

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИНЖЕНЕРНОГО ТРУДА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ CALS-СИСТЕМ

НИЦ АСК, Москва, e-mail: zlygarev@nicask.ru
«МАТИ» – РГТУ им. К.Э. Циолковского, Москва
Злыгарев В.А., д.т.н. Юрин В.Н.

Ускорение выпуска новых изделий – один из основных стимулов развития и использования систем электронной информационной поддержки процессов жизненного цикла изделий – э-ИПИ (CALS) – систем. Внедрение средств э-ИПИ сводится к реализации сложных дорогостоящих человеко-машинных систем. Для обеспечения их эффективности нужна научно-обоснованная траектория их внедрения, обеспечивающая диалектическое их развитие на предприятии с учетом места, времени и обстоятельств. Такая траектория может быть выстроена в виде постепенно наращиваемой последовательности средств э-ИПИ на основе анализа производительности операций инженерного труда. В то же время построение э-ИПИ-систем ведется в отечественной практике прежде всего на основе «здорового» смысла и зарубежного опыта, получаемого из открытых публикаций. Ясно, что «здоровый» смысл является явно недостаточным основанием для принятия эффективных решений при внедрении таких дорогостоящих систем, каковыми являются э-ИПИ-системы. Что касается западного опыта, то отметим, что он доступен лишь в качестве конечного результата, а не методов его получения. Причем результата, полученного в своих, подчас не до конца известных условиях. Между тем отечественные условия реализации э-ИПИ – технологий существенно отличаются от развитых стран Запада [1], [2].

В первом приближении операцию инженерного труда (труда, выполняемого на одном рабочем месте) структурно можно представить (см. рис. 1) в виде совокупности следующих обобщенных действий (переходов операции): **З** – уточнение задания на разработку, **ОР** – оценка результата предыдущего перехода (действия, полученного задания и т.п.), **ИО** – информационный обмен (запрос и ввод (получение) информации), **ГИ** – генерирование собственной информации (получение вариантов решений, их идей, справочной информации, исходных данных и т.п.), **ОПР** – обоснование принятия решения (умозаключения, расчеты, решения советов, руководителей и т.п.), **ОД** – оформление документации, **УД** – утверждение документации, **ПД** – передача документации. Поскольку число итераций, связанных с информационным обменом, оценкой результатов предыдущих переходов заранее неизвестно и в общем случае является величиной случайной, рис. 1 отражает именно структуру операции инженерного труда, а не последовательность ее осуществления.

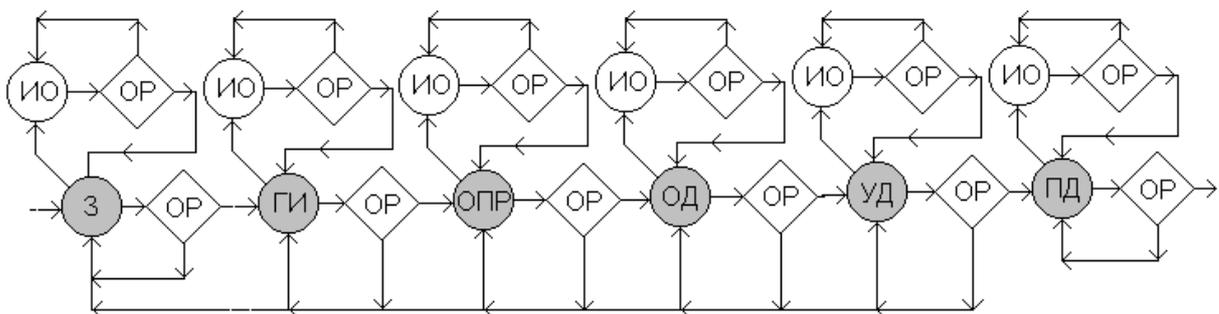


Рис. 1. Структура операции инженерного труда

С учетом особенностей мышления человека (работа подсознания, моторной памяти и т.п.) фактически переходы операции рис. 1 выполняются в некоторой степени параллельно. И многие итерации при выполнении рассматриваемой операции связаны именно с таким параллелизмом: при выполнении одного перехода возникают идеи относительно других пере-

ходов. В этих случаях идеи, касающиеся предыдущих (относительно рассматриваемого) переходов, приводят к итерациям, тогда как идеи, касающиеся последующих переходов, используются большей частью во время их выполнения. При некотором уровне автоматизации инженерного труда ряд переходов выполняется параллельно.

