

УДК 658.5.011

Методы и критерии создания интегрированных производственных систем

Постников Александр Викторович

pav23b035@student.bmstu.ru

Титов Даниил Сергеевич

dani_titov@bk.ru

SPIN-код: 2881-0297

Постникова Елена Сергеевна^(*)

postnikova.el@bmstu.ru

SPIN-код: 4385-2535

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена актуальность кооперации предприятий и создания интегрированных производственных систем (ИПС) в сфере машиностроительного производства. Предложено проводить отбор предприятий в состав ИПС в три этапа: предварительный отбор, углубленный анализ и оценка предприятий-кандидатов, окончательный отбор. Для каждого этапа отбора предложены и описаны методы и критерии выбора партнеров для кооперации с целью создания ИПС. Предложено учитывать ряд дополнительных факторов, характеризующих производственную систему и географическое расположение предприятия-партнера относительно головного предприятия, и в связи с этим в качестве основного критерия выбора рассматривать длительность производственного цикла изготовления головным предприятием изделия заданного качества при минимальном уровне затрат. Определены направления развития проведенного исследования.

Ключевые слова: интегрированные производственные системы, многокритериальный экспертный анализ, метод анализа иерархий, технологический аудит, критерии отбора партнеров

Methods and criteria for creating integrated production systems

Postnikov Alexander Viktorovich

pav23b035@student.bmstu.ru

Titov Daniil Sergeevich

dani_titov@bk.ru

SPIN-code: 2881-0297

Postnikova Elena Sergeevna

postnikova.el@bmstu.ru

SPIN-code: 4385-2535

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The relevance of enterprise cooperation and the creation of integrated production systems (IPS) in the field of mechanical engineering is considered. It is proposed to select enterprises for the IPS in three stages: preliminary selection, in-depth analysis and evaluation of candidate enterprises, and final selection. It is suggested to consider a number of additional factors characterizing the production system and the geographical location of the partner enterprise relative to the parent company. In this regard, the main selection criterion is considered to be the duration of the production cycle for the parent company to manufacture a product of a given quality with a minimum level of costs. The directions for further development of the research are defined.

Keywords: *integrated production systems, multi-criteria expert analysis, hierarchy analysis method, technological audit*

Введение. Организация машиностроительного производства конкурентоспособной продукции тесно связана с внедрением новых технологий и высокопроизводительного оборудования, позволяющих выпускать продукцию высокого качества за короткие сроки и с меньшими затратами. Технологические возможности по обеспечению заданного качества изделий в ряде случаев не могут быть реализованы при использовании производственного потенциала одного отдельно взятого предприятия. Потребность в современном высокотехнологичном оборудовании может быть удовлетворена на основе кооперации предприятий и создания интегрированных производственных систем (ИПС) [1, 2] с составом элементов технологических систем (ТС), обеспечивающих высокий уровень производственной технологичности изделий [3], одного из основных показателей качества.

При этом организация производства в условиях ИПС сопровождается необходимостью управления сложной сетью взаимосвязей и решения целого ряда проблем юридического, экономического и организационно-производственного характера. В общем случае, процесс проектирования ИПС нацелен на определение совокупности взаимосвязанных объектов производственно-технологических возможностей (технологические методы, производственные ячейки, оборудование, параметры загрузки и др.) [2].

При выборе предприятий для организации ИПС могут рассматриваться несколько вариантов, для оценки которых необходимо сформировать систему критериев рациональности и разработать соответствующий алгоритм отбора.

Материалы и методы. Не существует одного единственного идеального метода выбора партнеров для кооперации — это системный процесс, сочетающий в себе финансовый анализ, технологическую экспертизу, личную проверку и тестовое взаимодействие.

В соответствии с ГОСТ Р 58124–2018 выбор предприятия-изготовителя осуществляется на основании оценки производственной технологичности изделия, которая проводится путем сопоставления конструктивно-технологических решений изготовления изделия с производственно-технологическими возможностями потенциальных предприятий-изготовителей.

Выбор партнеров по кооперации требует применения как количественных, так и качественных методов. Эти методы часто используются не по отдельности, а в комбинации, на разных этапах отбора.

Предварительный отбор может осуществляться на основе анализа открытых данных, в первую очередь, о производственно-технологических возможностях предприятий-кандидатов. На этом этапе наиболее часто используют расчетно-статистические методы оценки технического уровня предприятий, основанные на сборе большого количества статистической информации о предприятии и последующей их обработке. Они позволяют оценить только отдельные параметры предприятия, но не дают комплексной картины его со-

стояния. В дополнение может разрабатываться и рассылаться широкому кругу потенциальных партнеров опросник по базовой информации о компании (о мощностях, опыте и компетенциях).

