

## Оценка фактора времени в технических системах на примере изготовления изделий тяжелого и атомного машиностроения

*П.Д. Кравченко, Ю.П. Косонова*

*Волгодонский инженерно-технический институт –  
филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»*

**Аннотация:** В данной работе проведена оценка времени изготовления изделий атомной отрасли в зависимости от сложности технологических операций, времени обоснования выбора варианта изготовления, выполнения обязательных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Фактор времени, как элемент системы технического прогресса представлен на практическом примере замены тяжелого металлообрабатывающего оборудования на мобильные малогабаритные блоки.

**Ключевые слова:** оценка фактора времени, обечайка, парогенератор, роlikоопорные стенды.

Любой технологический процесс изготовления объекта можно представить в теоретическом плане в виде математических формул. Поскольку параметров при изготовлении объектов тяжелого машиностроения практически неограниченное множество, ограничимся рассмотрением фактора времени, обращая внимание на изделия атомного машиностроения. Специализированные отрасли машиностроения – судовое, авиационное, военное, космическое – имеют свои особенности, учет которых при оценке фактора времени требует рассмотрения и анализа множества элементов, из которых часть относится к государственной тайне, а часть – к изобретательским и “know-how” решениям.

Традиционно для изготовления изделий тяжелого машиностроения (весом в десятки, сотни и тысячи тонн) в горной, подъемно-транспортной, транспортной и атомной отраслях строятся производственные здания и сооружения, обеспечивающие надежность, безопасность и требуемое качество технологического процесса изготовления, а впоследствии, и самого изделия при его использовании [1-3].

Время при проектировании и строительстве сооружений в данной статье не рассматривается, но косвенно учитывается при общей оценке фактора времени в отрасли атомного машиностроения [4, 5].

Формализуем задачу с помощью математики [6, 7]. Формула (1) представляет зависимость фактора времени от основных составляющих технологического процесса изготовления объекта

$$T_i = f(M, N_T, C), \quad (1)$$

где  $T_i$  – время изготовления объекта для использования в технических системах (ТС);  $M$  – материалоемкость объекта;  $N_T$  – количество технологических операций при изготовлении объекта;  $C$  – сложность технологических операций при изготовлении объекта.

Формула (1) представляет изменение фактора времени только в технологическом процессе изготовления объекта.

Рассмотрим изменение фактора времени в зависимости от материалоемкости объекта, как представлено в формуле 2:

$$M = f(m_{ст}, m_{сп}, m_{пл}, m_T), \quad (2)$$

где  $M$  – время обоснования выбора варианта;  $m_{ст}$  – масса стали (чугуна) в объекте;  $m_{сп}$  – масса цветных металлов и сплавов;  $m_{пл}$  – масса композитных и других материалов;  $m_T$  – масса горюче-смазочных материалов.

Формула (2) представляет зависимость фактора времени от массы используемых в объекте всех материалов.

Фактор времени в зависимости от количества технологических операций определяется по формуле 3:

$$N_T = f(n_{п}, n_T, n_{ф}, n_c), \quad (3)$$

где  $N_T$  – время обоснования правильного выбора оптимальной системы операций;  $n_{п}$  – количество операций с изменением первоначального переменного состояния формы изделия (плавление);  $n_T$  – количество операций под влиянием изменения температуры без изменения формы изделия (термообработка);  $n_{ф}$  – количество операций с изменением формы изделия (механическая обработка резанием, штамповка, ковка, прокат);  $n_c$  – количество операций проверки результатов технологического процесса (контроль).

Фактор времени, зависящий от сложности технологической операции, определяется по формуле (4):

$$C = f(C_0, n_{co}, n_{но}), \quad (4)$$

где  $C$  – время оценки сложности;  $C_0$  - сложность технологической операции, зависящая от сложности применяемого технологического оборудования и времени исполнения операции;  $n_{co}$  - количество сложных операций;  $n_{но}$  - сложность операций, не имеющей аналога в практике, требующая применения изобретательских методов для изготовления объекта.

Общее полное время изготовления объекта описывается формулой (5), где учтен фактор времени от идеи создания объекта и неизбежности учета времени при проектировании и выполнении обязательных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР)

$$T_{\Sigma} = \sum T_i + T_{пр}, \quad (5)$$

где  $T_{\Sigma}$  – время изготовления объекта от идеи до использования его на практике;  $T_{пр}$  – время проектирования объекта.

