

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ И ПОДСИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЛИНИЙ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL ANALYSIS INTENSIVE USE OF ELEMENTS AND SUBSYSTEMS PRODUCT LINES SHIPBUILDING ENTERPRISES

Б. В. Соколов , А. Н. Павлов (Санкт-Петербург), Д. А. Иванов (Берлин),
Д. А. Павлов, А. А. Павлов, В. И. Салухов (Санкт-Петербург)

Введение

Под судостроительным предприятием (ССП) понимают промышленное предприятие, располагающее средствами производства (средствами труда и предметами труда) и рабочей силой, способными создавать судостроительную продукцию [1]. ССП состоит из основных и вспомогательных цехов, в которых реализуют, соответственно, основную и вспомогательную части производственного процесса. На рис. 1, взятом из работы [2], в качестве примера приведена схема взаимосвязи технологий и оборудования, участвующих в изготовлении изделий и реализуемые в рамках корпусообработывающего и сборочно-сварочного производств, составляющих основу ССП.

При детальном изучение структуры внутреннего и внешнего взаимодействия действующего производства цехов ССП требуется включать различные элементы (комплексы, узлы) оборудования, расположенного на участках корпусообработывающего и сборочно-сварочного производства, участке предварительной обработки металлопроката, а также на открытом складе. В частности, к таким элементам (узлам) производственных линий ССП можно отнести: линия машин тепловой резки; пресс гибочный; линия предварительной обработки проката; листопрямительные вальцы и вальцы гибочные; автоматизированная гибочно-правильная машина; роботизированная линия обработки профиля; линия изготовления тавровых балок; роботизированная линия микропанелей; поточная линия плоских секций; крановое и транспортное оборудование; площадки комплектации и складирования. Различные элементы и подсистемы ССП играют далеко не одинаковые роли, их отказы могут приводить к разным по степени влияния на состояние системы последствиям. Это обусловлено как различиями технического характера (пропускная способность, производительность и т.д.), так и различиями технологии управления ССП.

На наш взгляд при проведении анализа критичности отказов элементов и подсистем ССП, которое характеризуется как сложностью структурного построения, так и неравномерностью использования элементов (узлов) при выполнении целевых задач, целесообразно учитывать показатели, отражающие структурные и функциональные особенности производства, связанные с интенсивностью и равномерностью использования элементов и подсистем сложного объекта при выполнении различных технологических процессов.

Методика дифференцирования гиперграфов технологических процессов

Для анализа интенсивности и равномерности применения элементов ССП при выполнении различных технологических процессов предлагается использовать подход, предложенный в [3,4], подразумевающий описание сложных систем в виде специальных гиперграфов и вычисления их производных.

