

УДК 693. 546

к.т.н., професор Осипов А.Ф.,
Киевский национальный университет строительства и архитектуры

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Освещены научно-теоретические основы обеспечения устойчивого (стабильного) функционирования технологических систем в строительстве, раскрыта сущность и модели исследования.

Ключевые слова: устойчивость, строительный процесс, технологическая система.

Предметом технологии строительных процессов, как науки, являются прикладные исследования, раскрывающие естественно-научную сущность и закономерности эффективного применения физических, химических, биологических, социально-экономических и иных естественных и искусственных процессов и явлений, лежащих в основе преобразования материальных элементов в строительную продукцию [1].

Теоретической основой исследования эффективности и устойчивости (стабильности) функционирования производственных процессов, в том числе строительных процессов, является теория эффективности, в основе которой лежат системные исследования эффективности, базирующиеся на системном подходе и системном анализе [2]. В основе системного подхода лежит представление производственных процессов, как объектов исследования, в виде сложных систем, наделенных тремя группами системных свойств:

- 1) взаимодействие с внешней средой («входы», «выходы»);
- 2) внутреннее строение («структура»);
- 3) общесистемные, интегральные свойства.

Первая группа свойств характеризуют взаимодействие системы с внешней средой в виде эффективности контуров обмена. Для условий исследования эффективности строительных производственных процессов будем рассматривать, в первую очередь целевой контур обмена, дополненный контурами обмена, определяющие строительно-технологические характеристики объекта строительства (реконструкции) и условия производства работ – то есть совокупность внешних факторов, влияющих на строительный процесс преобразования материальных элементов в строительную продукцию. Внешние факторы более высокого иерархического уровня, относящиеся к стратегическому и экономическому планированию, управлению строительными организациями и сбыту продукции, принимаются в качестве ограничений (фиксируются в обла-

то оптимальных значений) и в данных исследованиях в качестве контуров обмена не рассматриваются.

Тогда процесс исследования обмена системы со средой можно представить в виде следующей графической модели (рис. 1), исследующей рациональность потребления ресурсов.

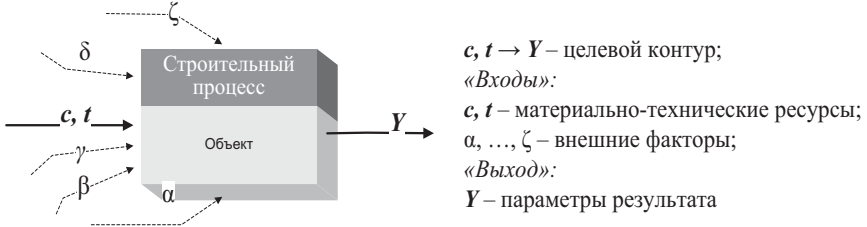


Рис. 1. Модель исследуемого обмена: «ресурсы» – «результат»

Вторая группа свойств характеризует структуру системы, как совокупности элементов и множестве устойчивых связей между ними. Для условий поставленной задачи будем рассматривать целевой контур такого обмена: «вход» – вариант μ комбинации структуры системы и затраты материально-технических ресурсов c, t , а «выход» показатели качества результата Y . Целевой контур дополняется контурами обмена между множеством внешних факторов (α, \dots, ζ) и параметрами строительных процессов в процессе преобразования материальных элементов в строительную продукцию.

Тогда процесс исследования обмена системы со средой можно представить в виде графической модели (рис. 2), исследующей рациональность структуры системы.

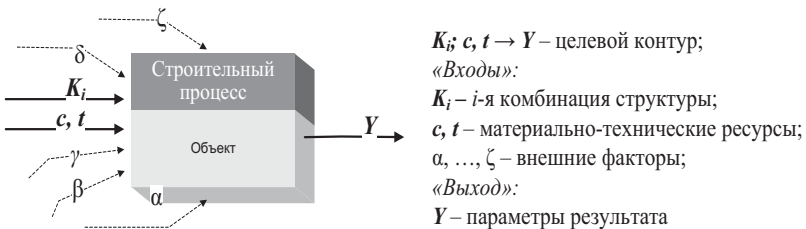


Рис. 2. Модель исследуемого обмена: «структура» – «результат»

Третья группа свойств характеризует потребительскую ценность системы (A -качество), способность ее к самоорганизации (B -качество), управляе-

мость (*C*-качество) и устойчивость (стабильность) функционирования (*P*-качество).

