

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ Б.Н.ЕЛЬЦИНА»

Институт Строительства и Архитектуры  
Кафедра Промышленного, гражданского строительства  
и экспертизы недвижимости

УДК \_\_\_\_\_

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ ПЕРЕД ГЭК

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Н.И. Фомин

«01» июня 2023 г.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

**Исследование выбора комплектов строительных  
машин для возведения монолитных зданий в Китае**

**Направление подготовки 08.04.01 Строительство**

Научный руководитель \_\_\_\_\_ Фомин Н. И.  
доцент, к.т.н., заведующий кафедрой

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ Фомин Н. И.

Студент группы КРИМ-210011к \_\_\_\_\_ Сюэ Жуй

Екатеринбург, 2023

Институт Строительства и Архитектуры  
Кафедра Промышленного, гражданского строительства и экспертизы недвижимости  
Направление подготовки 08.04.01 «Строительство»  
Образовательная программа 08.04.01/33.01 «Промышленное и гражданское строительство»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Н. И. Фомин  
«18» октября 2021 г.

## ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

студента \_\_\_\_\_ Сюэ Жуй \_\_\_\_\_ группы КРИМ-21001к  
(фамилия, имя, отчество)

**1. Тема выпускной квалификационной работы** Исследование выбора комплектов строительных машин для возведения монолитных зданий в Китае

Утверждена распоряжением по институту от «18» октября 2021 г. № 33.00-05/9(02)

**2. Руководитель** Фомин Н. И., дир. института, зав. кафедрой, к.т.н., доцент

(Ф.И.О., должность, ученое звание, ученая степень)

**3. Исходные данные к работе** Действующие национальные стандарты, кодексы, книги и статьи по строительной машине в Китае

### 4. Перечень демонстрационных материалов

### 5. Календарный план

№ п/п	Наименование этапов выполнения работы	Срок выполнения этапов работы
1	Введение и глава 1. (описывает современное состояние строительной машины и типы машин, широко используемых в настоящее время)	до 30 декабря 2021 г.
2	Глава 2. (комплексная оценка по нескольким показателям)	до 20 июня 2022 г.
3	Глава 3. (модель комплексной оценки механической схемы для цельной бетонной конструкции)	до 23 апреля 2023 г.
	Оформление ВКР	до 23 мая 2023 г.

Руководитель \_\_\_\_\_ Фомин Н. И.  
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_ Сюэ Жуй  
(подпись) (Ф.И.О.)

**6. Выпускная квалификационная работа закончена** «22» мая 2023 г., считаю возможным допустить Сюэ Жуй к предварительной защите на заседании кафедры.

Руководитель \_\_\_\_\_ Фомин Н. И.  
(подпись) (Ф.И.О.)

**7. Допустить** Сяо Шотин к защите выпускной квалификационной работы в Государственной экзаменационной комиссии (протокол заседания кафедры № \_\_\_ от «\_\_\_» мая 2023 г.).

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Фомин Н. И.  
(подпись) (Ф.И.О.)

### 8. Замечания, выявленные на предварительной защите устранены

Руководитель \_\_\_\_\_ Фомин Н. И.  
(подпись) (Ф.И.О.)

## РЕФЕРАТ

*Структура ВКРМ* – выпускная квалификационная работа магистра состоит из введения, 3 глав, заключения, библиографии, состоящей из 13 электронных и 42 печатных источников, иллюстрирована 7 таблицами, 14 рисунками и 37 формулами.

*Актуальность исследования* – оборудование для производства монолитного бетона является основным органом, завершающим возведение бетона в строительных проектах. Различные схемы комбинации машин оказывают разное влияние на качество проекта, безопасность, ход работ, стоимость строительства и т. д. Поэтому выбор оптимальной схемы сочетания строительных машин очень важен.

*Объект исследования* – Гражданские здания с монолитными железобетонными несущими конструкциями.

*Предмет исследования* – Исследование выбора комплектов строительных машин для возведения монолитных зданий в Китае.

*Научная новизна* – выполненного исследования заключается в следующем.

Создан комплексный подход к выбору машинных решений для строительства из монолитного бетона. Метод оценивается в сочетании с примерами Анализ результатов и сравнение старого и нового методов иллюстрируют превосходство и осуществимость метода, а также его ценность для использования в практических проектах. Результаты анализируются и сравниваются со старым методом.

## **Abstract**

The structure of the *BKPM* – the master's final qualifying work consists of an introduction, 3 chapters, a conclusion, a bibliography consisting of 13 electronic sources and 42 printed sources, illustrated with 7 tables, 14 figures and 37 formulas.

The relevance of the research is that Monolithic concrete production equipment is the main body that completes the erection of concrete in construction projects. Different machine combination schemes have different effects on project quality, safety, work progress, construction cost, etc. Therefore, choosing the most optimal construction machine combination scheme is very important.

The object of research is Civil buildings with monolithic reinforced concrete bearing structures.

The subject of the study is Study of the choice of construction machine sets for the erection of monolithic buildings in China.

The scientific novelty of the performed research is as follows.

A comprehensive approach to the selection of machine solutions for monolithic concrete construction is created. The method is evaluated in conjunction with examples an analysis of the results and a comparison of the old and new methods illustrates the superiority and feasibility of the method, as well as its value for use in practical projects. The results are analyzed and compared with the old method.

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	1
<b>ГЛАВА 1. ПРЕДПОСЫЛКИ И ЗНАЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ</b> .....	2
1.1. Текущее состояние и перспективы исследований.....	2
1.2. Строительная техника, обычно используемая при строительстве из монолитного бетона .....	4
1.3. Значимость исследования .....	14
1.4. Текущее состояние исследований в Китае и других странах.....	15
Выводы по главе 1.....	21
<b>ГЛАВА 2. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПО НЕСКОЛЬКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ</b> .....	22
2.1. Монолитное строительство и комплексная оценка по многофакторная.....	22
2.2. Процесс комплексной оценки.....	23
2.3. Предварительная обработка показателей .....	24
2.4. Метод определения веса индекса .....	30
2.5. Метод агрегирования .....	33
Выводы по главе 2.....	36
<b>ГЛАВА 3.МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ЦЕЛЬНОЙ БЕТОННОЙ КОНСТРУКЦИИ</b> .....	37
3.1. Модельная конструкция .....	37
3.2. Определение системы показателей оценки .....	40

3.2.1. Принципы определения показателей оценки.....	41
3.2.2. Механические затраты.....	42
3.2.3. Механическое снабжение.....	43
3.2.4. Обеспечение качества строительства .....	43
3.2.5. Механическая эксплуатация .....	44
3.2.6. Координация между различными машинами .....	44
3.2.7. Механическая ремонтпригодность .....	45
3.3. Определение значения наблюдения индекса оценки .....	46
3.4. Предварительная обработка наблюдений .....	48
3.5. Метод "Градации" .....	49
3.6. Выбор режима сборки .....	50
3.7. Процесс комплексной оценки.....	51
3.8. Примеры расчетов и анализ .....	56
3.8.1. Пример расчета.....	56
3.8.2. Анализ результатов.....	59
3.8.3. Практические примеры из практики.....	60
Выводы по главе 3.....	64
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>64</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>	<b>68</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Строительная техника монолитного бетона является основным элементом инженерной бетонной конструкции. Различные схемы механического сочетания по-разному влияют на безопасность качества строительства, ход реализации проекта, стоимость строительства и т. д. Основываясь на характеристиках строительных машин для монолитного бетона и теории многоиндексной комплексной оценки, в данной статье предлагается модель комплексной оценки схемы строительной машины для монолитного бетона путем исследования и усовершенствования метода комплексной оценки "Градация". Модель оценки включает систему показателей оценки, получение и предварительную обработку системы показателей оценки, определение весового коэффициента, выбор метода сборки. Посредством сравнения результатов с новым и старым методами описываются преимущества и целесообразность метода, а ценность метода применяется в практической инженерии.

Поэтому целесообразно изучить оптимальную схему сочетания машин для строительства из монолитного бетона. Объект исследования – процесс строительства сборно-монолитных железобетонных гражданских зданий в Китае.

*Объект исследования* – Гражданские здания с монолитными железобетонными несущими конструкциями.

*Предмет исследования* – Исследование выбора комплектов строительных машин для возведения монолитных зданий в Китае.

*Структура ВКРМ* – выпускная квалификационная работа магистра состоит из введения, 3 глав, заключения, библиографии, состоящей из 13 электронных и 42 печатных источников, иллюстрирована 7 таблицами, 14 рисунками и 37 формулами.

# ГЛАВА 1. ПРЕДПОСЫЛКИ И ЗНАЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.1. Текущее состояние и перспективы исследований

Сегодня строительная отрасль является ведущей отраслью в национальном экономическом строительстве Китая, а также важной основой для выживания и развития смежных отраслей [1]. После реформы и открытости все больше средств инвестируется в строительную отрасль, благодаря чему строительная отрасль Китая играет все более важную роль в национальной финансовой системе и оказывает значительное влияние на развитие национальной экономики. Согласно данным о работе национальной экономики в первом полугодии, опубликованным Национальным бюро статистики в июле 2015 года, стоимость валовой продукции строительной отрасли Китая достигла 7237,4 млрд юаней, увеличившись на 4,3% по сравнению с тем же периодом; число занятых в строительной отрасли составило 6,42% от общего числа занятых во всем обществе, что на 0,58 процентных пункта больше, чем в прошлом году.

