

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ МЕЗОЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (НА ПРИМЕРЕ СЕТИ БЕТОННО-РАСТВОРНЫХ УЗЛОВ)

Предметом исследования является одна из проблем формирования мезологистических систем сетевой структуры, а именно определение оптимального количества элементов в сети. В работе предложены два подхода к оптимизации количества элементов сети, основанные на методах теории игр и теории управления запасами. Рассмотрены вопросы информационного обеспечения расчетов. Методические разработки реализованы на примере сети бетонно-растворных узлов строительной корпорации.

Проблемы формирования структуры мезологистической системы. В настоящее время эффективное управление производством и распределением продукции на основе логистических подходов и принципов требует рассмотрения и рациональной организации логистических систем нового типа. Наряду с традиционно выделяемыми микро- и макрологистическими системами, активно формируется и приобретает значимость промежуточная структура, обладающая определенной спецификой и нуждающаяся в особых методах анализа и управления. Речь идет о так называемых мезологистических системах.

Под *мезологистической системой* (МЗЛС) мы понимаем систему, созданную в рамках корпорации, имеющей сложную структуру, включающую несколько различных территориально обособленных производств, объединенных единой собственностью и имеющих одну или несколько интегрированных микрологистических систем. Мы рассматриваем частный случай таких систем - с сетевой структурой. Речь идет о сети однородных (производящих однотипную продукцию) экономических объектов, действующих согласованно и совместно удовлетворяющих потребительский спрос.

Проблемы эффективного текущего управления деятельностью сетевых МЗЛС, механизма взаимодействия и координации отдельных элементов этой системы недостаточно проработаны в теоретическом и мето-

дическом плане. Не менее важным является комплекс вопросов, связанных с формированием подобных систем, выбором их оптимальной структуры и механизмом структурной адаптации к изменениям и нестабильности внешней и внутренней экономической среды.

Предметом данной статьи является одна из проблем формирования мезологистических систем, а именно определение оптимального количества элементов в структуре сети. В качестве исследуемой системы выбрана сеть бетонно-растворных узлов (БРУ) строительной корпорации Уральского региона.

Спрос на бетонный раствор носит существенно стохастический характер. Нестабильность спроса проявляется как в суточном разрезе, так и на более продолжительных временных интервалах – неделях, месяцах. В силу этого имеющиеся производственные мощности трех функционирующих БРУ не всегда загружены заказами в полном объеме. С другой стороны, в отдельные периоды не все заказы удается удовлетворить существующими мощностями.

Увеличение количества БРУ может позволить увеличить доходы за счет более полного удовлетворения спроса на продукцию. Однако создание дополнительных узлов требует затрат, и, кроме того, неизбежно увеличиваются потери, связанные с непроизводительными простоями при отклонениях спроса в меньшую сторону и недогрузке имею-

щихся и вводимых мощностей. На этом основана возможность и целесообразность оптимизации суммарной производственной мощности сети.

Поскольку значимое влияние на выбор оптимума оказывает поведение спроса, базой для поиска наилучшего решения должны стать анализ и прогнозирование спроса на бетонный раствор.

Анализ и прогнозирование поведения спроса на продукцию бетонного завода. Прогнозирование спроса на бетон осуществляется в два этапа: сначала прогнозируется темп прироста годового спроса на основе его динамики за последние годы и мнения экспертов. Прогнозирование по временному тренду, с использованием метода скользящего среднего, и экспертные оценки приводят к близким результатам. Величина данного показателя на предстоящий год оценивается на уровне 44,6 %.

Затем исследуется закон распределения спроса на базе его поведения за последние годы помесячно. Подбор закона распределения по статистическим данным и оценка адекватности теоретического закона эмпирическому производится при помощи критерия согласия Пирсона (критерия χ^2).

Итоговый прогноз спроса заключается в выявлении параметров закона распределения, скорректированных на прогнозируемый темп прироста спроса. При этом в параметрах закона сохраняется степень нестабильности, выражаемая коэффициентом вариации и оцененная по статистическим данным.

По виду гистограммы распределения месячного спроса (рис. 1) можно предположить нормальность его закона распределения.

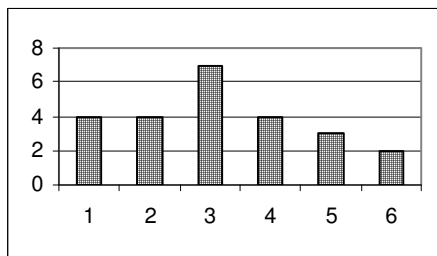


Рис. 1. Гистограмма распределения месячного спроса на продукцию бетонных заводов корпорации

Статистические параметры выборки: среднее значение $d_{\text{сред}} = 15692,1 \text{ м}^3$, стандартное отклонение $S_d = 5590,9$. Близость эмпирических и теоретических частот в предположении нормального распределения рассматриваемой случайной величины с рассчитанными параметрами оценена по критерию χ^2 . Выборочное значение статистики χ^2 равно 2,56, а критическое значение для уровня значимости 0,01: $\chi^2_{\text{кр}} = 11,34$. Таким образом, $\chi^2 < \chi^2_{\text{кр}}$, следовательно, нет оснований отвергать выдвинутую гипотезу.

