

УДК 681.5

А. Н. Трусов, Е. И. Измайлова

МОДЕЛЬ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КИПС

Автоматизация научного и инженерного труда способствует интенсификации общественного производства и повышению его эффективности, ускорению темпов научно-технического прогресса.

При производстве изделий приходится решать сложный комплекс конструкторских, технологических и организационных задач.

Средства автоматизации применяются на всех этапах производства для решения многих административно-хозяйственных и технологических задач. Однако в настоящее время основной тенденцией в достижении высокой конкурентоспособности западных и российских предприятий является переход от отдельных замкнутых систем автоматизации и их частичного объединения к полной интеграции технической и организационной сфер производства. Такая интеграция связывается с внедрением компьютерно-интегрированной производственной системы (КИПС).

В настоящее время опыт предприятий, внедряющих КИПС, показал экономическую эффективность применения таких систем, но расширению их использования препятствует высокая стоимость рабочих мест. С другой стороны на предприятиях, эксплуатирующих отдельные системы автоматизации низкой стоимости, все более ощущается ограниченность их функциональных возможностей. Поэтому перед каждым машиностроительным предприятием рано или поздно возникает ряд проблем:

- какой объем средств нужно затратить для эффективной автоматизации имеющегося комплекса конструкторско-технологических;
- какие модули и в какой последовательности рационально приобретать и внедрять;
- как экономически определить эффект (или убытки) при различных вариантах автоматизации производства;
- какая реорганизация служб производства потребуется в связи с внедрением информационных технологий.

Очевидно, целью автоматизации производства является увеличение количества и качества проектируемых технологических процессов (ТП), а также сокращение сроков проектирования и количества инженеров. Таким образом, в конечном счете, целью автоматизации является получение экономического эффекта по сравнению с неавтоматизированным производством.

При определении ожидаемого эффекта от внедрения систем автоматизации необходимо рассмотреть следующие вопросы.

- 1) Анализ затрат и потерь существующего производства.
- 2) Анализ затрат и экономии от внедрения

систем автоматизации.

В настоящее время практически отсутствуют соответствующие научно-методические разработки, которые позволили бы определить эффект от внедрения как отдельных систем, так и КИПС в целом.

В сфере автоматизации собственно производства материальных потоков в качестве научно-методической основы решения практических задач широко применяется теория производительности машин и труда (ТПМ), основы которой разработал Г.А.Шаумян в 1932-33 гг.

Представляется целесообразным для обеспечения научно-методического единства применить основные идеи и математический аппарат этой теории и к сфере конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) (соответственно с учетом специфики этой сферы). Это позволит не только подсчитать экономическую эффективность КИПС, но и проанализировать различные возможные варианты средств автоматизации, выбирать такие системы автоматизированного проектирования, которые являются оптимальными и обеспечивают максимальную производительность или наибольший экономический эффект в данных производственных условиях.

На этапе анализа затрат существующего производства рассматриваются показатели, определяющие себестоимость продукции и производительность обработки.

Исходя из теории производительности, себестоимость базового варианта характеризуется следующими параметрами:

K – стоимость оборудования (кульманы, столы и пр.);

3 – годовой фонд зарплаты (зарплата инженерно-технических рабочих);

m – годовые эксплуатационные затраты (расходные материалы, электроэнергия и пр.);

Q_0 – объем разработанной конструкторско-технологической документации за год.

Амортизационные отчисления на восстановление стоимости и ремонт (капитальный и средний) рассчитывают как процент от капитальной стоимости оборудования $K\alpha_1$, где α_1 – нормативный коэффициент амортизационных отчислений.

Затраты на текущий ремонт и межремонтное обслуживание принимаются также пропорциональными ожидаемой стоимости K в размере $K\alpha_2$.

Тогда себестоимость объема разработанной конструкторско-технологической документации за год по базовому варианту:

$$C_1 = K(\alpha_1 + \alpha_2) + m + 3. \quad (1)$$

Так как ручная разработка конструкторско-технологической документации, как правило, не связана со значительными капиталовложениями, то их можно принять равными нулю. Тогда формула себестоимости по базовому варианту будет выглядеть следующим образом:

$$C_1 = m + 3 \quad (2)$$

Характеристики проектного варианта должны обеспечивать гарантированный экономический эффект. Поэтому будем использовать вариационные показатели, которые являются управляемыми:

φ – рост производительности средств производства;

ε – коэффициент сокращения затрат живого труда;

σ – коэффициент изменения стоимости средств труда;

δ – коэффициент изменения эксплуатационных затрат на единицу продукции.

