

УДК 334.01

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СИСТЕМНО-ХОЛИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Тихомирова О.Г., Галицкий С.В.

*Санкт-Петербургский национальный университет информационных технологий,  
механики и оптики (Университет ИТМО), Санкт-Петербург,  
e-mail: olgatihomirov@yandex.ru, galitskii7@mail.ru*

В статье рассмотрены основные теоретические вопросы проектирования производственных систем на основе методологии системно-холистического подхода. Анализ существующих методов проектирования производственных систем показал значительный разрыв между объективно сложившимися условиями функционирования производственных предприятий, технологий и техники производства и методами проектирования и организации производственных систем. Возникновение подобных разрывов не позволяет эффективно организовывать и управлять производственными системами, что может привести к падению их эффективности. Таким образом, возникает необходимость разработки новой теоретической базы для разработки, формирования и развития производственных систем в современных условиях. Был сделан вывод, что системно-холистический подход, основанный на целостности и единстве всех элементов системы, является наиболее целесообразной методологией в современных условиях, так как позволяет учесть все специфические требования и условия современного производства. В статье рассмотрены теоретические основы системно-холистического подхода, цель и базовые фундаментальные положения. Также разработаны и предложены основные требования к модели проектирования производственных систем, основанной на системно-холистическом подходе; предложены принципы системно-холистического подхода. Разработана и предложена базовая системно-холистическая модель, отражающая субъект-объектное единство производственной системы, целостность функционально-организационной и пространственно-временной организации производственной системы.

**Ключевые слова:** системный подход, холизм, производственные системы, проектирование производственных систем

## SYSTEM HOLISTIC APPROACH TO DESIGN OF MANUFACTURING SYSTEMS

Tikhomirova O.G., Galitskiy S.V.

*National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint-Petersburg,  
e-mail: olgatihomirov@yandex.ru, galitskii7@mail.ru*

In this paper we study the main theoretical issues of design of manufacturing systems and the methodology of system-holistic approach. The analysis of the existing methods of designing production systems had shown a significant gap between objectively established conditions of functioning of production enterprises, technologies and production techniques and methods of designing and organizing production systems. The occurrence of such gaps does not allow efficient organization and management of production systems, which can lead to a decrease in their efficiency. Thus, there is a need to develop a new theoretical basis for the development, formation of manufacturing systems in modern conditions. We concluded that the system-holistic approach that based on the integrity and unity of all elements of the system is the most appropriate methodology as it allows to take into account all the specific requirements and conditions of modern production. The paper describes the theoretical foundations, the purpose and basis of the system-holistic approach. Also in this paper we developed and proposed the basic requirements to the the model of the design of manufacturing systems based on the system-holistic approach, the principles of the system-holistic approach. And we proposed the basic system-holistic model reflecting the subject-object unity of the production system, the integrity of the functional-organizational and space-time organization of the production system.

**Keywords:** system approach, holism, manufacturing systems, design of manufacturing systems

Формирование системно-холистической модели проектирования производственных систем обусловлено глобальными изменениями и тенденциями, которые мы можем наблюдать в условиях функционирования и развития современных промышленных предприятий. Такие объективно происходящие процессы, как внедрение цифровых технологий в производственные процессы, робототизация и тотальная автоматизация производства, аддитивные технологии и виртуальное производство, свидетельствуют о необратимых трансформациях в технологии и организации производства. Так,

цифровая революция и изменения привели к глобальным изменениям в бизнес-моделях и организации бизнеса, «мобильной» революции, цифровой аналитике [1]. Следует отметить и бурное развитие технологии аддитивного производства, 3D принтинга и моделирования, консьюмизации производства: так, в 2012 г. объем рынка аддитивного производства составлял 1850 млн долл. США, в то время как в 2017 – уже 3475 млн [2]. При этом технологии аддитивного производства продолжают активно расширяться не только в производственной сфере, но и в нашей повседневной жизни.

Очевидно, что имеющиеся к настоящему времени модели проектирования производственных систем основаны на традиционных принципах и методах организации и управления производством, сложившихся в исторической перспективе под влиянием экономических, общественно-политических и социальных процессов, инициированных во второй половине XX столетия. Однако происходящие изменения, научно-технический прогресс и повсеместная цифровизация являются объективной реальностью, требующей внесения соответствующих адекватных изменений в теорию проектирования производственных систем.

*Основные положения  
и сущность методологии  
системно-холистического подхода*

Системно-холистический подход является методологией анализа и синтеза объектов науки, природы и техники, организационных и производственных комплексов как систем. Системно-холистический подход представляет собой общую методологию изучения, проектирования, функционирования, развития и оптимизации структуры/процессов различных объектов, представляющие собой системы, которые базируются на принципе целостности и неделимости управляемого объекта. Производственные системы представляют собой особый класс информационно-материальных систем, в которых мы можем наблюдать единство технической, технологической и социальной составляющей, при этом деятельность основных элементов производственной системы должна отвечать принципам экономической эффективности и целесообразности.