В результате проведенного анализа делаем вывод, что месячный спрос на бетонный раствор имеет нормальный закон распределения с рассчитанными выше параметрами $d_{\text{сред}}$ и S_d .

Поскольку закон распределения получен на основе ретроспективного анализа, а в соответствии с выявленной тенденцией спрос ежегодно повышается, то для использования данного закона распределения в прогнозных целях необходима его корректировка. Суть корректировки заключается в повышении значения среднемесячного спроса на прогнозируемый темп прироста, т.е. на 44,6%, и сохранении прежней степени изменения спроса, измеряемой коэффициентом вариации. По выборке коэффициент вариации составил 35,6 %.

С учетом приведенных соображений прогнозные параметры нормального закона распределения месячного спроса следующие: среднее значение $d_{\text{сред}} = 22691 \text{ м}^3$; стандартное отклонение $S_d = 8084$.

Выявленный закон распределения является основой для оптимизации структуры сети.

Методические подходы к оптимизации структуры сети бетонно-растворных узлов. Для расчета оптимального количества элементов сети можно воспользоваться различными экономико-математическими моделями и методами.

Возможность моделирования ситуации языком теории массового обслуживания определяется тем, что каждый БРУ можно рассматривать как систему массового обслуживания, обслуживающую нуждающихся в бетоне клиентов. Процесс поступления заявок на обслуживание существенно стохастичен,

время обслуживания также в достаточной мере случайно. Все это свидетельствует о возможности анализа рассматриваемых процессов в терминах теории массового обслуживания и на основе ее моделей.

Однако процесс поступления и обслуживания заявок на бетон существенно определяется не временем (или не только временем), а объемными параметрами получаемых заявок. Несколько поступающих заявок, независимо от их поведения во временном аспекте, могут реально с точки зрения системы массового обслуживания вести себя как одна заявка, в случае, если удастся одним рейсом миксера удовлетворить их потребность. И неважно с точки зрения реальной ситуации динамика поступления этих заявок во времени.

Возможен и обратный вариант: одна большая заявка требует для своего выполнения больших производственных ресурсов, влияя на возможность выполнения других заявок, и нескольких единиц подвижного состава для доставки бетона.

Учет этих моментов только через показатель длительности процесса обслуживания, причем одинаково распределенный для всех потенциальных клиентов (а теория массового обслуживания не имеет иных инструментов дифференциации таких ситуаций) не обеспечивает адекватность модели.

Таким образом, моделирование средствами теории массового обслуживания приводит к потере существенных аспектов реальной ситуации, обрекая формируемые модели на неадекватное описание исследуемых процессов. Необходимо применение моделей, которые позволят учесть в большей мере именно объемные характеристики спроса на бетон, не исключая полностью и временного аспекта.

Поскольку решение по количеству БРУ приходится принимать в условиях неопределенности рыночного спроса, усложняющей процесс выбора оптимального решения и приводящей к неполной предсказуемости результатов принятого решения, можно воспользоваться подходами теории игр. Этот раздел исследования операций позволяет обосновать оптимальные решения в условиях неопределенности, противоположных интересов различных сторон, конфликтных ситуаций.

В терминах теории игр ситуация может быть интерпретирована как игра с природой в условиях статистической неопределенности. Стратегии руководства корпорации заключаются в дополнительном (к имеющимся трем БРУ) вводе нескольких БРУ. Стратегии природы – различный уровень спроса на рынке сбыта бетонного раствора.

Для описания стратегий природы (состояний рынка) и их вероятностей можно воспользоваться полученным законом распределения спроса, сформировав на его основе интервальные оценки возможных значений.

Целесообразно выделить интервалы значений спроса в соответствии с тем, какой объем производственной мощности дополнительно вводимых БРУ будет покрыт этим спросом. Первый интервал значений будет соответствовать сохранению прежнего состояния рынка: спрос покрывает только производственную мощность трех имеющихся БРУ, второй интервал значений спроса покрывает производственную мощность имеющихся и одного дополнительного БРУ и т. д. Границы интервалов выбраны в центре промежутков между значениями суммарной производственной мощности соответствующего количества БРУ.

Вероятности того, что спрос принимает значения из выделенных интервалов, определяются законом распределения (как разность значений интегральной функции распределения в правой и левой границах интервалов).

Вид платежной матрицы игры, представляющей доходы завода при различных комбинациях стратегий, приведен в табл. 1.