Если *A*-качество системы определяется эффективностью ее целевого обмена, см. рис. 1 и рис. 2, то *B*-качество характеризует способность к распознаванию ситуаций, адаптации, самообучению, наличием свободы выбора решений (альтернатив).

В технологии строительных процессов *B*-качеством обычно обладает исполнитель процесса, качественный и количественный состав которого имеет производственно-технологическое обоснование – это звено рабочих с приданными средствами труда. Данное исполнителя можно характеризовать как «человеко-машинную» систему, которая обладает собственной структурой и функцией. Таким образом, *звено* является относительно обособленной в функциональном отношении частью производственного процесса (системы) и в дальнейшем мы будем его рассматривать как подсистему производственного процесса – автономный функциональный модуль (рис. 3).

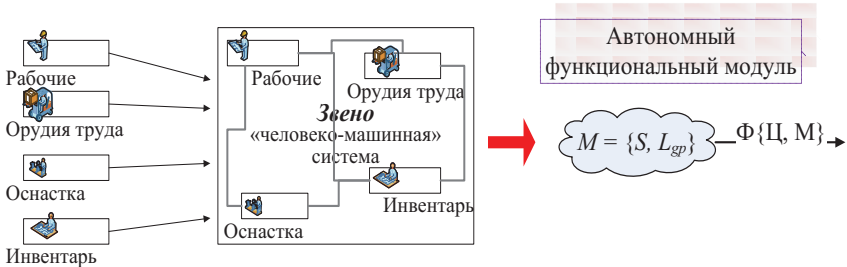


Рис. 3. Интерпретационная модель автономного функционального модуля:

$M = \{S, L_{gp}\}$ – морфология модуля; S – структура модуля; L_{gp} – логика внутренних взаимосвязей, генетическая программа (правила взаимодействия);

$\Phi\{Ц, M\}$ – целевая функция модуля; $Ц$ – цель подсистемы (модуля)

Автономный функциональный модуль наделяется структурой S , внутренними устойчивыми связями в виде логики внутреннего поведения (генетической программы L_{gp}), технологических правил взаимодействия структурных элементов (рабочих – машин – оснащения) в процессе преобразования материальных элементов (предметов труда) в строительную продукцию. Совокупность структуры и логики внутреннего поведения образуют *морфологию* M модуля, которая в свою очередь формируется исходя из общей цели данной подсистемы – модуля. Цель ($Ц$) и морфология (M) автономного технологического модуля однозначно определяют его целевую функцию Φ .

Управляемость производственного процесса (*C*-качество), как сложной системы, – это способность системы формировать управляющие решения, на основе которых формируются управляющие команды, воздействия [2]. Для условий исследования эффективности строительных производственных процессов, в том числе и в условиях реконструкции, *C*-качеством будем наделять производственную систему и составляющие ее подсистемы – автономные технологические модули.

На уровне автономного технологического модуля генерируются множество оперативных решений $\{x_t\}$ и команд $\{u_t\}$ исходя из оперативно складывающейся производственно-технологической обстановки $\{\lambda_t\}$ – множество параметров фронта работ, строительной площадки, конкретных характеристик и состояния конструкций и здания, а также системы предпочтений $\{\kappa_t\}$ на момент времени t (лучше, больше, удобнее, целесообразнее, допустимо, безопасно и т.п.). Процедура управления автономным технологическим модулем можно представить в виде функциональных соответствий:

$$\varphi: \{\lambda_t\} \rightarrow \{x_t\}, \quad \varphi: \{x_t\}, \{\kappa_t\} \rightarrow \{u_t\}. \quad (1)$$

На уровне производственной системы (строительного процесса) управляемость обеспечивается формированием множества оперативных решений $\{X_k\}$ и команд $\{U_k\}$ исходя из оперативно сложившейся производственно-технологической ситуации $\{\Lambda\}$ – множество параметров фронта работ, строительной площадки, конкретных характеристик и состояния конструкций и здания, определяющие те либо иные организационно-технологические условия реконструкции или строительства. В качестве критериев предпочтения на момент существования k -й производственно-технологической ситуации ($\Lambda_k \in \{\Lambda\}$) принимается система эвристических $\{\kappa_k\}$ (лучше, больше, удобнее, целесообразнее, и т.п.) и технико-экономических $\{\delta_k\}$ (трудоемкость, себестоимость, срок производства работ и т.п.) критериев.