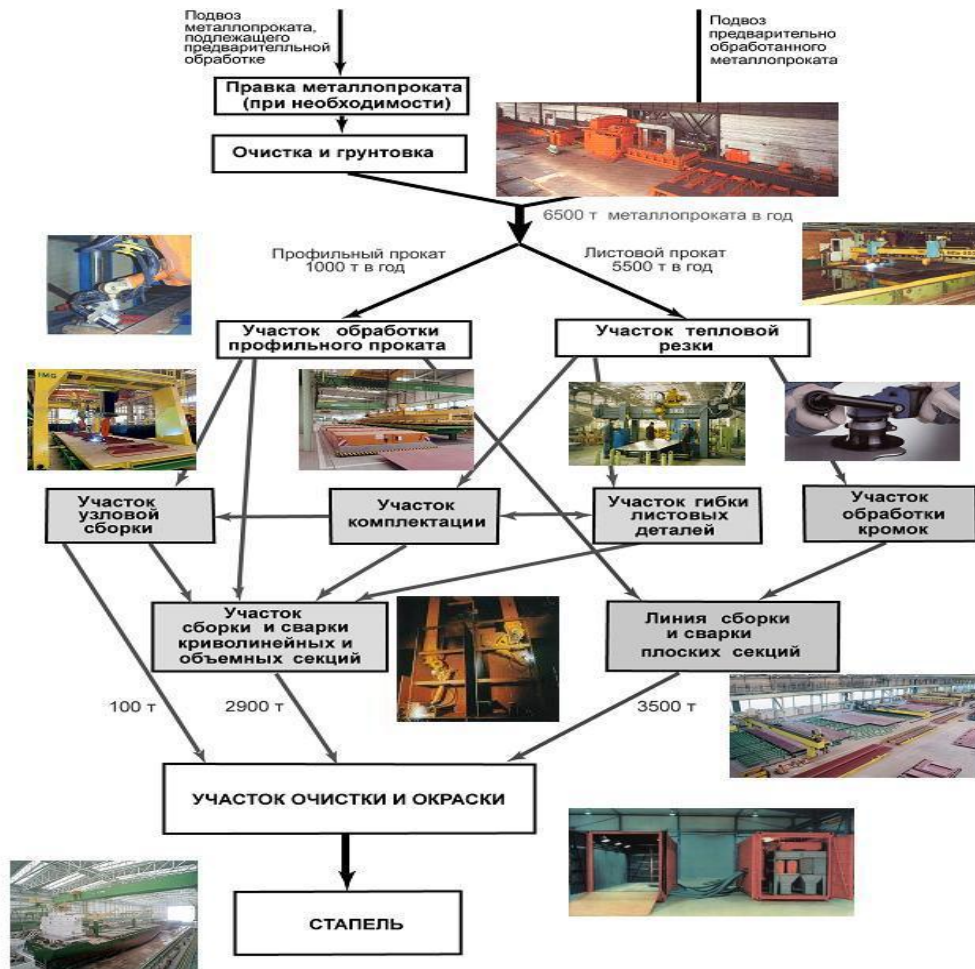


Рис. 1. Схема функциональных связей корпусобрабатывающего и сборочно-сварочного производства

Пусть имеется множество $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ элементов и подсистем ССП и множеством технологических процессов $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$, в выполнении которых участвуют эти элементы. Модель участия элементов и подсистем ССП в выполнении технологических процессов формально можно представить своеобразной матрицей инцидентности $Q = \|q_{ij}\|_{m \times n}$ гиперграфа G^M , элементы которой принимают значения:

Пусть имеется множество $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ элементов и подсистем ССП и множеством технологических процессов $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$, в выполнении которых участвуют эти элементы. Модель участия элементов и подсистем ССП в выполнении технологических процессов формально можно представить своеобразной матрицей инцидентности $Q = \|q_{ij}\|_{m \times n}$ гиперграфа G^M , элементы которой принимают значения:

$$q_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если элемент } x_j \text{ участвует в процессе } A_i; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Другими словами, технологические процессы $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ представляют собой ребра гиперграфа G^M , соединяющие несколько вершин из множества

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. На рисунке 2 приведен пример подобного гиперграфа и его матрица инцидентности.

Гиперграф G^M содержит 3 ребра (технологических процесса) (рис. 2), а каждый элемент x_j характеризуется частотой участия в этих процессах. Например, элемент x_1 участвует 2 раза, элемент x_2 участвует 3 раза и т.д.

В целом интенсивность участия элементов и подсистем ССП в проведении технологических процессов можно описать с помощью частотной матрицы $F = \|f_{ij}\|_{n \times n} = Q^T \times Q$, элементы которой f_{ij} (взаимная частота вершин) равны числу процессов, в которые входят элементы x_i и x_j ($i \neq j$), $f_{ii} = f_i$ (собственная частота вершины) – числу процессов, в которые входит элемент x_i .

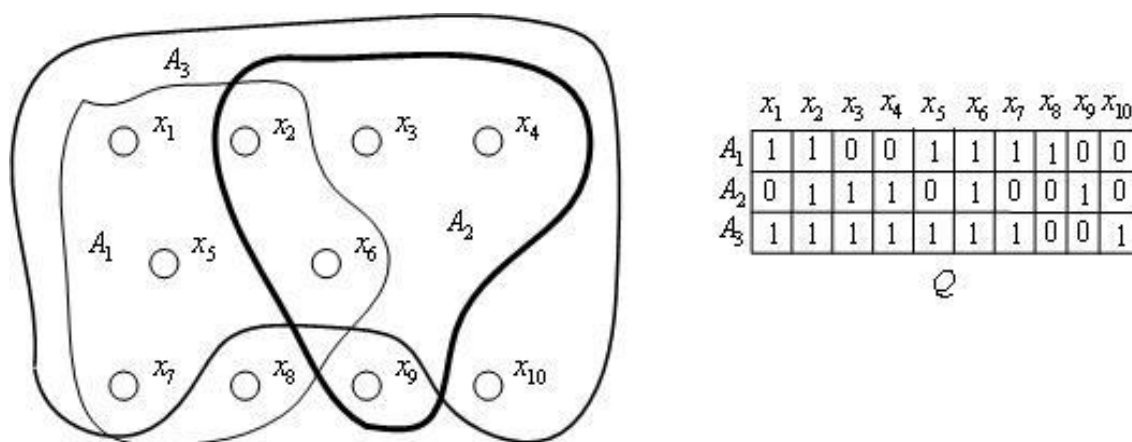


Рис. 2. Гиперграф технологических процессов

Для рассматриваемого примера частотная матрица F будет иметь следующий вид:

$$F = \begin{pmatrix} 2 & 2 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 3 & 2 & 2 & 2 & 3 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 2 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 0 & 1 \\ 2 & 3 & 2 & 2 & 2 & 3 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Для определения интенсивности и равномерности участия элементов ССП в производственных процессах вводится производная графа G^M , степени участия вершин гиперграфа G^M в наперед заданном событии S (в нашем случае, выполнение технологических операций), т.е. равномерности вершин относительно заданного события, вводится производная графа G^M .