Изменение фактора времени при проектировании и НИОКР представлено в формуле (6)

$$T_{пр} = f(N_p, N_k, Y_{пп}), \quad (6)$$

где  $N_p$  – время обоснования количества руководителей проекта;  $N_k$  - количество конструкторов, ученых, технологов;  $Y_{пп}$  - уровень профессиональной подготовки для работы с применением рационализаторских и изобретательских методов.

В приведенных выше формулах не показаны факторы потери времени, зависящие как от политических, так и социально-экономических условий при изготовлении объекта. Не учтен фактор времени от ошибочных решений. Не учтены факторы времени при ускорении технологического процесса при использовании изобретений и быстродействующих

электронно-вычислительных машин, для создания программного обеспечения.

Анализ формул (1-6) приводит к необходимости сделать предварительные замечания, способствующие дальнейшему обоснованию влияния фактора времени ( $T_{\Sigma}$ ) на развитие машиностроения и техносферы. Анализ формулы (1) и развитие её в формулах (2-4) позволяет проследить логическую последовательность создания объекта с оценкой фактора времени за период изготовления объекта и его влияния на результат: чем массивнее объект, тем больше времени на его изготовление, чем больше операций и, чем они сложнее, тем больше времени на изготовление объекта и т.д.

Формулы (5, 6) объясняют влияние фактора времени уже с элементами системы создания объекта – проектирование (НИОКР) [8] и организация этого процесса.

Оценим фактор времени ( $T_{\Sigma}$ ), анализируя организацию процесса производства объектов тяжелого и атомного машиностроения. Отказ от тяжелого механического оборудования и применение мобильных металлорежущих блоков, базирующихся на самом объекте, свойства которого позволяют использовать его в качестве жесткой базы для указанных блоков, приводит к значительному снижению удельной металлоемкости технологического оборудования. Применение напольного грузоподъемного и транспортирующего оборудования с отказом от мостовых кранов приводит к значительному снижению стоимости строительства корпусов. Вышеизложенное иллюстрируется схемой проектного развития концептуальной модели, представленной на рисунке 1.

Схема (рис. 1а) характеризуется:

– большим объемом фундамента 1, массивными колоннами 2, мостовым краном 3 большой грузоподъемности, металлоконструкциями перекрытия 4;

---

- большим объемом производственных помещений, связанных с габаритами технологического оборудования;
- наличием зоны 6 практически неиспользуемого объема производственного помещения.

На схеме (рис.1б) представлен вариант концептуальной модели с применением мобильных металлорежущих блоков и напольного оборудования. Она характеризуется:

- значительно меньшим объемом фундамента 12 облегченного типа, в связи со снижением нагрузок на колонны, воспринимающих только вес перекрытия, и снеговые и ветровые нагрузки;
- меньшим объемом производственного помещения;
- меньшими массами несущих опорных конструкций, перекрытия, опор кантователя, канатных лебедок, гидравлических подъемных устройств (домкратов), опорной колонны с монтируемыми на ней мобильными металлорежущими блоками.

Предварительные расчеты удельной металлоемкости (например, на 1 м длины цеха) предложенного варианта показывают, что она снижается на один – два порядка по сравнению с существующими схемами.

Оценим фактор времени при определении качества процесса проектирования технологического процесса изготовления изделий атомного машиностроения [9, 10]. Фрагмент системы представлен на рисунке 2. На схеме представлены мостовой кран 1 массой  $m_{mk}$ , подкрановое основание 2 массой  $m_{nk}$ , станок 3 массой  $m_c$  с обечайкой 4 массой  $m_o$  и кантователь 5 массой  $m_k$ . Обечайка перемещается со станка на кантователь и обратно для поворота на  $180^\circ$ . По данным производства можно условно принять: среднюю массу обечайки  $m_o=100$  т; массу кантователя напольного  $m_k=110$  т; массы  $m_c$  станка и  $m_{nk}$  мостового крана в 3...5 раз больше  $m_o$ , масса  $m_{nk}$  подкранового основания на порядок больше  $m_o$ ; в целом, суммарная масса

технологического, транспортного и нестандартного оборудования составляет тысячу тонн, энергонасыщенность – тысячи киловатт.