Как видно из анализа рис.1, каждый из основных переходов операции – **З, ГИ, ОПР, ОД, УД, ПД** (на рис. 1 выделены цветом), где собственно выполняется «создание» результата инженерного труда, сопровождается вспомогательными (но необходимыми) переходами – **ИО, ОР**. Так что рассматриваемую операцию инженерного труда для расчета ее длительности (и производительности труда) можно представить в виде расчетной схемы рис. 2, где N – совокупность указанных выше основных переходов операции.

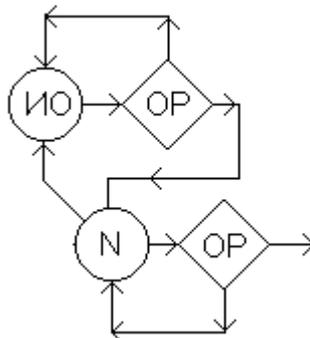


Рис. 2. Расчетная схема операции инженерного труда

По аналогии с анализом производительности машин [3] при инженерном труде будем различать два основных состояния: бесперебойной работы с получением на каждом переходе инженерного результата и простоев.

При бесперебойной работе следует различать следующие виды затрат времени:

1. рабочее время на решение непосредственно инженерной задачи при выполнении основных переходов N (**З, ГИ, ОПР, ОД, УД, ПД**) в соответствии с их функциональным назначением – длительностью t_N и время на контроль (оценку результата) перехода – длительностью $T_{ОР}^N$: $t_p = t_N + T_{ОР}^N$;
2. вспомогательное время (подготавливающее условия для решения инженерной задачи), несовмещенное со временем решения инженерной задачи, – время информационного обмена при выполнении переходов – цикловые потери длительностью $t_{всп} = T_{ИО}^N$;

Следовательно, общее время бесперебойной работы T :

$$T = t_p + t_{всп} = t_N + T_{ОР}^N + T_{ИО}^N$$

К простоям, оцениваемым как сумма $\sum t_{ном}$, относятся внецикловые потери (по аналогии с работой [3]):

- «Собственные» простои, обусловленные «внутренними» причинами, – время обнаружения, устранения и предупреждения отказов аппаратурного, программного и информационного обеспечения, обнаруженные ошибки предыдущей работы данного исполнителя – длительностью $t_{собств}$.
- Организационно-технические простои, обусловленные «внешними» причинами, – длительностью $t_{орг-тех}$; к ним относятся задержка предоставления исходных данных от других исполнителей, несвоевременный приход и уход, обнаруженные ошибки предыдущей работы исполнителей и т.д.; а также простои для переналадки; к ним относятся, в ча-

стности, вызов программного и информационного обеспечения при переналадке, установка нового программного и информационного обеспечения, отладка его с решением пробных задач и т.п.

Тогда фактическая производительность труда $Q_\phi : Q_\phi = \frac{1}{t_p + t_{всн} + \sum t_{ном}}$

Для определения эффективности использования того или иного пути повышения производительности воспользуемся коэффициентом роста производительности $\varphi = Q_H / Q_O$,

определяемым как отношение производительности нового $Q_H = \frac{1}{t_p / \beta_p + t_{всн} / \beta_{всн} + \sum t_{ном} / \beta_{ном}}$ и базового $Q_O = \frac{1}{t_p + t_{всн} + \sum t_{ном}}$ вариантов операции инженерно-

го труда, так что $\varphi = \frac{Q_H}{Q_O} = \frac{1 + K_1 + K_2}{\frac{1}{\beta_p} + \frac{K_1}{\beta_{всн}} + \frac{K_2}{\beta_{ном}}}$,

где комплексы $K_1 = \frac{t_{всн}}{t_p}$, $K_2 = \frac{\sum t_{ном}}{t_p}$ характеризуют базовый вариант;

β_p , $\beta_{всн}$, $\beta_{ном}$ – коэффициенты сокращения составляющих времени t_p , $t_{всн}$, $\sum t_{ном}$ соответственно.

В таблице представлены формулы для расчета коэффициента φ при различных изменяемых факторах – составляющих времени операции инженерного труда t_p , $t_{всн}$, $\sum t_{ном}$.