Предприятия, отобранные на предварительном этапе, подвергаются сравнению на основе более глубокой оценки. Самыми распространенными методами на этом этапе отбора являются: многокритериальный экспертный анализ (МЭА) и технологический аудит.

При проведении МЭА формируется система взвешенных критериев X_i (например, цена (X_1) имеет коэффициент значимости для выбора партнера $\beta_1 = 0,3$ (30 %); качество (X_2) — $\beta_2 = 0,25$ (25 %); сроки выполнения заказа (X_3) — $\beta_3 = 0,2$ (20 %); репутация, характеризующая надежность потенциального партнера (X_4) — $\beta_4 = 0,15$ (15 %); техническое состояние и гибкость ТС (X_5) — $\beta_5 = 0,1$ (10 %). Каждому претенденту эксперты выставляют баллы по каждому критерию. Результат оценки получают балльным методом по формуле:

$$I = \sum_{i=1}^m X_i \beta_i,$$

где m — количество критериев оценки.

Чтобы получить количественную оценку, которая позволит объективно сравнить различные варианты ИПС можно использовать также метод анализа иерархий (МАИ) [4, 5], согласно которому строится иерархическая структура решаемой проблемы. В вершине находится цель (выбор лучшего партнера по кооперации), на следующем уровне иерархии отражаются критерии оценки (цена, качество, сроки, надежность и др.), а на нижнем уровне — альтернативы (потенциальные партнеры или их предложения).

Экспертам предлагается сравнивать элементы на каждом уровне иерархии попарно. На основании своего субъективного мнения они оценивают относительную важность одного элемента по сравнению с другим. Это позволяет перевести качественные оценки в безразмерные приоритеты. Матрицы парных сравнений анализируются на согласованность с помощью специального коэффициента. Если оценка экспертов противоречива, может потребоваться повторное сравнение.

Приоритеты, полученные на этапе парных сравнений, агрегируются с помощью линейной свертки по всей иерархии. В результате этого синтеза вычисляется общий приоритет каждой альтернативы относительно главной цели. Наилучшим считается партнер или его предложение с наибольшим значением полученного приоритета.

Технологический аудит сопряжен с выездной проверкой предприятий потенциальных партнеров, в ходе которой проводят оценку реального состояния оборудования, системы менеджмента качества, компетенций персонала, производственной культуры, экологической безопасности, а также устанавливают соответствие заявленных мощностей реальным возможностям. Этот метод позволяет выявить скрытые риски в связи обеспечением заданного качества изделия, производительности, экономичности и срокам

выполнения работ, и поэтому его целесообразно использовать на финальном этапе отбора.

Результаты. Проведенный анализ методов и подходов к выбору партнеров для создания ИПС показал, что основное внимание при оценке кандидатов уделяется производственным возможностям оборудования и применяемых технологий обеспечить заданный уровень качества изделий, т.е. возможностям технологической системы [2, 6–9]. Однако при передаче части производственного процесса изготовления изделия (например, изготовление некоторых деталей) предприятию-партнеру по кооперации необходимо также учитывать ряд факторов, характеризующих его производственную систему и географическое расположение относительно головного предприятия.

Затраты времени на логистические процессы, время ожидания, которое может возникнуть в процессе оперативного планирования выполнения заказа предприятием-партнером, вероятные простои или изменение планов его производства из-за срывов поставок материалов, простои из-за внезапных отказов оборудования и возможность (или невозможность) формирования обходных технологических процессов, обеспечивающих выполнение требований по качеству изделий, а также продолжительность процессов, связанных с контролем качества, страхованием, обработкой заказов и пр. увеличивают продолжительность производственного цикла изготовления готового изделия головным предприятием. В связи с этим производственный цикл изготовления готового изделия или партии изделий следует рассматривать в качестве основного критерия при отборе предприятий в состав ИПС. Лучшим может быть признан вариант предприятия, который при прочих удовлетворительных условиях обеспечивает минимум производственного цикла в рамках максимально допустимого срока выполнения заказа.

При фиксированном (заданном) уровне качества выбор может осуществляться по соотношению затрат на обеспечение данного качества и времени производственного цикла:

$$\begin{cases} T_{\text{пр.}i} \rightarrow \min \\ S_i \rightarrow \min \end{cases} \text{ при условии } T_{\text{пр.}i} \leq T_{\text{дир.}}$$

Обсуждение. При отборе предприятий в ИПС необходимо учитывать множество дополнительных факторов, которые влияют на совместимость партнеров с головным предприятием и требуют дополнительного исследования.