Тогда процедура управления производственным процессом (системой) можно представить в виде следующих функциональных соответствий:

$$\varphi: \Lambda_k \rightarrow \{X_k\}, \quad \varphi: \{X_k\}, \{\kappa_k\}, \{\delta_k\} \rightarrow \{U_k\}. \quad (2)$$

Устойчивость (стабильность) функционирования строительных процессов (*P*-качество), как сложной производственной системы, направленной на преобразование материальных элементов в строительную продукцию, объединяет в первую очередь такие свойства, как стабильность выходного эффекта, стойкость к воздействию внешних факторов, живучесть и т. д.

Таким образом, устойчивость функционирования строительных процессов, как стабильность выходного эффекта, является важной характеристикой эффективности производственного процесса.

В соответствии с общей теорией эффективности [2], *эффективность* – это наиболее общее, определяющее свойство любой целенаправленной деятельности (в том числе строительного производства), которое выражается степенью достижения цели с учетом затрат ресурсов и времени. При этом эффективность операции – это не просто способность давать целевой результат g , а действенная способность, то есть результативность g , соотношенная с затратами ресурсов C (ресурсоемкостью операции) и времени T (оперативностью операции).

В общем виде реальный результат процесса, операции можно представить в виде n – мерного вектора, включающего все три составляющие [2]:

$$Y^{(n)} = \langle g^{(n_1)}, C^{(n_2)}, T^{(n_3)} \rangle, \quad (3)$$

где $Y^{(n)}$ – вектор показателя качества реального результата;

$g^{(n_1)}, C^{(n_2)}, T^{(n_3)}$ – векторы, соответственно, реального целевого результата, фактически затраченных ресурсов и времени.

При проектировании технологических процессов задается, какой целевой результат (требуемый целевой результат $g_{\xi}^{n_1}$), за счет каких ресурсов ($C_{\xi}^{(n_2)}$) и к какому времени ($T_{\xi}^{(n_3)}$) необходимо получить, тогда требуемый результат процесса, операции ($Y_{\xi}^{(n)}$) можно представить в виде соответствующего n – мерного вектора:

$$Y_{\xi}^{(n)} = \langle g_{\xi}^{(n_1)}, C_{\xi}^{(n_2)}, T_{\xi}^{(n_3)} \rangle. \quad (4)$$

Уровень соответствия реального результата функционирования процесса, операции ($Y^{(n)}$) требуемому результату ($Y_{\xi}^{(n)}$) в теории эффективности количественно оценивается функцией соответствия [2]:

$$\rho = \rho(Y^{(n)}, Y_{\xi}^{(n)}), \quad (5)$$

которая определяется на множестве всех пар компонент векторов ($Y^{(n)}$) и ($Y_{\xi}^{(n)}$), и в принятой метрической шкале (устанавливается исследователем) характеризует степень достижения цели операций, процессом.

Эффективность производственного процесса, операции оценивается показателем эффективности (Ψ), который вводится формально как математическое ожидание общей функции соответствия [2]:

$$\Psi = M \left[\rho \left(Y^{(n)}, Y_{\xi}^{(n)} \right) \right]. \quad (6)$$

Для строительных процессов и операций, которые в целом характеризуются, как *вероятностные нестационарные процессы*, целесообразно показатель эффективности дополнить вероятностной оценкой попадания значений функции соответствия (ρ) в область допустимых значений:

$$\rho^{H(B)} = M \left[\rho \left(Y^{(n)}, Y_{\xi}^{(n)} \right) \right] \pm 1,64\sigma, \quad (7)$$

где $\rho^{H(B)}$ – соответственно, нижнее и верхнее значение интервала (область допустимых значений показателя эффективности);

σ – дисперсия показателя эффективности в области возможных значений функции соответствия;

1,64 – число, устанавливающее размеры интервала с 90 % вероятностью попадания случайной величины ((10 – 90) – процентильной широты $\rho_{0,9} - \rho_{0,1}$).