№	Изменяемый фактор	Формула для расчета	Значение φ при $\beta \rightarrow \infty$
1	t_p	$\varphi(\beta_p) = \frac{1 + K_1 + K_2}{\frac{1}{\beta_p} + K_1 + K_2}$	$\varphi(\beta_p) = \frac{1 + K_1 + K_2}{K_1 + K_2}$
2	$t_{всн}$	$\varphi(\beta_{всн}) = \frac{1 + K_1 + K_2}{1 + \frac{K_1}{\beta_{всн}} + K_2}$	$\varphi(\beta_{всн}) = \frac{1 + K_1 + K_2}{1 + K_2}$
3	$\sum t_{ном}$	$\varphi(\beta_{ном}) = \frac{1 + K_1 + K_2}{1 + K_1 + \frac{K_2}{\beta_{ном}}}$	$\varphi(\beta_{ном}) = \frac{1 + K_1 + K_2}{1 + K_1}$
4	$t_p, t_{всн}$	$\varphi(\beta_p, \beta_{всн}) = \frac{1 + K_1 + K_2}{\frac{1}{\beta_p} + \frac{K_1}{\beta_{всн}} + K_2}$	$\varphi(\beta_p, \beta_{всн}) = \frac{1 + K_1 + K_2}{K_2}$

5	$t_p, \sum t_{nom}$	$\varphi(\beta_p, \beta_{nom}) = \frac{1 + K_1 + K_2}{\frac{1}{\beta_p} + K_1 + \frac{K_2}{\beta_{nom}}}$	$\varphi(\beta_p, \beta_{nom}) = \frac{1 + K_1 + K_2}{K_1}$
6	$t_{всн}, \sum t_{nom}$	$\varphi(\beta_{всн}, \beta_{nom}) = \frac{1 + K_1 + K_2}{1 + \frac{K_1}{\beta_{всн}} + \frac{K_2}{\beta_{nom}}}$	$\varphi(\beta_{всн}, \beta_{nom}) = 1 + K_1 + K_2$
7	$t_p, t_{всн}, \sum t_{nom}$	$\varphi(\beta_p, \beta_{всн}, \beta_{nom}) = \frac{1 + K_1 + K_2}{\frac{1}{\beta_p} + \frac{K_1}{\beta_{всн}} + \frac{K_2}{\beta_{nom}}}$	∞

Полученные формулы позволяют сравнивать разные варианты траектории внедрения средств э-ИПИ – технологий подбором таких сочетаний механизмов реализации процессов жизненного цикла изделий, которые обеспечивают наибольшее повышение производительности инженерного труда с учетом конкретных условий и обстоятельств, включая финансовый, технический и кадровый потенциал предприятия, стоимость реализации и т.д.

На основе анализа отечественного и зарубежного опыта в НИЦ АСК разработана концепция проектирования, подготовки производства и изготовления авиационных изделий на принципах электронной информационной поддержки процессов их жизненного цикла [2], где определены цели, задачи и совокупности механизмов реализации процессов упомянутых стадий жизненного цикла изделий, определяющие направления, характер и порядок проведения работ. Всего выявлено 93 механизма, в том числе 20 общих, обеспечивающих системность принимаемых решений, и 73 частных, касающихся отдельных задач. Эти частные механизмы распределены между задачами, решаемыми при использовании э-ИПИ – технологий, следующим образом:

- Разработка и освоение новых методов проектирования, подготовки производства и изготовления продукции 30
- Реорганизация бизнес-процессов..... 6
- Формирование и использование единого информационного пространства предприятия (корпорации) 17
- Модернизация организационно-технической (производственной) среды предприятия (корпорации) 3
- Развитие нормативно-технической базы, определяющей правила разработки и использования электронных описаний изделия, технологий и оснащения для их производства..... 11
- Реализация условий для подготовки и переподготовки инженерно-технических и управленческих кадров, способных решать свои профессиональные задачи с использованием электронных технологий..... 6

Подробный анализ каждого из упомянутых механизмов, в том числе с точки зрения их влияния на составляющие времени $t_p, t_{всн}, \sum t_{nom}$ операции инженерного труда, еще предстоит. Однако уже сегодня ясно, что для современного производства (как базового варианта расчета) наиболее реально соотношение $K_1 \gg K_2$. В качестве примера на рис. 3 представлено сравнение роста производительности инженерного труда φ при кратном (в

$\beta_p = \beta_{всн} = \beta_{nom} = \beta$ раз) снижении составляющих времени $t_p, t_{всн}, \sum t_{nom}$ для случаев $K_1 = 5, K_2 = 0,05$ и $K_1 = 50, K_2 = 0,05$ по формулам, приведенным выше в таб-

лице. Заметим, что в общем случае величины β практически могут быть разными для различных составляющих времени $t_p, t_{всн}, \sum t_{nom} : \beta_p \neq \beta_{всн} \neq \beta_{nom}$.