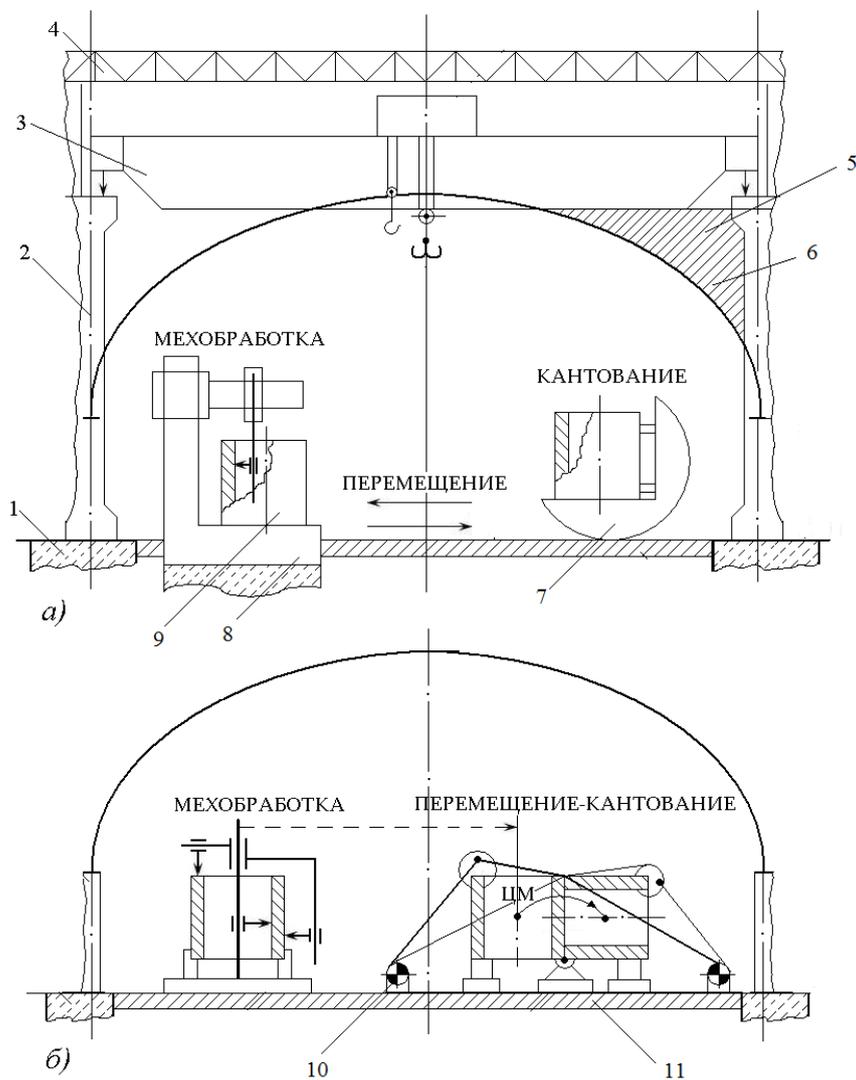


Рис. 1. - Базовая модель развития концептуального решения: а) существующая система; б) предложенная модель: 1 - фундамент; 2 - колонны; 3 - мостовой кран; 4 - металлоконструкции крыши; 5 - неиспользуемое пространство; 6 - граница пространства проектируемого помещения; 7 - напольный кантователь; 8 - карусельный станок; 9 – обечайка; 10 - канатная лебедка; 11 – подвижная опора.; ЦМ - центр масс объекта

Критерием качества проектирования этой системы принимаем удельную металлоемкость  $M_{уд}$  т.е. отношение суммы масс оборудования и производственных сооружений к массе оборудования объекта, формула (7):