Тогда по проектному варианту:

$K\sigma$ – стоимость оборудования (стоимость вычислительной техники и CAD/CAM/CAE систем);

$3/\varepsilon$ – фонд зарплаты (зарплата инженерно-технических рабочих и программистов);

$Q\varphi$ – объем разработанной конструкторско-технологической документации за год;

$m\delta\varphi$ – годовые эксплуатационные затраты;

α_3 – коэффициент, учитывающий затраты на продление лицензий и обновление программного обеспечения;

Себестоимость годового выпуска по проектному варианту:

$$C_2 = K\sigma(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) + m\delta\varphi + 3/\varepsilon \quad (3)$$

Если не нужно изменять объем разрабатываемой конструкторско-технологической документации (то есть $\varphi = 1$), то экономический эффект можно рассматривать не по минимуму приведенных затрат, а по себестоимости.

Тогда годовой экономический эффект будет рассчитывать по формуле:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= C_1 - C_2 = m + 3 - \left((\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)K\sigma + \right. \\ &\quad \left. + m\delta\varphi + 3/\varepsilon \right) = \\ &= m(1 - \delta\varphi) + 3(1 - 1/\varepsilon) - (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)K\sigma \end{aligned} \quad (4)$$

Однако для достоверного анализа затрат и экономии от внедрения КИПС должны быть учтены как количественные, так и качественные показатели, а именно:

- показатели прямой экономии, имеющие количественный характер;

- показатели косвенной экономии, сочетающие как количественные, так и качественные оценки.

Для определения этих показателей нужно учесть ошибки, возникающие в ходе проектирования и затраты на их исправления. По данным

аналитической компании Gardner Group стоимость исправления одной-единственной ошибки на различных стадиях подготовки производства:

Концептуальное проектирование	\$1
Конструкторская проработка изделия	\$10
Изготовление макета изделия	\$100
Проектирование технологич. оснастки	\$1,000
Изготовление оснастки	\$10,000
Выпуск установочной серии	\$100,000
Серийное производство	\$1,000,000

Следовательно, для определения экономического эффекта нужно добавить показатель, который будет учитывать затраты на исправление ошибок для ручного проектирования (K_{o1}) и проектирования с применением КИПС (K_{o2})

Тогда:

$$C_1 = m + 3 + K_{o1}; \quad (5)$$

$$C_2 = K\sigma(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) + m\delta\varphi + 3/\varepsilon + K_{o2}; \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= C_1 - C_2 = m + 3 + K_{o1} - \\ &- ((\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)K\sigma + m\delta\varphi + 3/\varepsilon + K_{o2}) = \\ &= m(1 - \delta\varphi) + 3(1 - 1/\varepsilon) - \\ &- (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)K\sigma + (K_{o1} - K_{o2}) \end{aligned} \quad (7)$$

Затраты на исправление ошибок складываются из затрат на исправление одной ошибки T_o (зависящие от этапа, где обнаружена ошибка), количества ошибок N и числа этапов КИПС L .

$$K_o = \sum_{i=1}^L T_o N \quad (8)$$

Как уже было сказано, затраты на исправление ошибки зависят от этапа, на котором была допущена эта ошибка. Опыт показывает, что автоматизация инженерного труда способствует уменьшению общего числа ошибочных решений и, главное, обнаружению этих ошибок на более ранних стадиях КИПС. Это ведет к тому, что затраты на исправление всех ошибок K_o будут уменьшаться по мере автоматизации производства (рис. 1).

Здесь видно, что без учета затрат на исправление ошибок себестоимость изготовления в условиях неавтоматизированного производства (кривая 1, затраты на КТПП рассчитаны по (2)) может быть ниже себестоимости изготовления с использованием КИПС (кривая 2, (3)), так как затраты на приобретение и обслуживание средств КИПС значио больше затрат неавтоматизированного производства. То есть экономический эффект может оказаться отрицательным. Однако если ввести учет затрат на исправление ошибок, то картина резко меняется. Себестоимость неавтоматизированного производства (кривая 3, формула 5) резко увеличивается, а себестоимость производства с использованием КИПС (кривая 4, формула 6) за счет уменьшения ошибок, обнаруженных на последних этапах производства, растет значительно меньше.