В связи с быстрым развитием модернизации городов в Китае строительная отрасль вступила в стадию бурного развития [2]. Постоянно появляются высотные и сверхвысотные железобетонные конструкции, а также различные здания и сооружения со сложными структурными формами, такие как Всемирный финансовый центр в Шанхае, Фаза III Международной торговли в Пекине и здание 117 в Тяньцзине. Такие проекты предъявляют повышенный спрос на монолитный бетон, однако они сталкиваются с такими трудностями, как большие объемы поставок бетона и высокая сложность строительства. Для того, чтобы удовлетворить требования к строительству из монолитного бетона, механизированное строительство стало важным средством бетон строения в современной строительной индустрии.

Под влиянием Советского Союза в начале 1950-х годов, в то время

основное внимание уделялось сборным бетонным компонентам и сборным конструкциям, а технологии строительства из монолитного бетона не уделялось внимания. После реформы и открытия Китай сосредоточился на развитии железобетонных конструкций, в результате чего технология монолитного бетона стала цениться. В последние десять лет, в связи с прогрессом технологии строительства из бетона, развитие технологии монолитного бетона стало более значительным [3].

Начало использования насосного бетона сопровождалось ростом высотных зданий и готового смешанного бетона и достигло популярности в 1990-х годах. Среди них Шанхай – первый город, применивший перекачку бетона и накопивший богатый опыт. При строительстве высотных зданий кран отвечает только за подъем арматуры и опалубки, а для бетона используются механические насосы и стрелы для укладки.

По сравнению с районом Пекин-Тяньцзинь, при строительстве высотных зданий стальные прутья и опалубка транспортируются башенными кранами, а бетон заливается ковшем и поднимается к месту заливки. Это связано в основном с тем, что бетононасосы в то время в основном импортировались из-за рубежа, а наша страна еще не полностью освоила технологию перекачки, что легко может привести к закупорке труб во время строительства, поэтому мы можем полагаться только на краны для завершения операции. В настоящее время рабочие характеристики отечественной техники для бетонных работ значительно улучшились, она имеет большие преимущества перед импортной продукцией по цене, поэтому ей отдают предпочтение большинство строительных предприятий.

На основе освоения технологии перекачки бетона отечественные строители-практики продолжают двигаться вперед и совершенствовать технологию перекачки, благодаря чему высота перекачки увеличивается. Например, единовременная высота перекачки телебашни "Восточная

жемчужина" в Шанхае достигла 350 метров [4]. В настоящее время высота единовременной перекачки бетона составляет около 400 м, и она стремится к 500 м. Видно, что производительность труда строителей, уровень цивилизованного строительства на объекте и качество проекта значительно улучшились после использования технологии перекачки.

## **1.2. Строительная техника, обычно используемая при строительстве из монолитного бетона**

### **(1) Бетономешалка [5]**

Обычные бетон смесители можно разделить на самопадающие и принудительные в соответствии с принципом смешивания [6], как показано на рис. 1.1 [7] и рис. 1.2 [8]. Барабан самопадающего смесителя устанавливается вертикально, и бетонная смесь перемешивается в барабане путем свободного падения, опрокидываясь вместе с вращением барабана. Преимуществами этой машины являются малый износ и легкая очистка, но она имеет большое энергопотребление и низкую эффективность. Она подходит для пластичного бетона и бетона с низкой текучестью. Время смешивания обычно составляет 90~120с/плита.



Рис.1.1. Самовсасывающие бетономесители



Рис.1.2. Турбовинтовой принудительный бетономесители

Этот тип смесителя был постепенно заменен принудительным смесителем из-за сильного истирания заполнителя и его влияния на качество бетона.

В барабане принудительного смесителя имеется несколько групп лопастей, которые при работе вращаются вокруг вертикальной или горизонтальной оси, и материалы принудительно перемешиваются до однородности. Этот тип машины имеет преимущества хорошего качества смешивания, высокой скорости, простого управления и высокой эффективности, но детали машины сильно изнашиваются, и она подходит для смешивания сухого и жесткого бетона и бетона с легким заполнителем.

## (2) Автобетоносмеситель

Автобетоносмеситель состоит из шасси грузовика и смесительного устройства, как показано на рис. 1.3 [9]. Смесительное устройство состоит из смесительного барабана, системы передачи, пневматической системы подачи воды и устройства подачи и выгрузки. Он подходит для транспортировки бетона на большие расстояния. Бетонная смесь, произведенная на бетоносмесительной установке, заливается в смесительный барабан и непосредственно транспортируется к месту заливки. В процессе транспортировки смесительный барабан медленно вращается, поэтому бетонная смесь постоянно перемешивается, что исключает ее расслоение.

В процессе эксплуатации следует учитывать, что бетон должен выгружаться равномерно и без расслоения в кратчайшие сроки, а выгрузка должна быть чистой и удобной, чтобы соответствовать строительным требованиям. После подачи автобетоносмесителя необходимо своевременно очищать смесительный барабан и сливать скопившуюся воду [10].



Рис.1.3. Автобетоносмеситель(SANY-SY204C-8Y)

### (3) Бетононасос [11] и автобетононасос

Существует много видов бетононасосов, и двухцилиндровый гидравлический поршневой насос является наиболее широко используемым в производстве, как показано на рис. 1.4 [12]. В процессе перекачки бетона он может одновременно выполнять горизонтальную и вертикальную двустороннюю передачу, обладает высокой стабильностью.

Он в основном используется в проектах с большим расстоянием перекачки и большим расходом бетона. Следует обратить внимание на расположение бетононасоса: площадка должна быть ровной и твердой, чтобы обеспечить условия для движения тяжелых транспортных средств; как можно ближе к месту заливки; близко к источнику воды для легкой очистки; обратите внимание на безопасность при транспортировке бетононасоса.



Рис.1.4. Бетононасос (НТВ22-20)



Рис.1.5. Автобетононасос(XCMG-HB67A)

Автобетононасос – это грузовой автомобиль с насосом для подачи бетона, как показано на рис. 1.5 [13]. Основные компоненты автобетононасоса включают в себя бункерное смесительное устройство, механизм толкания бетона, консольное распределительное устройство, механизм

распределительной задвижки, систему очистки, операционную систему, шасси автомобиля, систему трансмиссии и др. Он обладает такими преимуществами, как быстрый въезд, быстрое позиционирование, высокая эффективность работы, автоматизация управления, хорошая мобильность и т. д. Тем не менее, он также ограничен высокими требованиями к бетону и большой площадью пола.

#### (4) Разбрасыватель

Как показано на рисунке 1.6 [14], бетоноукладочная стрела — это устройство для укладки бетона, прикрепленное к автобетононасосу, которое является гибким и эластичным. Труба для транспортировки бетона устанавливается внутри стрелы. Для выполнения работ по распределению бетона во время его заливки конец трубы устанавливается в виде отрезка шланга.

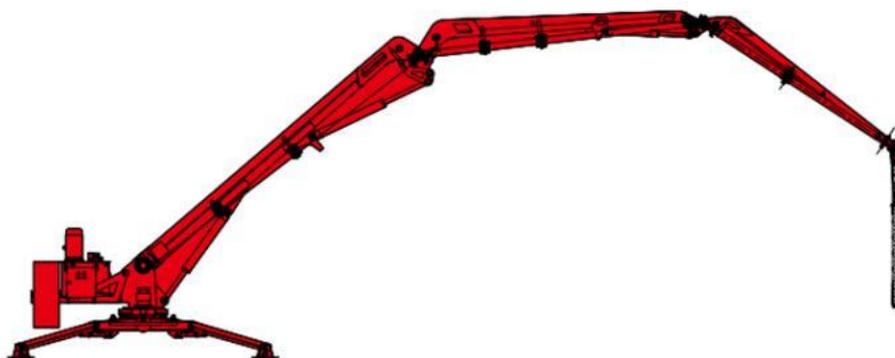


Рис.1.6. Трехсекционная стрела и диапазон распределения



Рис.1.7. Распределитель бетона (ZOOMLION-HGC36A-4Z)

Как показано на рис. 1.7 [15].бетоноукладочная машина – это конечное оборудование для перекачки бетона, которое используется для отправки перекачанного бетона в опалубку заливаемого компонента по трубопроводу. В целом, она подразделяется на гидравлический распределитель и ручной распределитель.

#### (5) Бадья для бетона

Бадья для бетона – это вид горизонтального и вертикального инструмента для транспортировки бетона, который обычно сваривается стальными пластинами. Он имеет повышенный квадратный, конический и двухсторонний типы разгрузки, и его емкость обычно составляет  $0,7\sim 1,4\text{ м}^3$ . В машиностроении он часто используется в сочетании с башенными кранами и другим оборудованием для вертикальной транспортировки. Как показано на рис. 1.8 [16].



Рис.1.8. Бадья для бетона

#### (6) Башенный кран [17]

Компоненты башенного крана в основном включают электрическую систему, рабочий механизм и металлическую конструкцию. Как показано на рис. 1.9 [18]. Он характеризуется большой высотой подъема, большим рабочим радиусом, высокой скоростью работы и высокой эффективностью подъема. Существует множество их видов, которые можно разделить на мобильный тип и стационарный тип в зависимости от наличия или отсутствия механизма передвижения; можно разделить на верхний поворотный тип и нижний поворотный тип в зависимости от формы поворота; в зависимости от формы установки можно разделить на три типа: монтажный тип, интегральный тип быстрого демонтажа и домкратный тип. В настоящее время в практических проектах наиболее широко используются башенные краны с поворотным механизмом вниз, быстроразборные и самоподъемные башенные краны. При установке, использовании и демонтаже башенных кранов следует придерживаться политики "безопасность превыше всего, профилактика

превыше всего и комплексное лечение" [19].