$$M_{уд} = \frac{m_{МК} + m_{ПК} + m_{С} + m_{К}}{m_{О}} \quad (7)$$

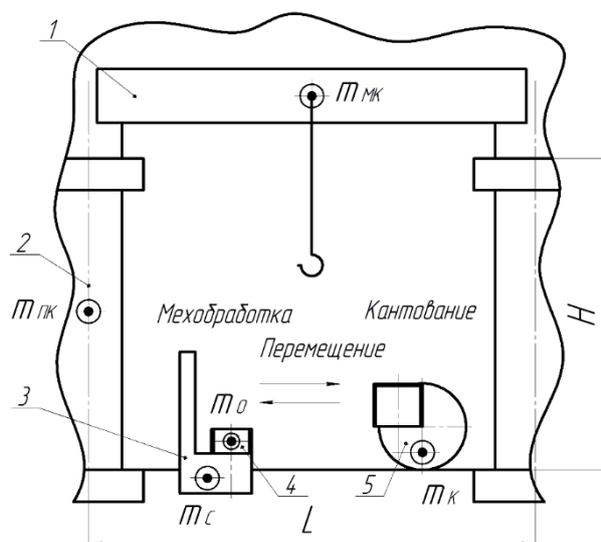


Рис. 2. - Существующая схема системы механической обработки обечаек в атомном машиностроении

Аналогично определяем критерий удаленной энергоёмкости  $E_{уд}$  процесс:

$$E_{уд} = \frac{E_{МК} + E_{С} + E_{ПЕР} + E_{К}}{m_0}, \quad (8)$$

где  $E_{МК}$ ,  $E_{С}$ ,  $E_{ПЕР}$ ,  $E_{К}$  – установленные мощности, соответственно, мостового крана, карусельного станка, средства перемещения и напольного кантователя.

С использованием эвристических методов проектирования предложена новая, близкая к оптимальной по критериям удельной металлоемкости и энерговооруженности, схема механической обработки обечайки на роликоопорных стендах, представленная на рис. 3. Внутренняя поверхность обечайки 1 обрабатывается с помощью блока 3, вращающегося относительно оси 4, жёстко закреплённой внутри обечайки с помощью распорных элементов 2. Наружную и торцевые поверхности можно обработать с помощью мобильного блока 5. Возможны и другие схемы базирования мобильных блоков при обработке обечайки на роликовых опорах 6, причём масса блоков и направляющих колец составляет менее 10т.

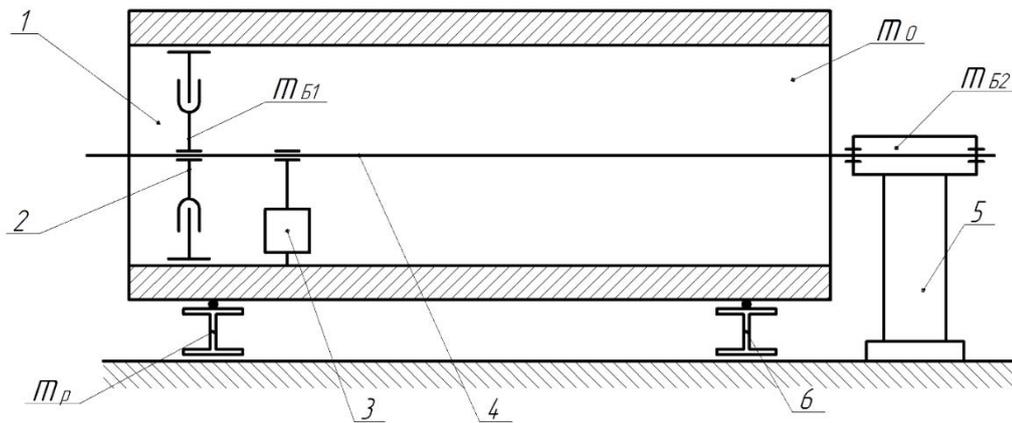


Рис. 3. - Проектная модель обработки обечайки на роликоопорном стенде с мобильными металлорежущими блоками

Удельная металлоёмкость согласно схеме, представленной на рис. 2, определяется по формуле 9:

$$M'_{уд} = \frac{m_{Б1} + m_{Б2} + P}{m_0}, \quad (9)$$

где  $m_{Б1}$ ,  $m_{Б2}$  и  $m_P$  – массы металлорежущих блоков и роликоопорного стенда,  $m_0$  – масса объекта.

Анализ формул (1-6) приводит к заключению, что создание объекта может быть существенно сокращено по фактору времени при выполнении условий, представленных в формулах (7-9), фрагментами технических решений, полученных в результате использования изобретательских методов. В литературных источниках часто употребляется словосочетание «ускорение технического прогресса». В данной работе фактор времени как элемент системы технического прогресса представлен на практическом примере замены тяжелого металлообрабатывающего оборудования на мобильные малогабаритные блоки.