Период расчета ЧДД может быть выбран, исходя из инвестиционной политики руководства корпорации (ориентировочно от 3 до 7 лет). Поскольку для каждого из четырех состояний спроса имеется оценка вероятности P_j , далее для каждой стратегии можно оценить средний ожидаемый доход при применении данной стратегии. Он определяется как средневзвешенная величина (в качестве весов выступают вероятности четырех уровней спроса):

$$\bar{D}_i = \sum_{j=3}^6 D_{ij} \cdot P_j . \quad (1)$$

Оптимальной является стратегия, для которой средний ожидаемый доход максимален, т. е.

$$D = \max_{i=1,2,3} \{ \bar{D}_i \}. \quad (2)$$

Данная методика определения оптимальной структуры сети основана на дискретных прогнозных оценках спроса, несколько упрощая, «огрубляя» ситуацию.

Оптимизация количества БРУ может быть реализована и с использованием другого математического аппарата исследования операций – на основе подхода теории управления запасами. При выборе оптимального объема страхового запаса принято ориентироваться на минимум суммарных затрат (потерь), связанных с созданием и содержанием запаса, и убытков при возникновении дефицита в случае его недостаточности для компенсации возникающих сбоев.

Имеющиеся производственные мощности могут быть уподоблены страховому запасу при нестабильном спросе. Спрос при этом рассматривается как случайная величина, закон распределения которой известен. Затраты на содержание запаса в данной интерпретации представляют собой сумму затрат на создание и содержание БРУ, в данном случае – капитальных вложений и лизинговых платежей. Убытки от дефицита – это та прибыль, которая могла бы быть получена с неудовлетворенного спроса, превышающего производственные мощности.

В соответствии с положениями теории управления запасами страховой запас оптимален, когда он обеспечивает вероятность бездефицитной работы, равную плотности убытков от дефицита. Под плотностью убытков от дефицита понимается отношение убытков от дефицита (на какой-либо объем ресурса в некоторую единицу времени) h к сумме этих убытков и затрат на хранение

страхового запаса s на тот же объем ресурса за тот же интервал времени:

$$c = h / (h + s). \quad (3)$$

Интерпретируя данный результат для рассматриваемой ситуации, оптимальное количество БРУ можно определить из следующего условия: вероятность отсутствия дефицита (непревышения спроса над производственными мощностями, имеющихся и вводимых БРУ) должна быть равна плотности убытков от дефицита.

Как уже отмечено, роль затрат хранения s в этом случае играют капитальные затраты, скорректированные на коэффициент гарантированной доходности капитальных вложений, и годовые лизинговые платежи в расчете на единицу производственной мощности (на 1 м^3):

$$s = (KE + \Pi) / Q, \quad (4)$$

где Q – проектная производственная мощность одного вводимого БРУ, м^3 ;

K – капитальные затраты на ввод одного БРУ, тыс. руб.;

E – коэффициент гарантированной доходности капитальных вложений или величина, обратная к желательному сроку окупаемости;

Π – годовой лизинговый платеж, тыс. руб.

Убытки от дефицита h – это недополученная прибыль с единицы продукции (1 м^3), на которую имеющийся спрос не был обеспечен производственной мощностью:

$$h = \Pi / Q, \quad (5)$$

где Π – годовая прибыль одного БРУ с учетом лизинговых платежей, тыс. руб.

В итоге плотность убытков от дефицита равна

$$c = \Pi / (\Pi + KE + \Pi). \quad (6)$$

Можно отметить, что способ расчета дан-

Таблица 1

Платежная матрица игровой ситуации

Стратегии корпорации		Состояние рынка сбыта: спрос покрывает объемы выпуска			
		3 БРУ	4 БРУ	5 БРУ	6 БРУ
Ввести дополнительно	1 БРУ	D_{13}	D_{14}	D_{15}	D_{16}
	2 БРУ	D_{23}	D_{24}	D_{25}	D_{26}
	3 БРУ	D_{33}	D_{34}	D_{35}	D_{36}

Примечание. D_{ij} – это кумулятивный чистый дисконтированный доход корпорации при вводе i -х дополнительных БРУ ($i = 1, 2, 3$) и состоянии спроса, покрывающем объем производства j -го БРУ ($j = 3, 4, 5, 6$).

ного показателя, фактор времени в котором пропорционально влияет и на числитель, и на знаменатель, определяет возможность применения его к анализу в любом масштабе времени: годовом, квартальном, месячном и т. д.

Вероятность бездефицитной работы – это вероятность того, что спрос на бетонный раствор за месяц не превысит суммарной производственной мощности существующих и вводимых БРУ:

$$P\{d \leq Q_{\Sigma}\}, \quad (7)$$

где d – случайная величина месячного спроса на бетонный раствор, м³;

Q_{Σ} – оптимальная суммарная месячная производственная мощность совокупности БРУ (существующих и вводимых) – искомая величина, м³.