Предприятие-партнер должно быть глубоко интегрировано в общую систему планирования ресурсов ИПС [10], что требует разработки метода прозрачного планирования и координации планов предприятий ИПС. Прозрачное планирование позволит в режиме реального времени видеть статус заказа, уровни запасов и загрузку мощностей. Предприятия будут иметь возможность принять и своевременно выполнить новый заказ без ущерба для своих приоритетных проектов.

Предприятия ИПС должны иметь способность быстро реагировать на изменения в конструкторской документации изделий, которые неизбежны

в ходе совместного проекта. Это требует учета уровня унификации и интеграции программного обеспечения CAD/CAM/PLM.

При отборе предприятий необходимо учитывать вид, качество и доступность используемых материалов, а также уровень контроля качества изготовления с учетом связей свойств материалов, что требует дополнительного исследования по разработке критерия оценки качества обработки.

Заключение. Отбор предприятий для построения ИПС целесообразно осуществлять в три этапа:

1. Предварительная оценка финансово-экономического состояния и производственно-технологических возможностей расчетно-статистическим методом на основе анализа информации из открытых источников. Критериями выбора можно считать оценку экономической устойчивости предприятия и степень соответствия требованиям поставленных задач.

2. Углубленная экспертная оценка состояния предприятий-кандидатов по критериям цены, качества, срока выполнения заказа, технического состояния и гибкости ТС методом МЭА или МАИ, а также корректировка полученных результатов на основе сравнения значений прогнозируемой продолжительности производственного цикла изготовления готовых изделий головным предприятием при использовании различных вариантов кооперации.

3. Окончательный отбор на основе результатов технологического аудита, позволяющего описать систему вероятных рисков и оценить их влияние на эффективность того или иного варианта ИПС.

Список источников

- [1] Постникова Е.С., Ставровский М.Е. Повышение уровня технологичности конструкций изделий машиностроения — фактор обеспечения их конкурентоспособности. *Инновации в менеджменте*, 2022, № 4 (34), с. 48–53.
- [2] Рахмилевич Е.Г. Производственная кооперация на основе конструктивно-технологических вариантов продукции. *Инновации в менеджменте*, 2023, № 1 (35), с. 50–57.
- [3] Постникова Е.С., Ставровский М.Е. Проектирование интегрированных производственных структур для обеспечения технологичности конструкции изделий машиностроения. *Инновации в менеджменте*, 2023, № 3 (37), с. 50–58.
- [4] Saaty T.L. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York, McGraw-Hill, 1980, 287 p.
- [5] Сидоров М.И., Рагуткин А.В., Преображенская Е.В. Модель оптимального распределения запасных частей при неполной информации о состоянии оборудования. *Инновационные технологии в электронике и приборостроении. Рос. науч.-техн. конф. с междунар. уч. Физико-технологического института РТУ МИРЭА: сб. тр.* Москва, МИРЭА, 2020, т. 2, с. 165–169.
- [6] Стуруа К.О., Водчиц А.С., Ляхович Д.Г. и др. Проектирование организационной структуры управления предприятия машиностроения: принципы, методы и подход к реализации. *Будущее машиностроения России. 13-я Всерос. конф. молодых ученых и специалистов (с междунар. участием): сб. докл.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020, т. 2, с. 377–379.
- [7] Колобов А.А., Омельченко И.Н., Орлов А.И. *Менеджмент высоких технологий. Интегрированные производственно-корпоративные структуры: организация, экономика, управление, проектирование, эффективность, устойчивость*. Москва, Экзамен, 2008, 24 с.

-
- [8] Захаров М.Н., Омельченко И.Н., Саркисов А.С. *Ситуации инженерно-экономического анализа*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014, 42 с.
 - [9] Омельченко И.Н., Захаров М.Н., Ляхович Д.Г. Проектирование промышленных корпоративных структур: процесс и подход к реализации. *Чарновские чтения. X Всерос. науч. конф. по организации производства: сб. тр.* Москва, НП Объединение контролеров, 2021, с. 145–151.
 - [10] Рахмилевич Е.Г., Захаров В.А. Определение производственно-технологических возможностей предприятия по производству новых изделий и оценка вариантов изготовления базовых элементов конструкции. *Инновации в менеджменте*, 2020, № 2 (24), с. 54–61.