Рис.1.9. Башенный кран (POTAIN-MCT138)

#### (7) Автокран

Автокран – это вид подъемного оборудования, установленного на специально изготовленном шасси грузового автомобиля. Операционный зал и кабина установлены отдельно, что дает преимущества хорошей мобильности и быстрого перемещения, и может удовлетворить потребности в работе в условиях большой мобильности и временных строительных площадок. Существует много видов автокранов, которые можно разделить на легкие автокраны (менее 5 т), средние автокраны (5 т-15 т), тяжелые автокраны (15 т-50 т) и сверхтяжелые автокраны (более 50 т) в зависимости от грузоподъемности; в зависимости от способа передачи передаточного устройства, их можно разделить на: электрическую передачу, гидравлическую передачу, механическую передачу и т. д. Как показано на рис. 1.10 [20].



Рис.1.10. Автокран (SANY-STC250E5-1)

#### (8) Вибрационное оборудование

Для обеспечения качества формирования монолитного бетона необходимо использовать вибрационное оборудование для вибрирования и уплотнения бетона. Его можно разделить на: (1) вставной вибратор, (2) навесной вибратор, (3) пластинчатый вибратор и (4) вибростол в зависимости от способа передачи вибрации.



Рис.1.11. Вставной вибратор

Распространенным вибрационным оборудованием в проекте является вставной бетонный вибратор [21], как показано на рисунке 1.11 [22]. Его компоненты включают: вибрирующую часть (вибрирующий стержень), шланг

и электродвигатель. Рабочая эффективность вибрирующего стержня высока. Под действием силового привода вибрирующий стержень создает вибрацию. За очень короткое время бетон, диаметр которого примерно в 10 раз превышает диаметр стержня, может быть, вибрирован и уплотнен. Он подходит для вибрирования различных бетонных тел с большими вертикальными размерами, таких как опоры и примыкания мостов, фундаменты, колонны, балки, тела плотин, сваи и сборные элементы.

### **1.3. Значимость исследования**

В связи с быстрым развитием технологии строительства из монолитного бетона и разнообразием строительных машин, для удовлетворения требований разумного строительства очень важны организация и управление строительными машинами, а также выбор и конфигурация [23, 24]. Процесс проектирования схемы бетонных строительных машин должен пройти через два необходимых звена, первое – это этап оценки и оптимизации схемы, второе – этап подготовки специальной схемы после ее определения. Перед началом механизированного строительства строительное подразделение должно выбрать экономичное и рациональное оборудование в соответствии с существующими ресурсными условиями и сформулировать оптимальную схему комплектации оборудования для обеспечения приемлемого качества строительства, научной технологии строительства и низкой стоимости строительства. С повышением уровня механизированного строительства эти проблемы делают оптимизацию схемы сочетания строительной техники более важной при проектировании организации строительства.

В настоящее время большинство малых и средних строительных предприятий часто оценивают и оптимизируют механические схемы строительства из монолитного бетона в соответствии с опытом. Этот метод принятия решений обычно основывается на понимании лицом, принимающим

решение, проекта и условий строительства, выслушивании мнений различных сторон и комбинировании строительства аналогичных проектов для оптимизации схемы. Этот традиционный метод выбора механической схемы сильно зависит от субъективной воли оценщика и в значительной степени подвержен влиянию уровня знаний и опыта оценщика. Он не способен выносить детальные и научные суждения для ситуаций с большим количеством или многими индикаторными факторами [25], и ему не хватает объективной убедительности. Существуют также некоторые малые и средние строительные предприятия, которые вообще не сравнивают и не выбирают схемы при подготовке механических схем для строительства из монолитного бетона, а только определяют механическую схему для строительства из монолитного бетона.

Такая практика, безусловно, снизит конкурентоспособность строительного предприятия в условиях растущей конкуренции в строительной отрасли, а также станет актуальной проблемой в управлении строительством таких предприятий.

Кроме того, поскольку степень оптимизации схемы строительной техники может определить качество строительства, его стоимость, продолжительность и эффективность, исследование оптимизации схемы строительной техники также является одним из важных пунктов проверки для участника тендера на проект. Таким образом, для всех сторон, участвующих в строительстве, сравнение и выбор механических схем для строительства из монолитного бетона имеют большое значение [26].

#### **1.4. Текущее состояние исследований в Китае и других странах**

На начальном этапе строительства зданий выбор схемы строительной техники для монолитного бетона полностью зависит от одного или нескольких экспертов в области смежных строительных проектов. С учетом их уровня

знаний и инженерного опыта они субъективно проводят качественное сравнение и отбор, а также анализ для получения оптимальной комбинированной схемы. Этот процесс известен как метод субъективного качественного анализа [27]. При небольшом количестве оценочных показателей этот метод сравнения и отбора может дать определенный эффект; при большом количестве оценочных показателей и количестве схем этот метод сравнения и отбора, кажется, дает половину результата при удвоенных усилиях.

С применением математической теории в области машиностроения появляются разнообразные комплексные методы оценки, как того требует время, что обеспечивает сильную поддержку инженерам-практикам в использовании математических методов для сравнения и выбора механических схем. Например, метод коэффициента оценки функции [28], метод анализа баланса прибылей и убытков [29] метод традиционной многоцелевой оптимизации [30, 31] и т. д.

Метод коэффициента оценки функции используется для анализа функции нескольких альтернативных схем механического оборудования для монолитных бетонных конструкций. Сначала определяют целесообразность, затем определяют долю каждой функции, получают коэффициент оценки каждой функции, и, наконец, собирают каждый коэффициент оценки, чтобы получить комплексный коэффициент оценки всех целесообразных схем. Схема строительной техники с наибольшим коэффициентом оценки является лучшей схемой. В этом методе в конкретном проекте функциональные пропорции схемы строительной техники для монолитного бетона обычно фиксированы, но разные схемы имеют свои преимущества. Поэтому, очевидно, нереально сравнивать и выбирать различные схемы с фиксированными весами.

Метод анализа баланса прибылей и убытков заключается в анализе экономического эффекта схемы машин для строительства из монолитного бетона, изучении механической комбинации и эффективности работы. Затем

сравнивают расход затрат на комбинацию машин и эффективность работы. Анализ баланса прибылей и убытков используется для получения диапазона экономической применимости каждой схемы строительного оборудования для монолитного железобетона, чтобы определить целевую схему для выбора. Хотя в методе анализа безубыточности учитываются многочисленные факторы оценки, принцип определения конечной схемы строительной техники для монолитного бетона является единственным экономическим показателем. В современных условиях, когда к бетону предъявляются все более высокие требования, качество бетона напрямую влияет на безопасность строительных конструкций [32], и такой метод анализа и оценки явно неприемлем.

Традиционная многоцелевая оптимизация является разновидностью метода взвешивания целей. Его применение в машиностроении в основном заключается в получении оптимального решения комбинации схем машин для строительства из монолитного бетона путем анализа и расчета среди множества конфликтующих целей. Обычно используются такие методы взвешивания целей, как метод отклонения и средней квадратической ошибки, метод анализа главных компонент, метод многоцелевого программирования и др. Его преимущество заключается в том, что результаты оценки не зависят от субъективных суждений людей и имеют сильную математическую теоретическую основу [33]. Однако, поскольку этот метод зависит от достаточного количества выборочных данных и реальных наборов задач, его универсальность и участие в оценке недостаточны, а метод расчета более сложен. Поскольку внимание судей к различным показателям не может быть отражено, иногда определенный вес далек от фактической важности атрибута.

С точки зрения программного обеспечения, зарубежные страны провели глубокие исследования по оптимизации конфигурации механического оборудования, используемого в строительных проектах, было получено много программных систем, но лишь немногие из них использовались в управлении

строительством из монолитного бетона, и большинство из них являются экспертными системами. Халпин в результате наблюдений и исследований обнаружил, что большинство инженерных систем состоит из множества прерывистых и циклических процессов, поэтому он предложил имитационную модель сети строительного цикла и создал метод CYCLONE (CYCLE Lie Operations Networks) [34]. Кроме того, для того чтобы сделать конфигурацию бетона более научной и разумной, Амиркетал разработал экспертную систему для конфигурации бетона [35]; для того чтобы оценить эффективность бетонного строительства, Чжристианал разработал систему, специально используемую для оценки производительности бетонного строительства; для реализации интеллектуального строительства [36]; Феланетал предложил метод компьютерной оптимизации для снижения стоимости заливки бетона путем контроля стоимости материала и штрафа за задержку, а экспертная система для выбора строительных машин и оборудования разработана Аллирханианом. Кроме того, программная система, разработанная Komatsu Manufacturing Co., Ltd., применима для оптимизационного проектирования конфигурации оборудования для земляных строительных работ, то есть программная система OFR (Optimal Fleet Recommendation) рекомендовала наиболее подходящую серию механического оборудования [37].