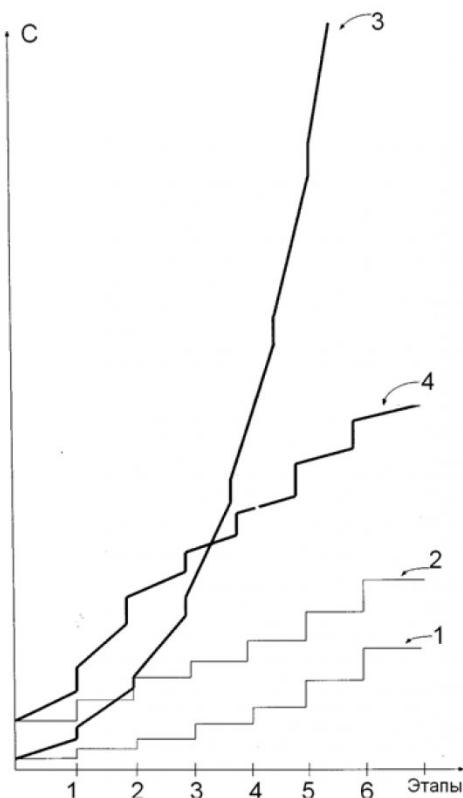


Рис. 1. Зависимость себестоимости изготовления продукции от количества автоматизируемых этапов производственного цикла
Этапы: 1 – концептуальное проектирование;
2 – конструкторская проработка изделия; 3 – изготовление макета изделия;
4 – проектирование технологической оснастки; 5 – изготовление оснастки; 6 – выпуск установочной серии; 7 – серийное производство

Полученная модель (7) может быть использована, в первую очередь, для расчета технико-экономических допусков, то есть значений технических характеристик используемого компьютерного оборудования и программного обеспечения, исходя из гарантированного эффекта при внедрении.

Так как объем разрабатываемой конструкторско-технологической документации не планирует-

ся изменять ($\varphi = 1$), то изменяемыми параметрами, подлежащими расчету, остаются параметры σ , δ , ε . То есть представляется возможным определить допустимое значение σ (максимальную стоимость оборудования и программного обеспечения), ε (уровень автоматизации инженерного труда) и δ (эксплуатационные издержки), которые обеспечивают заданный экономический эффект.

Так же эта модель может быть использована для определения экономически оптимальных вариантов автоматизации конструкторско-технологической подготовки, то есть комплексной оптимизации проектных решений.

Если возможно увеличение объема конструкторско-технологической документации ($\varphi > 1$), то модель экономического эффекта трансформируется. В этом случае для определения эффективности нужно сравнивать оба варианта по минимуму приведенных затрат.

$$C_n = KE_H + C, \quad (9)$$

где E_H – коэффициент эффективности капитальных вложений.

Тогда

$$C_{n1} = \varphi(K_1(E_H + \alpha_1 + \alpha_2) + m + 3 + K_{o1}) \quad (10)$$

$$C_{n2} = K_2\sigma(E_H + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) + m\delta\varphi + 3/\varepsilon + K_{o2} \quad (11)$$

Годовой экономический эффект будет выражен разницей (10) и (11):

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = & (K_1 - K_2)(\varphi - \sigma)(E_H + \alpha_1 + \alpha_2) - \\ & -(K_1 - K_2)\sigma\alpha_3 + m\varphi(1 - \delta) + \\ & + 3(\varphi - 1/\varepsilon) + (K_{o1} - K_{o2}) \end{aligned} \quad (12)$$

Данная модель позволяет более полно учесть все преимущества автоматизации КИПС, но из-за значительно большей размерности вариантов проектных решений требует разработки методик ее использования для решения конкретных производственных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волчевич Л. И. Автоматизация производственных процессов: учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 2005.
2. Трусов А. Н. Автоматизация технологических процессов и производств: учеб. пособие; ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2009. – 196 с.
3. Смирягин С. К вопросу о построении пирамиды в условиях виртуального пространства // САПР и Графика, 1998. – № 5. – С. 40-42.

□ Авторы статьи:

Трусов

Александр Николаевич
– канд. техн. наук, доцент каф. «Информационные и автоматизированные производственные системы» КузГТУ.
Тел. 8(3842)39-63-24

Измайлова

Елена Ивановна
– ст. преп. каф. «Информационные и автоматизированные производственные системы» КузГТУ. Тел. 8(3842)36-30-88
Email: iei.75@mail.ru.