Производной $\partial G^M / \partial S$ графа G^M по событию S (в нашем случае, событие S – выполнение технологических операций) называется неориентированный взвешенный граф, каждая пара вершин которого (v_i, v_j) взвешена отношением частоты $(f_{ii} - f_{ij}) + (f_{jj} - f_{ij})$ их несовместного участия в событии S к частоте f_{ij} совместного участия в событии S : $\frac{\partial G^M}{\partial S}(v_i, v_j) = \frac{f_{ii} - 2f_{ij} + f_{jj}}{f_{ij}}$. Причем, если $\frac{\partial G^M}{\partial S}(v_i, v_j) = \infty$, то ребро между вершинами v_i, v_j отсутствует; если $\frac{\partial G^M}{\partial S}(v_i, v_j) = 0$, то $v_i = v_j$; если $0 < \frac{\partial G^M}{\partial S}(v_i, v_j) < \infty$, то между v_i, v_j существует ребро, вес которого равен $\frac{\partial G^M}{\partial S}(v_i, v_j)$.

Матрица, характеризующая производную гиперграфа рассматриваемого примера, симметрична относительно главной диагонали и имеет следующий вид

$$\frac{\partial G^M}{\partial S} = \begin{pmatrix} 0 & 1/2 & 2 & 2 & 0 & 1/2 & 0 & 1 & \infty & 1 \\ & 0 & 1/2 & 1/2 & 1/2 & 0 & 1/2 & 2 & 2 & 2 \\ & & 0 & 0 & 2 & 1/2 & 2 & \infty & 1 & 1 \\ & & & 0 & 2 & 1/2 & 2 & \infty & 1 & 1 \\ & & & & 0 & 1/2 & 0 & 1 & \infty & 1 \\ & & & & & 0 & 1/2 & 2 & 2 & 2 \\ & & & & & & 0 & 1 & \infty & 1 \\ & & & & & & & 0 & \infty & \infty \\ & & & & & & & & 0 & \infty \\ & & & & & & & & & 0 \end{pmatrix}$$

Производная $\partial G^M / \partial S$ представлена на рис. 3.

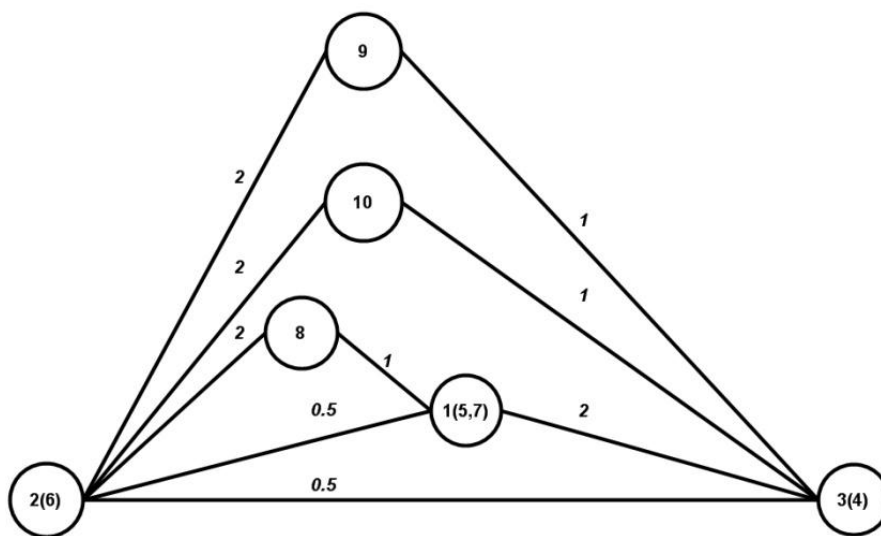


Рис. 3. Производная гиперграфа технологических процессов

Путем нормировки значений $\partial G^M / \partial S$ строится нечеткое отношение технологической независимости элементов по следующему правилу. Обозначим число событий (технологических процессов), в которых участвуют элементы через m . В этом случае максимально возможное значение элемента матрицы $\partial G^M / \partial S$, отличное от ∞ , равно $\frac{f_{ii} - 2f_{ij} + f_{jj}}{f_{ij}} = \frac{m-2+1}{1} = m-1$. Элементы, у которых $\partial G^M / \partial S_{ij} = 0$, всегда используются только совместно. Следовательно, они объединяются в одну вершину производной. Тогда нечеткое отношение технологической независимости можно задать матрицей $Z = \left| z_{ij} \right|_{k \times k}$, значения элементов которой вычисляются следующим образом $z_{ij} = \frac{\partial G / \partial S_{ij}}{m}$