Исследования по оптимизации сочетания строительных машин в Китае появились относительно поздно, но ряд достижений был сделан благодаря совместным усилиям техников-исследователей и строителей-практиков, в сочетании с практическим опытом в проекте и научной теорией оптимальной конфигурации. Хотя существует определенное отставание от передового мирового уровня, достижения также радуют.

В 1992 году профессор Лю Цзэнсян стал первым представителем поколения, начавшим исследования по конфигурации строительной механизации в Китае. Он объединил свой опыт в строительстве

автомагистралей с некоторыми простыми математическими формулами, основанными на условиях строительства, методах строительства и других влияющих факторах, и, наконец, получил набор методов комбинирования механизации, подходящих для строительства автомагистралей. Этот метод может лучше адаптироваться к требованиям строительства в то время, но из-за слабой математической теории и быстрого развития современных строительных технологий он уже не может удовлетворить текущие потребности. Тем не менее, результаты этих исследований заложили прочную основу для будущих исследований в этой области[38].

В 1994 году Го Сяохун, Го Цзяинь и Ду Жэньдэ, основываясь на рабочих данных различного механического оборудования в процессе механизированного строительства тротуаров в Чэнду и Чунцине, в сочетании с теоретическими знаниями теории вероятности и математической статистики, получили математические формулы для всех механических имитационных построений в проекте, и разработали комплекс имитационных систем для механизированной организации строительства из высококачественного асфальтобетона в сочетании с компьютерными технологиями. Из-за своей долгой истории его технология и методы не применимы сегодня [39].

В 1997 году Xiong Yun и Chen Haisong[40], основываясь на базовом принципе выбора техники в реальных проектах, приняли фактические ресурсы техники в качестве ограничений, время работы в качестве объективной функции, различные условия работы и типы техники в качестве переменных, и в сочетании с математической теорией оптимизации, разработали набор схем комбинации строительной техники, применимых к различным ситуациям. Этот метод обеспечивает определенное удобство для реального строительства, но он не получил широкого распространения, поскольку преследует только одну экономическую цель и не является универсальной компьютерной программой.

В 1999 году Го Сяохун и Чжан Хайцзюнь [41] сначала описали условия

работы одной строительной машины, а затем описали основные законы всей механизированной строительной системы путем изучения большого количества данных строительных площадок в сочетании с математической статистикой и теорией случайных услуг, чтобы получить оптимальную схему механизированной строительной системы. Этот метод преодолевает недостаток выбора машин статическим методом и может динамически комбинировать машины. Однако слишком много внимания уделяется координации между строительными машинами, что делает его недостаточным для контроля стоимости строительства.

В 2009 году Ян Цзичжан [42] из Сианьского университета архитектуры и технологии и другие выдвинули теорию оптимизации конфигурации строительного оборудования бетононасосов для высотных зданий и разработали соответствующее программное обеспечение с использованием методов системного анализа и теории случайных систем обслуживания, принимая коэффициент использования четырех основных строительных машин в группе машин в качестве условия ограничения, и принимая комплексный коэффициент использования стоимости машино-смены группы машин в качестве функции цели. Хотя система имитирует реальный процесс строительства, область ее применения имеет структурные ограничения.

Из вышеприведенного введения видно, что исследовательская работа по оптимизации конфигурации машины оборудования для бетонного строительства в Китае достигла первоначального успеха, но в целом, большинство этих программных продуктов имеют относительно сильные функции по расчету конструкции [43], или имеют функцию простого объединения содержания текста проекта строительной организации [44], но они не имеют функции оценки и оптимизации схемы, и не могут удовлетворить потребности инженерного строительства в Китае. Поэтому разработка программного обеспечения для оптимизации схемы строительной техники из монолитного

бетона на основе улучшенного метода открытой марки будет сочетать в себе результаты исследований данной статьи, чтобы обеспечить практичность программного обеспечения и поддержать развитие смежных областей при улучшении функции программного обеспечения для строительства бетона.

### **Выводы по главе 1**

В этой главе анализируется, что строительная отрасль является ведущей отраслью в национальном экономическом строительстве Китая и важной и фундаментальной основой для производства и развития смежных отраслей. С быстрым развитием модернизации городов в Китае строительная отрасль также вступила в стадию быстрого развития, постоянно появляются высотные и сверхвысотные железобетонные конструкции и различные сложные конструктивные формы зданий и сооружений. Проекты такого типа предъявляют повышенный спрос на монолитный бетон, но сталкиваются с такими трудностями, как большой объем поставок бетона и высокая сложность строительства. Чтобы удовлетворить требования к строительству из монолитного бетона, механизированное строительство стало важным средством современной строительной индустрии бетон строения.

В этой статье представлены широко используемые строительные машины в строительстве из монолитного бетона: бетоносмеситель, транспортное средство для смешивания бетона, бетононасос и автобетононасос, распределитель, ковш, башенный кран, автомобильный кран и вибрационное оборудование.

Исходя из текущего состояния исследований в стране и за рубежом, видно, что исследования по оптимизации конфигурации машин и оборудования для бетонного строительства вначале достигли результатов. Однако, в целом, большинство из них являются относительно мощными в проектных расчетах или имеют функцию простого объединения текстового содержания

строительной организации, и не имеют функции оценки и выбора планов, что не может удовлетворить потребности строительных проектов Китая. Поэтому исследование оптимизации механических схем для строительства из монолитного бетона на основе улучшенного метода градации способствует развитию смежных областей.

## **ГЛАВА 2. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПО НЕСКОЛЬКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ**

### **2.1. Монолитное строительство и его комплексная оценка**

В строительстве из монолитного бетона предъявляются все более высокие требования к механизации. Исходя из необходимости обеспечения качества строительства, необходимо учитывать не только механические затраты, но и эксплуатацию машин, координацию работы различных машин, трудозатраты на строительные машины и т. д. В связи с различными требованиями, необходима очень научная и зрелая теория в качестве основы оценки при определении оптимальной схемы сочетания строительных машин для монолитного бетона. Поскольку процесс оценки многоиндексной теории комплексной оценки является научным и обоснованным, она полностью применима к исследованию схемы комбинации строительных машин для монолитного бетона.

Многоиндексная комплексная оценка – это метод преобразования нескольких показателей, описывающих различные аспекты и размеры оцениваемого объекта, в безразмерные относительные значения оценки и синтеза этих значений оценки для получения общей оценки объекта [45]. В сочетании с исследованием схемы машин для строительства из монолитного бетона вышеуказанная проблема может быть описана следующим образом: для нескольких различных схем комбинации машин, согласно их соответствующим значениям индексов наблюдения, значения комплексной оценки каждой схемы

могут быть получены с помощью метода комплексной оценки, чтобы ранжировать и получить оптимальную схему. В технике многоиндексный метод комплексной оценки имеет много применений, а сама теория имеет комплексные и разумные характеристики, поэтому она имеет высокую исследовательскую ценность.

## **2.2. Процесс комплексной оценки**

Основным процессом комплексной оценки является сбор и обработка сложной субъективной и объективной оценочной информации, что представляет собой процесс количественного мышления. Основным процесс комплексной оценки включает следующие этапы.

(1) Определение целей оценки. Определение целей оценки является началом процесса комплексной оценки, а также проблемой, которую необходимо решить в процессе комплексной оценки.

(2) Определение системы показателей оценки. Система оценочных показателей состоит из показателей, отражающих характеристики системы со всех сторон. При создании системы оценочных показателей следует придерживаться принципов систематичности, научности, желательности и (насколько это возможно) взаимной независимости.

(3) Определение методов и моделей оценки. В основном включает в себя выбор методов оценки, расчет весовых коэффициентов, определение системы оценочных индексов и т. д.

(4) Проведение комплексной оценки. В частности, оно включает в себя сбор и обработку данных наблюдений за значением индекса оценки, а также расчет и решение комплексной оценки.

(5) Проверка результатов. Проверьте процесс расчета и сравните результаты оценки с реальным проектом, чтобы определить, насколько

обоснованы выбранная выше система показателей, соответствующие стандарты и модель оценки. Если они не соответствуют требованиям, система показателей оценки и метод оценки должны быть выбраны заново и рассчитаны заново, пока результаты оценки не станут объективными и справедливыми [46].

(6) Представить результаты оценки. Включая публикацию результатов оценки, написание отчетов об оценке, сохранение и последующее использование важных материалов и т. д.

### **2.3. Предварительная обработка показателей**

#### **(1) Консистенция индикаторов**

Консистенция индикаторов в основном используется для работы с различными типами индикаторов. Вообще говоря, типы индикаторов включают: интервальный тип, средний тип, чрезвычайно малый и чрезвычайно большой. В данной работе рассматриваются такие типы показателей, как очень большие и очень маленькие. Среди них очень большие показатели – это обеспечение качества строительства, механическая работоспособность и т. д. Мы ожидаем, что чем больше значение таких показателей, тем лучше; очень малым показателем является стоимость машин, и мы ожидаем, что чем меньше этот показатель, тем лучше.

Если показатели  $x_1, x_2, \dots, x_m$  включают как большие, так и очень маленькие показатели, необходимо унифицировать типы показателей перед комплексной оценкой каждой схемы машины для монолитного железобетонного строительства, иначе схема машины для монолитного железобетонного строительства не сможет быть приоритетной в соответствии с размером значения комплексной оценки. Подводя итог, можно сказать, что очень важно унифицировать показатели.