Важнейшим условием проектирования современных производственных систем является требование междисциплинарности и межотраслевого характера. Междисциплинарность предполагает сочетание гуманитарно-управленческих, инженерно-технических и ИТ сфер знаний и деятельности. Межотраслевой характер предполагает интеграцию смежных отраслей промышленности и объединение в единую систему разделенных в традиционных подходах элементов производственной системы и стадий производственного процесса.

Системно-холистический подход к проектированию производственных систем основан на целостно-системном формировании производственной структуры и производственного процесса, то есть формировании состава производственных подразделений, оборудования и рабочих мест, необходимых и достаточных для достижения целей производственной систе-

мы, внутрисистемных связей между элементами производственной структуры, механизмов реализации функций и достижения целей производственной системы, а также проектирование структуры производственного процесса и оптимизацию производственного цикла. Предлагаемый подход к проектированию производственных систем позволяет рассматривать ее как целостность, то есть совокупность элементов (подразделений, рабочих мест и оборудования), взаимодействующих между собой посредством производственных технологий и обмена информацией, для достижения поставленной цели, намеченных результатов хозяйственной деятельности.

Основной целью системно-холистического подхода к проектированию производственных систем является формирование производственных систем как единого комплекса взаимодействующих и взаимосвязанных элементов, а также выявление общих принципов и закономерностей их функционирования и развития.

Системно-холистический подход в проектировании производственных систем предполагает:

- фокус на интеграции элементов системы и целостности;
- взаимодействие и взаимосвязь элементов системы для достижения цели и обеспечения эффективности производственной системы;
- обеспечение устойчивости системы и ее выживаемости в условиях нестабильной внешней среды;
- обеспечение устойчивого роста эффективности производства (постоянное улучшение основных показателей эффективности производства в цепочке создания ценности (экономических, финансовых, коммерческих, социальных, экологических) в единицу времени с учетом инновационности производимого продукта).

*Проектирование производственных систем на основе системно-холистического подхода: формирование системно-холистической базовой модели*

Определим основные требования к системно-холистической модели.

1. Модель должна учитывать влияние нестабильной внешней среды, в которой работают современные предприятия, и предусматривать обратную связь при реализации процесса.

2. Прикладной характер модели, то есть предоставление возможности руководителям предприятий создать производственную систему на ее основе.

3. Модель должна быть универсальной, то есть подходить для любых промышленных предприятий, и в то же время, адаптируемой под каждое конкретное предприятие с учетом сферы деятельности, размера, отрасли и других особенностей.

4. Модель проектирования производственных систем должна отражать следующие аспекты и отвечать на основные вопросы:

– Основные цели и показатели результативности производственной системы.

– Управляющий субъект и управляемый объект производственной системы.

– Основные функции и задачи, реализуемые производственной системой в условиях цифрового производства.

– Производственная структура: состав элементной базы производственной структуры, связи и отношения между элементами.

– Производственный процесс: структура производственного процесса и производственный цикл.

На рисунке приведена системно-холистическая базовая модель проектирования производственных систем.

Предложенная холистическая базовая модель проектирования производственных систем создает фундаментальную основу для эффективного управления производственной системой, позволяя системно решать задачи вертикально-иерархического и горизонтального построения и эффективного взаимодействия элементов для достижения главной цели системы.

Основополагающим аспектом системно-холистической модели проектирования производственных систем является формирование состава функций, которые должны быть реализованы производственной системой. Независимо от того, в каких условиях функционирует производственная система, уровня автоматизации и роботизации производственных процессов, состав функций остается неизменным и является универсальным для любых промышленных предприятий.

Функции производственной системы реализуются элементами производственной структуры (подсистемами производственной системы) и посредством организации производственных процессов [3]. Функции подсистем группируются по признаку их содержательной близости и закрепляются за конкретными элементами, автономными (в меньшей или большей степени) частями системы.

Организационное построение производственной системы заключается в проектировании производственной структуры и организации производственных процессов.

Среди основных факторов, определяющих производственную структуру, следует выделить: объем выпуска, широту номенклатуры производимой продукции, конструктивно-технологические характеристики продукции, трудоемкость продукции, форму специализации, уровень кооперации, тип производства.

