более устойчивой, целеустремленной, ригидной является система. Величина эффективности прямо указывает на высокую сопротивляемость системы негативным внешним факторам. Не будем забывать, что мы имеем дело с технической системой, фактор внешнего управления в которой занимает приоритетное место, поэтому следует инициировать такие изменения в системе, которые приводят к возрастанию Eff .

Управляющий фактор фиксирует позитивные изменения в системе, отражающиеся на эффективности проектного процесса, и закрепляет их определенными волевыми действиями. Реакция системы на такие внешние стимулы может быть позитивной или негативной. В последнем случае это повлечет за собой снижение свойства $+Eff$.

Однако процессу проектирования должна быть присуща и такая черта, как своеобразное чувство неустрашенности, постоянная жажда нового, лучшего, интересного, неизведанного. Мы награждаем техническую систему эпитетами, характеризующими деятельного человека. И это неспроста: ведь человек – определяющее звено всего процесса проектирования. Он является главенствующим в этом тандеме с техническими ресурсами, играющими вспомогательную, инструментальную роль.

Человек как социальное существо обладает противоречивыми качествами и привносит их в техническую систему, поэтому эффективность не является строго векторной характеристикой, линейно зависящей от объемов проектной работы с использованием САПР. В этом отношении следует отметить большую роль *коммуникативной эффективности*,

имеющей эмоциональную окраску. Степень взаимодействия проектировщика и программной среды влияет на качество процесса проектирования. Согласованная работа обоих коммуникантов неизменно способствует увеличению общего эффекта от внедрения САПР [3], поэтому следует в обязательном порядке на предприятии проводить предварительное консалтинговое обследование, которое включает в себя определение масштаба и конечных целей проекта по внедрению САПР. Такие работы позволяют в дальнейшем уменьшить негативные последствия коммуникативной эффективности (точнее «антиэффективности»).

САПР относится к технологиям, наиболее энергично и динамично изменяющим производство проектных работ, поэтому система до внедрения САПР и после его внедрения – это две различные структуры. Попытка определить эффективность САПР для новой системы носит весьма оценочный характер. Изначально методологически мы ориентируем все расчеты на получение одного результата – величины экономии средств и времени при переходе на новую технологию. Желательно ответить на вопрос: лучше или хуже будет предприятию от того, что оно обеспечит внедрение САПР? Но при этом пытаемся сравнить два различных предприятия. После внедрения САПР у одного и того же предприятия появляются новые рынки, большие деньги, более широкие возможности.

Новая система претерпела существенные изменения в технологии, управлении, маркетинге и не может прямо сопоставляться с первоначальной. Более того, эти системы существуют в различных временных отрезках. Пока функционирует первая (до внедрения САПР), вторая еще не возникла, а после внедрения САПР перестает существовать исходная система.

Поэтому эффект, рассчитываемый до внедрения САПР, носит исключительно оценочный характер. Его можно проверить и подтвердить (или скорректировать) только на этапе реального использова-

ния САПР. Таким образом, следует различать *ожидаемый и фактический эффекты*, которые определяются на основании исходных данных различной достоверности. Ожидаемый эффект, как правило, превышает фактический из-за сложности оценки влияния косвенных факторов, которые могут усилить негативные аспекты внедрения САПР. Более конкретные выводы можно получить только после проведения глубоких системных исследований с обобщением опыта использования систем автоматизации проектирования в других отраслях производства, оценкой роли различных факторов при внедрении САПР, влияния уровня организационной обеспеченности процесса подготовки и реализации плана перехода на информационные технологии в проектировании станций и узлов.

Таким образом, определение экономической эффективности САПР на транспорте в настоящее время сопряжено с большими трудностями по причине отсутствия надежных методик. Из семантики самого понятия «эффективность» следует необходимость различия экономической и коммуникативной эффективности. Первая определяет непосредственную результативность внедрения САПР, а вторая фиксирует влияние человеческого фактора. Обе составляющие эффективности формируют интегрированное свойство устойчивости системы при переходе на другую технологию работы. Для разработки методики расчета экономической эффективности САПР на транспорте необходимо проведение системных исследований с учетом специфики транспортной отрасли внедрения систем автоматизации проектирования.

Список литературы

- 1 *Грейсон-мл. Дж., О'Делл К.* Американский менеджмент на пороге XXI века. – М.: Экономика, 1991. – 340 с.
- 2 *Дж. М. Томпсон.* Неустойчивости и катастрофы в науке и технике. – М.: Мир, 1985. – С. 14 – 49.
- 3 *Головнич А.К.* Автоматизация проектирования железнодорожных станций. – Гомель: БелГУТ, 2001. – 202 с.

Получено 24.01.2003

A. K. Golovnich. Features of Account Economic Efficiency for CAD.

The common theoretical approaches to estimation of an economic efficiency usage of automated design engineering systems on the transport are represented.