Для очень малого индекса  $x$ :

$$x^* = \frac{1}{x} (x > 0) \quad (2.1)$$

Или

$$x^* = M - x \quad (2.2)$$

В приведенной выше формуле  $M$  – это допустимый последний член показателя  $x$ .

Очень маленькие показатели могут быть преобразованы в очень большие показатели с помощью формул (2.1) или (2.2).

## (2) Безразмерный показатель

Как правило, из-за различных размеров и величин оценочных показателей  $x_1, x_2, \dots, x_m$  схемы комбинации машин для монолитного бетонного строительства невозможно провести комплексную оценку, и безразмерные показатели являются основным средством для решения этой проблемы. Например, при оценке механических затрат в схеме комбинирования механических машин в качестве размерности показателей можно использовать как юань, так и 10000 юаней. Разница в величине наблюдения показателей оказывает огромное влияние на результаты оценки. Поэтому, чтобы устранить это негативное влияние, необходима безразмерная обработка.

Общие безразмерные методы обработки следующие, а следующие показатели определены как очень большие показатели после равномерной обработки, и их наблюдаемые значения составляют  $\{x_{ij} | i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m\}$ .

### 1) Метод нормализации диапазона [47]

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \min\{x_{ij}\}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}} \quad (2.3)$$

Видно, что знаменатель в уравнении (2.3) связан с минимальным и максимальным значениями индекса наблюдения. Стандартное наблюдение

$x_{ij}^* \in [0, 1]$ . Когда  $x_{ij}$  максимальное и минимальное значения  $x_{ij}$  сильно отличаются, полученное стандартное значение наблюдения будет слишком маленьким, т. д.

Вес показателя; когда разница между максимальным и минимальным значениями  $x_{ij}$  очень мала, полученное стандартное значение наблюдения будет слишком большим, т. д. увеличится

Вес показателя.

## 2) Метод стандартизации

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j} \quad (2.4)$$

Где  $\bar{x}_j$  и  $s_j$  – среднее и стандартное отклонение показателя  $x_j$  соответственно. Для устранения влияния порядка величины и размерности

После стандартизации среднее значение показателя равно 0, а стандартное отклонение равно 1. Не применяется, если значение наблюдения постоянно ( $s_j=0$ ); не применяется к методу оценки, который требует, чтобы стандартное значение наблюдения всегда было больше нуля.

## 3) Метод усреднения

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{x_j} \quad (2.5)$$

После усреднения по приведенной выше формуле среднее значение показателя равно 1, а дисперсия составляет

$$var(x_j) = E[(x_j - 1)^2] = \frac{E(x_j - \bar{x}_j)^2}{\bar{x}_j^2} = \left(\frac{\sigma_j}{\bar{x}_j}\right)^2 \quad (2.6)$$

Этот метод выгоден для сохранения информации о степени вариации каждого показателя, но диапазон значений не фиксирован.

#### 4) Метод нормализации

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (2.7)$$

Этот метод можно рассматривать как частный случай линейно-пропорционального метода. Определяется, что  $\sum_{i=1}^n x_{ij} > 0$ . Нет фиксированных максимальных и минимальных значений,  $\sum_i^n x_{ij}^* = 1$

#### 5) Метод коэффициента эффективности

$$x_{ij}^* = c + \frac{x_{ij} - m'_j}{M'_j - m'_j} \times d \quad (2.8)$$

В формуле  $m_j$  и  $M_j$  - неприемлемые и удовлетворительные значения показателей  $x_j$ , соответственно;  $c$ ,  $d$  – известное нормальное число, обычно принимаемое за  $c = 60$  и  $d = 40$ ;  $c$  – операция "перевода" наблюдаемого значения, а  $d$  - операция "масштабирования" наблюдаемого значения. Метод коэффициента эффективности можно рассматривать как универсальный метод нормализации диапазона, с определенным диапазоном значений,  $x_{ij}^* \in [c, c + d]$ .

Все вышеперечисленные пять безразмерных методов обработки представлены в виде линейного преобразования главным образом потому, что линейное преобразование обладает многими хорошими свойствами в сохранении исходной информации данных. Кроме того, существуют безразмерные методы, основанные на нелинейном преобразовании, такие как метод коэффициента мощности функции мощности, метод логарифмического коэффициента мощности и т. д. Пользователям не рекомендуется выбирать этот метод главным образом потому, что нелинейный безразмерный метод требует от пользователей глубокого понимания закона изменения эффективности

каждого показателя оценки при изменении значения наблюдения и наличия разумной основы. Безразмерный метод линейного преобразования должен быть принят для оптимизации схемы машин для строительства из монолитного бетона, изученной в данной работе.

### (3) Анализ свойств безразмерного метода

Существует много видов безразмерных методов. Для комплексной оценки схемы строительной техники из монолитного бетона необходимо выбрать метод, подходящий для модели оценки схемы строительной техники из монолитного бетона. Поэтому необходимо глубоко изучить природу каждого метода. Идеализированный безразмерный метод линейного преобразования должен удовлетворять следующим свойствам.

1) Монотонность. Безразмерная обработка не изменяет отношения сортировки между исходными данными.

Пусть два значения наблюдения очень большого показателя  $x$  обозначаются как  $x_1$  и  $x_2$ , а стандартное значение наблюдения, полученное путем безразмерного преобразования, равно  $x_1^*, x_2^*, x_i^* = f(x_i) (i = 1, 2)$ , Запишите  $f$  как безразмерную функцию обработки.

$x_1 = x_2, x_1^* = x_2^*; x_1 > x_2, x_1^* \geq x_2^*$ ,  $f$  называется слабо монотонной функцией.

$x_1 = x_2, x_1^* = x_2^*; x_1 > x_2, x_1^* > x_2^*$ ,  $f$  называется сильно монотонной функцией.

"Монотонность" является монотонной и возрастающей для максимальных показателей; для очень маленьких показателей она монотонно убывающая.

2) Инвариантность вариационного отношения. Безразмерная обработка не изменяет относительного соотношения между исходными данными и стандартной величиной.

$$\frac{x_1 - x'}{x_2 - x'} = \frac{f(x_1) - f(x')}{f(x_2) - f(x')} \quad (2.9)$$

3) Независимость от горизонтального сдвига.

$$f(x + c) = f(x) \quad (2.10)$$

4) Масштабирование нерелевантности.

$$f(c_1 x) = f(x) \quad (2.11)$$

5) Стабильность интервалов.

$$f(x_1) \in [c_2^{(1)}, c_2^{(2)}] \quad (2.12)$$

6) Полное постоянство.

$$\sum_{i=1}^n x_{ij}^* = \sum_{i=1}^n f(x_{ij}) = c_3, j = 1, 2, \dots, m \quad (2.13)$$

Не существует идеализированного безразмерного метода, который мог бы одновременно удовлетворять всем вышеперечисленным свойствам. Каждый метод может удовлетворять только нескольким свойствам. В таблице 2.1 перечислены соответствующие ситуации линейных безразмерных методов и их свойства

Таблица 2.1

Соответствующая таблица свойств для различных линейных безразмерных методов

Безразмерные методы	Монотонность	Разностная инвариантность	Независимость от горизонтального сдвига	Масштабирование нерелевантности	Стабильность интервалов	Полное постоянство
1	2	3	4	5	6	7
Метод нормирования диапазона	o	o	o	o	o	X
Метод стандартизации	o	o	o	o	X	o
Метод усреднения	o	o	X	o	X	o
Метод нормализации	o	o	X	o	X	o
Метод коэффициента эффективности	o	o	o	o	o	X

"O" означает да, "X" означает нет "

Из таблицы 2.1 видно, что метод нормализации диапазона, метод стандартизации и метод коэффициента эффективности удовлетворяют большинству свойств и широко используются на практике благодаря своей отличной производительности. Поэтому при построении комплексной модели оценки схем машин для строительства из монолитного бетона важно сосредоточиться на этих трех безразмерных методах.

## **2.4. Метод определения веса индекса**

Основой комплексной оценки является определение весового коэффициента. Вообще говоря, существует два метода определения весового коэффициента: субъективный метод, а именно, метод взвешивания "по функции"; объективный метод – это метод взвешивания, основанный на "различиях".

### **(1)Субъективный метод**

Суть весового метода "управляемый функционал" заключается в определении весового коэффициента в соответствии с важностью каждого показателя оценки, главным образом, посредством субъективного суждения оценщика и в соответствии с важностью различных показателей оценки. Этот метод субъективного суждения можно разделить на две категории: метод взвешивания "предпочтение индекса" и метод взвешивания "предпочтение схемы". Первый — это метод получения веса непосредственно в соответствии с ранжированием важности показателей, а второй – это метод, при котором сначала сравниваются преимущества и недостатки альтернатив, а затем получают вес в обратном порядке в соответствии с освоенной информацией.

Широко используемые методы взвешивания "типа предпочтения индекса" в основном включают: метод итерации заданного значения, метод собственных значений и т. д. Общими характеристиками являются:

1) Результат взвешивания содержит субъективную окраску, которая тесно связана с опытом работы оценщика, его предпочтениями, накоплением знаний и т. д.

2) Весовой коэффициент является наследуемым и порядковым в определенном диапазоне.