По результатам подобного моделирования в целом можно утверждать, что при соотношении $K_1 \gg K_2$ наиболее эффективно сокращение не рабочего времени операции t_p , а вспомогательного $t_{всн}$ (в порядке увеличения роста производительности): варианты 7, 4, 2, 6 (см. рис. 3). Наиболее близок к лучшему (7 варианту) случай 4, связанный с одновременным сокращением $t_{всн}, t_p$ – цикловых потерь и рабочего времени. Зависимость ϕ от сокращения внецикловых потерь β_{nom} (при соотношении $K_1 \gg K_2$) крайне незначительна из-за малости K_2 , т.е. основную роль играет сокращение вспомогательного времени $t_{всн}$. При одновременном сокращении всех составляющих времени производительность предела не имеет (см. формулу (7) таблицы).

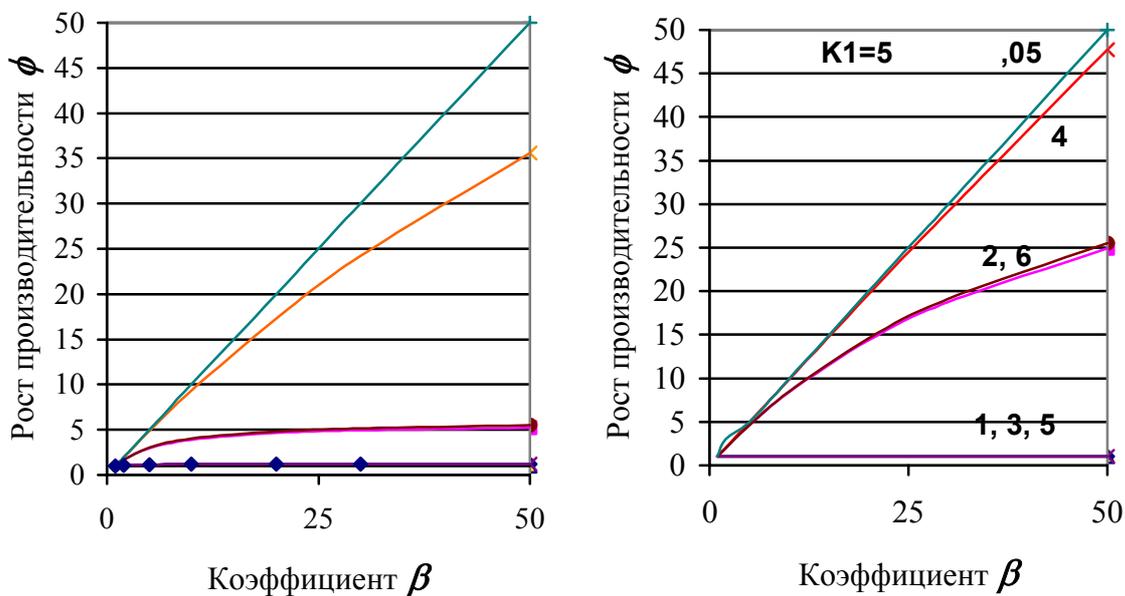


Рис. 3. Примеры результатов расчета роста производительности труда ϕ .
(Номера кривых (1 – 7) соответствуют формулам в соответствующих строках таблицы)

Рассмотренная методика анализа производительности операций инженерного труда является инструментом выбора последовательности технических решений, необходимых для экономически обоснованного перехода к использованию э-ИПИ – технологий.

Литература:

1. Злыгарев В.А., Юрин В.Н. К разработке корпоративной информационной среды, реализуемой на основе электронных технологий. // Информационные технологии в проектировании и производстве, 2002, № 1. – С. 11-16.
2. Злыгарев В.А., Юрин В.Н. Концепция проектирования, подготовки производства и изготовления авиационных изделий на принципах электронной информационной поддержки процессов их жизненного цикла. – М.: НИЦ АСК, 2002. – 32 с.
3. Шаумян Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов. – М.: Машиностроение, 1973. – 640 с.