Заметим, что выражение (7) представляет собой значение интегральной функции распределения случайной величины d в точке

Q_{Σ} , то есть $F_d(Q_{\Sigma})$. Таким образом, нахождение оптимальной суммарной мощности БРУ сводится к установлению аргумента интегральной функции распределения, при котором она принимает значение, равное плотности убытков от дефицита ρ . Соответствующее уравнение имеет вид

$$F_d(Q_{\Sigma}) = \rho. \quad (8)$$

Отсюда подбираем Q_{Σ} , при котором выполняется данное равенство. С учетом существующих мощностей определяем потребность в дополнительных БРУ.

В результате расчетов получаем оптимальное значение суммарной производственной мощности в месяц, и соответственно в год. Учитывая, что в данном методе расчета мы никак не учитывали возможность скачкообразного наращивания производственной мощности, после расчета необходимо уточнить, при каком количестве дополнительных БРУ можно обеспечить требуемый оптимальный уровень производственной мощности.

Расчет оптимальной структуры сети бетонно-растворных узлов. Исходная информация для расчетов приведена в табл. 2.

Реализуя описанный выше подход на основе теории игр, получаем результаты, представленные в табл. 3. Сопоставление стратегий ведется на основе кумулятивного чистого дисконтированного дохода за 5 лет (в платежной матрице получаемая прибыль и лизинговые платежи продисконтированы со ставкой дисконта 15 %).

В последней графе таблицы даны оценки среднего ожидаемого (с учетом вероятностей различных значений спроса) чистого дисконтированного дохода, определенного по формуле (1). Таким образом, наилучшей стратегией в соответствии с выбранным показателем является строительство одного дополнительного бетонно-растворного узла к уже имеющимся трем.

В данном расчете не учтено сокращение транспортных расходов за счет уменьшения обслуживаемой площади при росте числа БРУ. Учет данного фактора роста прибыли возможен путем корректировки получаемой прибыли от одного БРУ при увеличении их количества.

Таблица 2

Проектные показатели производства бетонного раствора при вводе дополнительных БРУ

Показатель	Обозначение	Значение
Годовая производственная мощность трех имеющихся БРУ, м ³	–	219100
Капитальные вложения в строительство одного дополнительного БРУ, тыс. руб.	К	21500
Годовая прибыль от одного дополнительного БРУ при полной загрузке, тыс. руб.	П	21200
Годовой лизинговый платеж за один дополнительный БРУ, тыс. руб.	Л	7190
Объем производства одного дополнительного БРУ, м ³	Q	75000

При использовании второго из описанных выше подходов к оптимизации структуры сети необходимо оценить плотность убытков от дефицита s в соответствии с исходными данными табл. 2: $\rho = 0,627869$.

В результате решения уравнения (8) получаем оптимальное значение суммарной производственной мощности $25328,12 \text{ м}^3$ в месяц, или $303937,4 \text{ м}^3$ в год. Требуемая дополнительная производственная мощность до оптимального уровня составляет $84837,45 \text{ м}^3$. Учитывая проектный объем выпуска продукции, вводимыми БРУ, можно сделать вывод о том, что оптимальным решением является ввод одного дополнительного бетонно-растворного узла.

Таким образом, воспользовавшись различными математическими методами, мы получили один и тот же результат.

Предложенные методики оптимизации суммарной мощности сети при нестабильном спросе являются универсальными и могут

использоваться для любой корпорации, имеющей сетевую структуру организации производства. Используя первую методику, мы опирались на интервальные оценки прогнозируемого спроса, полученные по статистическим данным. В отсутствии доступа к статистике либо для новых предприятий возможна реализация описанной методики на базе экспертных оценок значений спроса и их вероятностей. Применение второй методики требует более развитой информационной базы.

Явные экономические преимущества сетевых мезологистических систем, связанные с возможностью логистической интеграции (и сокращения части) функциональных подсистем, обусловили их широкое распространение в экономической практике. Методический аппарат обеспечения эффективного формирования и функционирования таких систем требует дальнейшего развития и совершенствования.

Таблица 3

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) при возможных стратегиях

Стратегии корпорации: ввести дополнительно	ЧДД при различных состояниях рынка, тыс. руб.				Средний ожидаемый ЧДД, тыс. руб.
	спрос принимает значения (м^3)				
	до 256600	от 256600 до 331600	от 331600 до 406600	свыше 406600	
1 БРУ	-49217,3	60225,5	60225,5	60225,5	16448,4
2 БРУ	-98434,6	11008,2	120451,1	120451,1	64,0
3 БРУ	-147651,9	-38209,0	71233,8	180676,6	-38209,0
Вероятности состояний рынка	0,4	0,3	0,2	0,1	—