3) Плохая воспроизводимость и прозрачность процесса взвешивания

Обычно используемые методы взвешивания "типа предпочтения схемы" в основном включают: метод взвешивания на основе силы частичного предпочтения схемы [48] и метод взвешивания [49] на основе частичного предпочтения порядка схемы. Его характеристики таковы:

1) Этот метод подчеркивает способность интуитивного суждения аналитика оценки.

2) Воспроизводимость и прозрачность процесса взвешивания низкие.

3) Весовые коэффициенты не наследуются и являются порядковыми, и полностью зависят от модели оценки.

4) В процессе комплексной оценки увеличивается рабочая нагрузка на оценщиков, а применение имеет определенные ограничения.

(2) Объективный метод

Поскольку субъективный метод взвешивания имеет сильную зависимость от оценщика при определении весового коэффициента, чтобы избежать вмешательства человеческого фактора, предлагается метод взвешивания, основанный на "управлении разницей", а именно объективный метод взвешивания. Основная идея заключается в том, что весовой коэффициент индекса является количественным значением степени влияния между каждым показателем оценки и степенью вариации общей системы индексов. Значение наблюдения индекса должно быть получено из исходной объективной среды, а определение весового коэффициента индекса также должно определяться количеством информации, содержащейся в каждом показателе оценки. Метод

включает два типа: метод выделения общей разницы и метод выделения локальной разницы [50]

Обычно используемые методы определения весового коэффициента для выделения общих различий включают: метод приближения к идеальному баллу и метод открытия оценки. Принцип определения весового коэффициента этим методом заключается в том, чтобы заставить каждую схему оценки показать различия в целом и как можно больше показать взаимосвязь между преимуществами и недостатками, чтобы достичь цели легкой сортировки. Общими чертами методов взвешивания, которые подчеркивают общие различия, являются:

- 1) Процесс оценки предельно прозрачен.
- 2) На результаты оценки не влияют субъективные факторы.
- 3) Результаты комплексной оценки объективны и сопоставимы.
- 4) Итоговый весовой коэффициент рассчитывается по принципу максимального отображения общих различий каждой схемы оценки и не показывает важность показателей оценки для результатов оценки. Это требует особого внимания.

К распространенным методам взвешивания для выделения локальных различий относятся метод энтропии, метод диапазона и метод средней квадратической ошибки. Отличие этого метода от метода взвешивания, выделяющего общие различия, заключается в том, что определение веса показателя основано на степени различия между наблюдениями одного и того же показателя. Характеристиками метода взвешивания, выделяющего локальные различия, являются:

- 1) Процесс оценки не содержит субъективных факторов.
- 2) Процесс оценки является прозрачным и воспроизводимым.
- 3) Весовой коэффициент не имеет наследования и сохранения порядка.

Хотя метод взвешивания, основанный на "управлении различиями"

(объективный), имеет преимущества высокой прозрачности, объективности и научности, он также имеет недостатки: один и тот же алгоритм используется для расчета весов индексов двух групп различных наблюдений одной и той же системы показателей, и результаты расчета также могут быть разными; кроме того, результаты оценки, полученные при использовании объективного метода для комплексной оценки, могут противоречить субъективной воле оценщика и ставить под сомнение метод комплексной оценки.

## 2.5. Метод агрегирования

Процесс комплексной оценки по нескольким показателям заключается в использовании определенной математической модели для "синтеза" значений нескольких показателей и, в итоге, получения значения комплексной оценки. Существуют различные математические модели, доступные для заимствования, и ниже в основном представлены три широко используемых метода агрегирования и характеристики каждого метода.

### (1) Линейно-взвешенный метод агрегирования

Метод линейного взвешенного агрегирования называют "методом аддитивного синтеза". Он представляет собой агрегирование данных с помощью линейной модели.

$$y = \sum_{j=1}^m \omega_j x_j \quad (2.14)$$

В приведенном выше уравнении,  $y$  – это значение комплексной оценки схемы комбинации машин для строительства из монолитного бетона, а  $\omega_j$  – соответствующий вес показателя  $x_j$  ( $0 \leq \omega_j \leq 1$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ),  $\sum_{j=1}^m \omega_j = 1$ ).

Характеристики метода линейно-взвешенного агрегирования, следующие:

1) Этот метод воплощает идею о том, что общее – это сумма частей, и использует сложение для получения итогового значения комплексной оценки.

2) Метод линейного взвешенного суммирования позволяет поддерживать линейную компенсационную зависимость между различными показателями оценки. Увеличение значения одного показателя может быть компенсировано уменьшением значения другого показателя, так что конечный результат не изменится. Если же происходит уникальное изменение значения показателя, то на конечный результат повлияет увеличение или уменьшение значения показателя.

3) По сравнению с другими методами агрегирования, весовые коэффициенты в методе линейного взвешенного агрегирования играют более заметную роль в процессе оценки, и на конечные результаты легко влияют показатели с большими значениями или весовыми коэффициентами.

4) Метод линейного взвешенного агрегирования не чувствителен к различиям между альтернативными решениями, в основном из-за присущих ему характеристик линейной компенсации.

5) Данный метод не предъявляет особых требований к безразмерному методу значений наблюдения показателей.

#### (2) Нелинейный метод взвешенного агрегирования

Метод нелинейного взвешенного агрегирования также известен как "метод синтеза умножения". Он представляет собой агрегирование данных с помощью нелинейных моделей.

$$y = \sum_{j=1}^m x_j^{\omega_j} \quad (x_j \geq 1) \quad (2.15)$$

В приведенном выше уравнении  $\omega_j$  – это вес соответствующего индикатора.

Характеристики метода нелинейного взвешенного агрегирования,

следующие:

1) Метод нелинейного взвешенного агрегирования подчеркивает согласованность числовых значений. В связи с тем, что данный метод агрегирования достигается путем умножения числовых значений, роль меньших значений индикатора в процессе становится все более заметной.

2) По сравнению с линейно-взвешенным методом агрегирования, роль весов показателей в процессе агрегирования недостаточно значительна.

3) Метод нелинейного взвешенного агрегирования предъявляет определенные требования к безразмерному методу значений наблюдения индикаторов, требуя, чтобы их значения были не менее 1.

4) Колебания значений индикаторов оказывают существенное влияние на метод нелинейного агрегирования.

5) По сравнению с линейным методом взвешенного агрегирования, процесс расчета нелинейного метода взвешенного агрегирования является более сложным.

(3) Оператор упорядоченного средневзвешенного значения [51].

Структурное определение оператора упорядоченного взвешенного среднего (OWA) может быть выражено как:

Для чрезвычайно больших значений индексов  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , из  $m$  схем сочетания машин для монолитных бетонных конструкций существуют

$$OWA_{\omega}(x_1 x_2 \dots x_m) = \sum_{j=1}^m \omega_j x_j' \quad (2.16)$$

Среди них  $x$  – значение показателя, полученное путем сортировки исходных значений показателя в порядке убывания,  $\omega$  – позиционный взвешенный вектор, соответствующий сортировке вышеуказанных значений показателя. Чем больше полученное значение  $OWA_{\omega}$ , тем лучше решение.

Преимущество оператора OWA заключается в том, что, задавая

ранжирование значений оценки схемы и соответствующих им позиционных взвешенных векторов, он преодолевает разрыв между операторами "И" и "ИЛИ" в нечеткой логике и устанавливает новый метод соединения.

В практических приложениях существует множество методов задания позиционных взвешенных векторов [52]. Общие методы задания семантики, следующие:

$$\omega_i = Q\left(\frac{i}{m}\right) - Q\left(\frac{i-1}{m}\right), i = 1, 2, \dots, m \quad (2.17)$$

Среди них оператор нечеткого квантования:

$$Q(r) \begin{cases} 0 & r < \alpha \\ \frac{r - \alpha}{\beta - \alpha}, & \alpha \leq r \leq \beta \\ 1 & r > \beta \end{cases} \quad (2.18)$$

из которых  $\alpha, \beta, \gamma \in [0,1]$  Параметры  $(\alpha, \beta)$ , соответствующие принципам сборки "как минимум половина", "большинство" и "как можно больше", принимаются равными  $(0,0.5)$  и  $(0.3,0.8)$  и  $(0.5,1)$

## Выводы по главе 2

В этой главе в основном представлена координация и применимость теории комплексной оценки строительства из монолитного бетона и теории комплексной оценки, а также соответствующее содержание теории многоиндексной комплексной оценки. В соответствии с теорией комплексной оценки, в данной статье обсуждаются необходимые методы предварительной обработки показателей, методы определения весового коэффициента и методы агрегирования при построении модели комплексной оценки схем строительной техники из монолитного бетона, закладывается достаточный теоретический

фундамент для построения модели комплексной оценки схем строительной техники из монолитного бетона.

## **ГЛАВА 3. МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ЦЕЛЬНОЙ БЕТОННОЙ КОНСТРУКЦИИ**

### **3.1. Модельная конструкция**

В качестве основного объекта исследования в данной работе модель комплексной оценки схемы строительной техники из монолитного бетона

охватывает все аспекты процесса сравнения и выбора строительной техники из монолитного бетона. Во-первых, ставится проблема, то есть определяется необходимость проведения комплексной оценки схемы строительной техники из монолитного бетона; во-вторых, формируется соответствующая и обоснованная система показателей оценки; в-третьих, выбираются соответствующие методы для получения наблюдаемых значений показателей оценки; после определения значения показателя проводится его предварительная обработка, включая согласованность и безразмерность; наконец, выбирается метод агрегирования, подходящий для данной модели, и комбинируется улучшенная теория комплексной оценки метода градации и субъективного и объективного метода взвешивания для комплексной оценки альтернатив с целью определения оптимальной схемы.