Тогда показатель (критерий) эффективности строительных производственных процессов, как *вероятностных нестационарных процессов*, в общем виде можно представить выражением:

$$\begin{cases} \Psi = M \left[\rho \left(Y^{(n)}, Y_{\xi}^{(n)} \right) \right], \\ \rho^{H(B)} = M \left[\rho \left(Y^{(n)}, Y_{\xi}^{(n)} \right) \right] \pm 1,64\sigma. \end{cases} \quad (8)$$

Приведенная выше модель (8) определения показателя эффективности позволяет количественно оценить (по результатам функционирования процесса) или сформировать (на стадии проектирования, моделирования) область допустимых значений параметров технологического процесса, операции в условиях воздействия на процесс дестабилизирующих факторов, а также имеющей место (на стадии проектирования процесса) неопределенности цели.

Кроме того, формируемое множество показателей эффективности направлено на выявление и исключение *параметрических отказов*, которые для условий функционирования производственных процессов, трактуются как выход одного или нескольких показателей качества продукта производства $Y^{(n)}$ за пределы допустимого их значения (за пределы допуска).

Исключение параметрических отказов в свою очередь лежит в основе *функциональной устойчивости* (стабильности) любого производственного процесса – производственный процесс характеризуется как устойчивый, если при его функционировании не отмечаются параметрические отказы. Другими сло-

вами, производственный процесс называется устойчивым относительно некоторой области фазового пространства (как совокупность предметов, средств и результатов труда, а также определенных и неопределенных факторов во временном континууме), если, начавшись внутри этой области, он (производственный процесс) никогда ее не покидает, то есть не выходит за пределы допустимых значений показателей эффективности и качества.

Таким образом, эффективность и устойчивость, как одни из фундаментальных понятий теории эффективности, являются наиболее общими комплексными свойствами производственного процесса (операции), так как они характеризует *степень приспособленности процесса* к достижению цели процесса и зависят практически от всех факторов, влияющих на ход и исход операции.

Модель для исследования устойчивости (стабильности) функционирования строительных процессов (*P*-качество) будет включать целевой контур такого обмена: «вход» – вариант μ комбинации структуры системы, затраты материально-технических ресурсов c, t , вариант π характерной производственной ситуации, определяемой множеством внешних факторов (α, \dots, ζ) и параметрами строительных процессов в процессе преобразования материальных элементов в строительную продукцию, а «выход» показатели качества результата Y .

Тогда процесс исследования устойчивости функционирования можно представить как исследование обмена системы со средой в виде графической модели (рис. 4), исследующей рациональность структурно-функциональных преобразований системы в процессе преобразования материальных элементов в строительную продукцию.

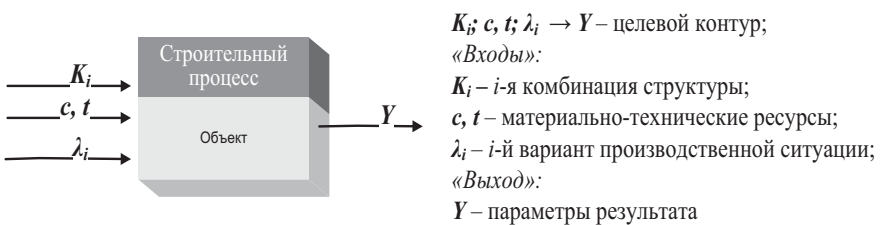


Рис. 4. Модель исследуемого обмена:
«структурно-функциональные преобразования» – «результат»

Література

1. Черненко В. К., Осипов О. Ф. Основи технології будівельних процесів. В кн. Технологія будівельного виробництва/ В. К. Черненко, М. Г. Ярмоленко, Г. М. Батура, О. Ф. Осипов та інш. – К.: Вища шк., 2002. – 430 с.

2. *Надежность и эффективность* в технике: Справочник: В 10 т. / Ред. совет: В. С. Авдуревский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1986. – (В пер.) Т. 1: Методология. Организация. Терминология / Под ред. А. И. Рембезы. – 224 с.

Анотація

У статті висвітлено науково-теоретичні основи забезпечення стабільного функціонування технологічних систем в будівництві, розкрито сутність і моделі дослідження.

Стабільність, будівельний процес, технологічна система.

Annotation

The article highlights the scientific and theoretical foundations of sustainable (stable) operation of technological systems in the building, and reveals the essence of the model study.

Keywords: Sustainability, the construction process, the technological system.