### Литература

1. Бадрахан А.И., Шурдумова Э.Г. Понятие отраслевой конкурентоспособности и принципы управления ее повышением на предприятиях машиностроительного комплекса // Фундаментальные исследования. 2016. № 4-3. С. 563-567.



2. Орлов В.В., Косырев К.Л., Дуб В.С. Металлургия и машиностроение - традиции и инновации // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 12. С. 1321-1331.
3. Protasov A.V., Sivak B.A. Modern development tendencies of ladle vacuum treatment // Тяжелое машиностроение. 2019. №5-6. С. 60-63.
4. Лоскутов И.А. Расчет суммарного времени, затраченного на монтаж силового, управляющего, включающее радиоэлектронное оборудование для АЭС. Базовое уравнение // Журнал технических исследований. 2019. Т. 5. № 2. С. 9-13.
5. Боброва Т.В., Панченко Р.М. Техническое нормирование рабочих процессов в строительстве на основе пространственно-временного моделирования // Инженерно-строительный журнал. 2017. №8 (76) С. 84-97.
6. Малышев Ю.М., Щуренко Н.Н. Фактор времени в оценке сроков строительства и освоения производственных мощностей // Нефтегазовое дело. 2010. Т. 8. № 1. С. 90-94.
7. Муравьев И.И., Острейковский В.А., Шевченко Е.Н. Модели оценки фактора времени в теории техногенного риска динамических систем // Труды международного симпозиума надежность и качество. 2015. С. 24-27.
8. Кравченко П.Д., Косогова Ю.П., Приходько О.Л. Особенности методики выполнения научно-исследовательской работы в интегрированной системе СПО и ВПО // Инженерный вестник Дона. 2018. №2. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_218\\_Kravchenko.pdf\\_86012e27bf.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_218_Kravchenko.pdf_86012e27bf.pdf).
9. Кравченко П.Д., Косогова Ю.П. Расчетное обоснование способа применения съемных грузозахватных устройств при перемещении эллипсоидных днищ корпусного оборудования АЭС // Инженерный вестник Дона. 2020. №1. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_15\\_1\\_Kravchenko.pdf\\_37ffaf2207.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_15_1_Kravchenko.pdf_37ffaf2207.pdf).



10. Kravchenko P.D., Yablonovsky I.M., Fedorenko D.N. New engineering decisions in nuclear engineering // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol. 11, № 3. pp. 1951-1955.

### References

1. Badrakhan A.I., Shurdumova E.G. Fundamental'nye issledovaniya. 2016. № 4-3. pp. 563-567.
2. Orlov V.V., Kosyrev K.L., Dub V.S. Chernaja metallurgiya. Bjulleten' nauchno-tehnicheskoy i jekonomicheskoy informacii. 2019. Vol. 75. № 12. pp.1321-1331.
3. Protasov A.V., Sivak B.A. Tjzheloe mashinostroenie. 2019. №5-6. pp. 60-63.
4. Loskutov I.A. Zhurnal tehniceskikh issledovanij. 2019. T. 5. № 2 pp. 9-13.
5. Bobrova T.V., Panchenko P.M. Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2017. №8 (76) pp. 84-97.
6. Malyshev Yu. M., Schurenko N.N. Neftegazovoe delo. 2010. T. 8. № 1. pp. 90-94.
7. Murav'ev I.I., Ostrejkovskij V.A., Shevchenko E.N. Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma nadezhnost' i kachestvo. 2015. pp. 24-27.
8. Kravchenko P.D., Kosogova Yu.P., Prikhodko O.L. Inzenernyj vestnik Dona, 2018. № 2. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_218\\_Kravchenko.pdf\\_86012e27bf.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_218_Kravchenko.pdf_86012e27bf.pdf).
9. Kravchenko P.D. Kosogova Yu.P. Inzenernyj vestnik Dona, 2020. № 1. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_15\\_1\\_Kravchenko.pdf\\_37ffaf2207.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_15_1_Kravchenko.pdf_37ffaf2207.pdf).
10. Kravchenko P.D., Yablonovsky I.M., Fedorenko D.N. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol. 11. № 3. pp. 1951-1955.