В описанном выше процессе все звенья перекликаются друг с другом. Выбор метода предыдущего этапа должен соответствовать требованиям следующего этапа, например метод предварительной обработки показателя должен соответствовать требованиям метода агрегирования обработанных данных; определение системы показателей оценки также должно соответствовать требованиям к целям оценки. Таким образом, для того чтобы выполнить функциональные требования модели комплексной оценки схемы машин для строительства из монолитного бетона, при определении структуры модели необходимо обеспечить тесное сочетание всех звеньев. Общая структура представлена на рисунке 3.1.



Рис.3.1. Структура модели

### 3.2. Определение системы показателей оценки

Оптимизация схемы строительной техники для монолитного бетона представляет собой сложную систему, включающую технологию, экономику и безопасность, поэтому очень трудно создать комплексную систему оценочных показателей, способных точно измерить схему строительной техники для монолитного бетона. Количество выбранных показателей не должно быть слишком большим, но они должны быть способны реалистично и объективно отражать значимость сравнения и выбора схем строительных машин для монолитного бетона [53].

Система показателей оценки строительных машин из монолитного бетона в данной работе представлена на рисунке 3.2.

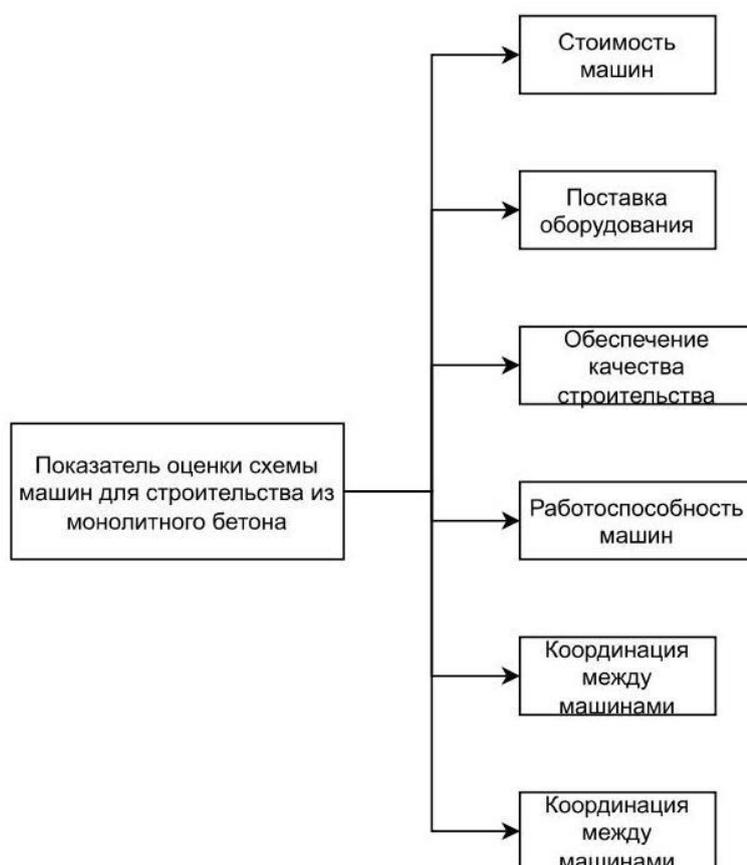


Рис. 3.2. Показатели оценки

В связи с тем, что схема, не отвечающая требованиям строительства, очевидно, не может быть оптимизирована, в данной работе требования периода строительства рассматриваются как необходимое условие оптимизации схемы строительной машины из монолитного бетона.

В последующем обсуждении предполагается, что схема удовлетворяет требованиям строительного периода.

### **3.2.1. Принципы определения показателей оценки**

Для более полного отражения общих характеристик объекта исследования необходимо установить систему оценочных показателей схемы машин для строительства из монолитного бетона, а также учесть репрезентативность отдельных показателей. Поэтому для определения индекса оценки следует придерживаться следующих принципов:

#### **1. Четкая цель**

Это означает, что выбранные показатели должны иметь четкую цель. С точки зрения целей оценки необходимо обеспечить корреляцию между выбранными показателями оценки и целями оценки; с точки зрения содержания оценки этот показатель может отражать соответствующее содержание [54].

#### **2. Практичность**

В целом, это работоспособность. При определении показателей следует учитывать его работоспособность, то есть возможность получения точных значений измерения путем количественного расчета, а также легкость метода для восприятия и статистики.

#### **3. Относительно всеобъемлющий**

Выбранные показатели должны охватывать широкий спектр областей, а также отражать характеристики и изменяющиеся тенденции каждой

альтернативы. С другой стороны, хотя содержание оценки, отражаемое показателями, не является всеобъемлющим, оно должно быть представительным для одного аспекта.

### **3.2.2. Механические затраты**

В условиях все более жесткой конкуренции на строительном рынке строительные предприятия или поставщики бетона должны хорошо выполнять работу по анализу и контролю затрат на строительную технику для монолитного бетона, чтобы сохранить собственную экономическую выгоду, повысить конкурентоспособность и улучшить понимание экономии затрат.

Наблюдаемое значение индекса механических затрат может быть получено из бюджетной квоты бетонного машиностроения. Бюджетная квота [55] играет очень важную роль в китайской системе управления стоимостью проекта. В качестве объекта исследования в ней рассматриваются проекты отделов и подразделений, в ней указывается количество и норма затрат на рабочую силу, материалы и машины, необходимые для выполнения квалифицированной продукции подразделения. Как бюджетная квота важных экономических и технических норм, она формулируется, выпускается и реализуется национальным строительным компетентным департаментом, что делает ее незаменимой и важной основой для формулирования цены на продукцию строительного машиностроения. В соответствии с Национальной единой бюджетной квотой GJD-101-95 (гражданское строительство), изданной и внедренной Министерством жилищного строительства и городского и сельского развития Китайской Народной Республики в 1995 году, и справочным базовым стандартом цены строительной техники за смену, подготовленным провинциальными городскими и сельскими комитетами по строительству и транспорту, можно рассчитать наблюдаемые значения

показателей стоимости техники по каждой схеме.

### **3.2.3. Механическое снабжение**

В целом, источники получения техники для строительства бетонных сооружений можно разделить на два типа: лизинг и паевое владение. Независимо от того, какой метод принят, поставка техники тесно связана с ходом реализации проекта. Кроме того, производство и использование техники зависит от региона, и некоторые машины, которые необходимо использовать, не могут быть получены на месте, а должны быть получены из других мест, поэтому поставки техники неизбежно замедлят ход строительства, увеличат стоимость техники, а также будут затронуты при комплексной оценке альтернатив. Поэтому, как объективный и фактический фактор влияния, поставка строительной техники должна быть учтена в системе показателей оценки схемы строительной техники для монолитного бетона.

### **3.2.4. Обеспечение качества строительства**

Выбор различных строительных технологий и соответствующей строительной техники будет по-разному влиять на качество строительства. Например, для заливки высотного бетона используется метод заливки ковшем или заливки насосом, что соответствует разным строительным машинам. Во время вертикальной транспортировки бетона это будет по-разному влиять на осадку бетона и другие аспекты, и в итоге повлияет на качество заливки бетона. Во время вибрации бетона, выбор различных типов и спецификаций вибрационного оборудования во избежание возникновения плохой вибрации, ячеек, выбоин на поверхности, обнаженной арматуры и других проблем качества также играет важную роль в обеспечении качества строительства.

Кроме того, качество самой техники для строительства бетона также оказывает важное влияние на качество строительства. Поэтому необходимо постоянно обобщать опыт строительства, улучшать научно-техническое содержание и технический уровень строительных машин, обеспечивать качество бетонного строительства.

### **3.2.5. Механическая эксплуатация**

С одной стороны, механическая управляемость означает, что высота заливки и рабочий радиус строительной техники для заливки бетона могут соответствовать условиям эксплуатации на строительной площадке, с другой стороны, это означает, что техника является интеллектуальной. С развитием науки и техники производство машин для заливки бетона также достигло значительного прогресса. Интеллектуальные продукты появляются постоянно, и тенденция развития интеллекта становится все более очевидной. Например, автобетононасос оснащен электрическим экраном дисплея управления и гидравлическим устройством воздушного охлаждения, что в большей степени способствует эффективному использованию машин и механизмов оператором, а производитель разработал интегрированную машину для смешивания бетона и буксировки насоса. Таким образом, улучшение механической работоспособности неизбежно ускорит производство и повысит общую конкурентоспособность схемы комбинирования строительных машин.

### **3.2.6. Координация между различными машинами**

Строительная техника для заливки бетона в основном представляет собой крупное оборудование. Поскольку рабочие характеристики бетона обычно требуют непрерывной работы по заливке, координация между машинами не

только играет важную роль в качестве производства, но и может обеспечить ход строительства. Например, согласованное использование автобетоносмесителя и автобетононасоса или прицепного насоса, а также согласованное использование прицепного насоса и распределительного бруса предъявляют высокие требования к координации. В настоящее время, для того чтобы удовлетворить требования по согласованию строительной техники, производство техники становится все более и более унифицированным. Ее технические характеристики и параметры в основном одинаковы, но продукция разных производителей имеет свои отличия, что будет оказывать определенное влияние на строительство. С другой стороны, выбирая строительные машины и оборудование, следует позаботиться и о согласовании производственных возможностей техники. Поэтому при выборе схемы сочетания строительной техники в качестве показателя оценки следует рассматривать координацию между машинами.