Выделенные в составе производственной структуры подсистемы, элементы и части (рабочие места, участки, цеха, отделы и т.п.) наделяются соответствующими функциями в соответствии с отнесением к основным, вспомогательным и обслуживающим процессам. Каждая функция конкретизируется до задачи вплоть до рабочего места и исполнителей, формируя дерево функций-задач. В традиционных производственных системах процесс определения состава подразделений и должностей в производственной структуре обычно не вызывает сложностей, так как функции и задачи элементов хорошо известны [4]. Однако при внедрении цифрового производства и цифровизации производственных процессов следует обратить внимание на значительное расширение функций-задач и операций, выполняемых на одном рабочем месте, универсализацию оборудования и исполнителей, что естественным образом приводит, с одной стороны, к усложнению задачи проектирования производственной структуры, но с другой стороны, за счет снижения числа элементов позволяет спроектировать более плоскую и управляемую производственную структуру.

При проектировании производственных структур следует придерживаться принципа взаимозависимого функционального и элементного анализа производственной структуры. Критерием эффективного проектирования производственной структуры будет являться экономическая целесообразность наличия каждого элемента в структуре и эффективность связей между элементами структуры.

Связующим фактором в производственной структуре являются производственные (функциональные) связи и отношения между элементами системы. Производственный процесс является динамической реализацией функций производственной системой, ориентированной на достижение ее основной функции – производство продукции с заданными качественными и количественными характеристиками в соответствии с требованиями рынка (то есть продукта, который обладает потребительской ценностью и который будет оплачен потребителем).



*Холистическая базовая модель проектирования производственных систем*

Основными принципами системно-холистического подхода к проектированию производственных систем являются:

1. Принцип приоритетности целевой ориентации и функционального проектирования. То есть при формировании производственной структуры и процессов следует исходить из основной цели производственной системы и тех функций-задач, которые должны быть реализованы элементами и подсистемами для ее достижения.

2. Принцип диалектичности: то есть последовательное возвращение к предыдущим стадиям проектирования в случае невозможности решения задач на последующих. Например, при невозможности организации производственного процесса с заданными характеристиками (по численности оборудования, объемам выпуска, длительности производственного цикла и т.п.) необходимо провести перепроектирование элементной базы производственной структуры или даже вернуться на стадию формирования функций и функциональной дифференциации системы.

3. Принцип эмерджентности, целостность восприятия как производственной системы, так и ее элементов.

4. Стратегическая целевая ориентация с четким пониманием тактических решений для достижения поставленных целей и показателей результативности (дерево целей и показателей по всем уровням системы с учетом характера взаимодействия и связей элементов).

5. Принцип обратной связи.

Использование холистической модели проектирования производственной системы позволяет достичь следующих преимуществ: оптимизация распределения и затрат ресурсов; интеграция элементов и процессов производственной системы в единую целостность; ориентация каждого элемента производственной системы на достижение единой цели; повышение адаптивности, гибкости и скорости реагирования производственной системы на изменения внешней среды; достижение синергетического эффекта; обеспечение максимального соответствия производимой продукции запросам и требованиям рынка; обеспечение необходимого для эффективного развития предприятия уровня экономической эффективности производства за счет обеспечения

устойчивого экономического роста; инновационность и готовность производственной системы к нововведениям и изменениям.

### Выводы

Разработанная и представленная в статье базовая модель проектирования производственных систем на основе холистического подхода позволяет четко очертить круг функций и задач как системы в целом, так и элементов производственной структуры; разработать и внедрить на промышленном предприятии эффективную производственную структуру, отвечающую требованиям современных технологий и методов организации производственных процессов; определить необходимое оптимальное ресурсное обеспечение; создать и усовершенствовать связи и отношения между элементами производственной системы.

Также стоит отметить, что, находясь на пороге (или в процессе) четвертой промышленной революции, теория и практика организации производственных процессов и проектирования производственных систем должны отвечать требованиям и запросам современных промышленных предприятий, способствуя росту их эффективности и конкурентоспособности во всех аспектах технологических изменений (робототехника, беспилотники, новые материалы и биотехнологии, цифровизация [5]). Системно-холистическая модель проектирования производственных систем создает научно обоснованную базу для дальнейших разработок и исследований в области организации производства будущего.

### Список литературы

1. Digital transformation. Creating new business models where digital meets physical. IBM Global Business Services Executive Report. IBM Global Services, NY 10589, U.S.A. April 2011. – P. 3.
2. Additive Manufacturing. Edited by A. Bandyopadhyay, S. Bose. CRC Press Taylor & Francis Group. – 2017. – P. 5–7.
3. Тихомирова О.Г. Методологические основы проектирования социально-экономических нейронных сетей (SENS-систем) // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 4–3. – С. 719–723.
4. Сури Р. Время – деньги. Конкурентное преимущество быстрореагирующего производства [Электронный ресурс] / Р. Сури; пер. с англ. В.В. Дедюхина. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 326 с.
5. Шваб К. Четвертая промышленная революция: перевод с английского. – М.: Изд-во «Эксмо», 2017. – С. 17–24.