		1,5,7	2,6	3,4	8	9	10	
	1,5,7	0	0.17	0.67	0.33	0	0.33	
	2,6	0.17	0	0.17	0.67	0.67	0.67	
	3,4	0.67	0.17	0	0	0.33	0.33	
Z=	8	0.33	0.67	0	0	0	0	
	9	0	0.67	0.33	0	0	0	
	10	0.33	0.67	0.33	0	0	0	

Далее нечеткое отношение интенсивности взаимного участия элементов и подсистем ОТС при выполнении технологических процессов зададим матрицей

$$R = \left| r_{ij} \right|_{k \times k} \text{ по следующему правилу } r_{ij} = \begin{cases} 1 - z_{ij}, & \text{если } z_{ij} \neq 0 \\ 1, & \text{если } i = j \\ 0, & \text{если } z_{ij} = 0 \end{cases} .$$

		1,5,7	2,6	3,4	8	9	10	
	1,5,7	1	0.83	0.33	0.67	0	0.67	
	2,6	0.83	1	0.83	0.33	0.33	0.33	
	3,4	0.33	0.83	1	0	0.67	0.67	
R=	8	0.67	0.33	0	1	0	0	
	9	0	0.33	0.67	0	1	0	
	10	0.67	0.33	0.67	0	0	1	

В качестве интегрального структурно-функционального показателя интенсивности применения каждого элемента ОТС предлагается использовать выражение

$$f_{\text{интенсив}}(v_i) = \frac{\sum_{j=1}^k R(i, j)}{k} , \text{ а в целом всех элементов ОТС } F_{\text{интенсив}} = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k R(i, j)}{k^2} .$$

Анализ результатов вычислительных экспериментов

Проведя анализ полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

- наибольшей интенсивностью при выполнении технологических операций обладают элементы x_2 и x_6 ;
- в графе, представляющем производную $\partial G^M / \partial S$ объединенные вершины (x_2 и x_6 ; x_3 и x_4 ; x_1, x_5 и x_7) обладают одинаковой интенсивностью и равномерностью использования при выполнении технологических операций, причем не используются по отдельности, только вместе (значение элемента матрицы $\partial G^M / \partial S$ равно 0);
- для рассматриваемого примера значение интегрального показателя интенсивности применения элементов ССП равно $F_{интенсив} = 0.481$, а значения интенсивности применения каждого элемента ССП приведены в табл. 1.

Таблица 1

Интенсивность применения элементов ССП

Номера элементов	Интенсивность применения
x_1, x_5, x_7	0,583
x_2, x_6	0,611
x_3, x_4	0,583
x_8	0,333
x_9	0,333
x_{10}	0,444

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации: СПбГПУ (мероприятие 6.1.1), ИТМО (субсидия 074-U01), грантов РФФИ(№13-07-00279, 13-08-00702, 13-08-01250, 13-06-00877, 13-07-12120-офи-м, 15-29-01294-офи-м, 15-07-08391, 15-08-08459, 15-07-01230, 15-06-04195), Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН (проект №2.11), проектов ESTLATRUS projects 1.2/ELRI-121/2011/13 «Baltic ICT Platform» and 2.1/ELRI-184/2011/14 «Integrated Intelligent Platform for Monitoring the Cross-Border Natural-Technological Systems».

Литература

1. Технология судостроения: уч. для вузов/Александров В. Л. и др.: под общ. Ред. А. Д. Гармашева – СПб.: профессия, 2003.-342 с., ил.
2. Васильев А. А, Долматов М. А., Плотников А. М., Попов В. И. Разработка организационно-технологических проектов технического перевооружения и реконструкции судостроительных предприятий Санкт-Петербурга с применением методов имитационного моделирования//Морской вестник. СПб., 2007. № 3 (6).
3. Горбатов В. А. Фундаментальные основы дискретной математики. Информационная математика / В. А. Горбатов. – М.: Наука. Физматлит, 2000. – 544 с.
4. Горбатов В. А. Дискретная математика: учебник для студентов втузов / В. А. Горбатов, А. В. Горбатов, М. В. Горбатова. – М.: АСТ «Астрель», 2003. – 447 с.