### **3.2.7. Механическая ремонтпригодность**

Ремонтпригодность машин и оборудования для бетонного строительства оказывает очень важное влияние на качество проекта, ход работ, стоимость и другие аспекты. Этот показатель предполагает способность изделия восстанавливаться до определенного состояния при ремонте по заданному методу в заданных условиях и в заданное время, что также отражает сложность механического обслуживания, а также является основным требованием к применению строительных машин.

К неисправностям строительных машин для бетона относятся естественные и искусственные неисправности. Естественные отказы связаны с проектированием и производством. Поскольку время возникновения естественного отказа относительно позднее, а процесс развития медленный,

ремонтпригодность машин с естественным отказом хорошая; человеческий отказ в основном вызван неправильным обслуживанием и использованием. Его возникновение относительно внезапно, а последствия относительно серьезны. Поэтому ремонтпригодность машин после отказа человека низкая.

Помимо вышеперечисленных факторов проектирования, производства и использования, она также связана с масштабами ремонтного предприятия, состоянием технического оборудования, хранением запасных частей, снабжением и уровнем квалификации работников. Как видно, ремонтпригодность техники зависит от многих факторов и оказывает большое влияние на проект, на что, несомненно, должен обращать внимание персонал управления строительством.

### **3.3. Определение значения наблюдения индекса оценки**

В целом, показатели оценки можно разделить на две категории: количественные показатели и качественные показатели. Количественные показатели – это показатели оценки, которые могут определить количественные отношения и ожидаемые цели, например, механические затраты; Качественные показатели – это показатели, которые не могут непосредственно определить их количество и требуют объективного описания и количественной оценки наблюдаемых объектов для отражения результатов наблюдения. В модели оценки схемы машин для строительства из монолитного бетона необходимо ввести субъективные факторы для достижения количественной оценки качественных показателей. Чтобы повысить точность качественных показателей и избежать ошибок, вызванных субъективными суждениями, можно использовать метод назначения степени принадлежности семантических различий для разделения качественных показателей на 5 уровней (очень хороший, хороший, средний, плохой, очень плохой) и разделения их на два

уровня в каждом уровне. Соответствующая степень тенденции индикатора для каждого уровня задается для установления корреляции между каждым уровнем и степенью принадлежности, как показано в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Количественная таблица качественных показателей

очень хороший		хороший		средний		плохой		очень плохой	
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Существует  $n$  схем комбинации машин для строительства монолитного бетона, и эксперты используют метод присвоения степени принадлежности семантических различий для оценки качественных показателей каждой схемы. Статистический метод присвоения баллов показан в таблице 3.2. В таблице  $X_{ijq}$  представляет собой оценку  $q$  ( $q=1,2,\dots, p$ ) эксперта по  $j$  ( $j=1,2,\dots, m$ ) показателю оценки в схеме  $i$  ( $i=1,2,\dots, n$ ) бетонных строительных машин;  $X_{ij}$  – средняя оценка, данная экспертами по  $j$  – му показателю оценки схемы  $i$  бетонных строительных машин.

Таблица 3.2

Рейтинг экспертов

Механическая схема для монолитных бетонных конструкций	Значение оценки индикатора $j$				Средний балл
	1	2	...	$P$	
					$\frac{1}{P} \sum_{q=1}^P x_{ijq}$
$O_1$	$X_{1j1}$	$X_{1j2}$	...	$X_{1jq}$	$X_{1j}$

$O_2$	$X_{2j1}$	$X_{2j2}$	...	$X_{2jq}$	$X_{2j}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	$\vdots$
$O_n$	$X_{nj1}$	$X_{nj2}$	...	$X_{njq}$	$X_{nj}$

После получения средних значений всех качественных показателей для всех схем машин для строительства из монолитного бетона завершается определение наблюдаемых значений качественных показателей.

### 3.4. Предварительная обработка наблюдений

Из предыдущей главы видно, что предварительная обработка должна учитывать два аспекта, а именно согласованность и безразмерность. В данной модели существует два типа индикаторных наблюдений: чрезвычайно большие и чрезвычайно малые. В соответствии с привычкой людей оценивать, данная модель оценки определяет использование взаимного метода для преобразования всех чрезвычайно малых индикаторных наблюдений в чрезвычайно большие индикаторы. Для того чтобы оправдать ожидания, что чем больше значение комплексной оценки, тем лучше механическая схема для строительства из монолитного бетона.

Следующим шагом является выполнение безразмерной нормализации на значениях после нормализации, и рациональность этого процесса напрямую влияет на рациональность окончательного вывода. Из таблицы 2.1 видно, что метод нормирования диапазона, метод стандартизации и метод коэффициента эффективности могут удовлетворить большему количеству свойств и имеют лучшие характеристики по сравнению с другими методами. Поэтому они имеют наибольшее практическое применение. Поэтому в данной статье приоритет отдается этим трем методам.

При анализе свойств безразмерного метода, упомянутого выше, шестое

свойство, постоянное общее количество, является очень важным свойством, но его легко упустить из виду при практическом применении. Хотя важность показателей в системе оценки определяется весом, сумма значений показателей также может в определенной степени отражать важность показателей. Чем больше значение суммы, тем выше важность показателя для результатов оценки. Поэтому необходимо, чтобы общая сумма значений показателей была как можно более постоянной. Кроме того, в модели оценки схем строительных машин из монолитного бетона, поскольку метод оценки не требует положительных или отрицательных значений стандартных показателей, нет необходимости строго требовать их соответствия стабильности интервала. Взвесив важность свойства 5, 6 и объединив его с данной моделью оценки, выбирается стандартизированный метод обработки.

### **3.5. Метод "Градации"**

Этот метод имеет относительно систематизированную математическую теорию. Из введения в главе 2 видно, что принцип "управляемый функционал" в основном определяет свой весовой коэффициент через субъективное суждение. Хотя этот метод отражает субъективное суждение оценщика о модели оценки, он имеет значительную субъективную случайность в результатах оценки и может быть подвержен влиянию недостатка опыта оценщика. Принцип 'обусловленные различия' заключается в использовании существующей объективной информации и научных математических методов оценки для определения весовых коэффициентов. Хотя ему не хватает субъективной информации оценщика. Поэтому мы придумали новый метод оценки, объединив эти два метода и приняв во внимание их преимущества.

В модели оценки схем машин для строительства из монолитного бетона существует множество схем оценки. Если различия между каждой схемой

можно отразить в целом, сделав его как можно более высоким, это очень выгодно для ранжирования и оптимизации результатов оценки. Кроме того, на основе сильных сторон субъективного и объективного наделения полномочиями был предложен улучшенный метод градации.

Улучшенный "метод градации" представляет собой синтез двух взвешенных наблюдений. В предыдущий раз речь шла о весовых коэффициентах важности каждого показателя оценки, а во второй – о попытке максимально "разделить" общие различия между оцениваемыми объектами. Это не только устраняет влияние неодинаковой важности различных показателей относительно результатов оценки при использовании первоначального метода оценки, но и объединяет принципы "управляемый функционал" и "обусловленные различия" для восполнения недостатков субъективного и объективного методов взвешивания.

### **3.6. Выбор режима сборки**

В предыдущей главе были разработаны общие методы агрегирования, основанные на характеристиках показателей, и их характеристики различны. Очень важно выбрать метод агрегирования, который подходит для модели комплексной оценки схем строительной техники из монолитного бетона.

Во-первых, в процессе оценки, принимая во внимание основные характеристики "синтеза показателей" и его легко объяснимые преимущества, приоритет отдается первым двум методам агрегирования на основе характеристик показателей, а именно нелинейному взвешенному методу агрегирования и линейному взвешенному методу агрегирования.

Во-вторых, исходя из характеристик схемы строительной техники из монолитного бетона, хотя существует множество показателей оценки, они

независимы друг от друга и не имеют сильной корреляции. Это соответствует характеристикам агрегирования методом линейно-взвешенного синтеза.

И снова при определении весовых коэффициентов в данной статье используется метод расширения иерархии, который направлен на расширение общих различий между разными схемами. Таким образом, роль весовых коэффициентов показателей становится более заметной, что также отвечает агрегационным характеристикам линейного взвешенного комплексного метода.

Наконец, линейно-взвешенный обобщающий метод обладает такими характеристиками, как удобство расчета и простота продвижения, а также не имеет особых требований к значениям показателей. Исходя из вышеизложенных причин, модель агрегирования получается следующим образом:

$$y_i = \sum_{j=1}^m w_j x_{ij} (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3.1)$$

В формуле  $y$  – это значение комплексной оценки машинной схемы строительства из монолитного бетона после агрегирования по модели (3.1),

$X_{ij}$  – безразмерное стандартное значение наблюдения

$W_j$  – весовой коэффициент, соответствующий оценочному показателю  $X_j$

Выполните это условие  $0 \leq w_j \leq 1, j = 1, 2, \dots, m, \sum_{j=1}^m w_j = 1$

### 3.7. Процесс комплексной оценки

Процесс комплексной оценки включает в себя получение и

предварительную обработку значений наблюдений, расчет весов индексов, расчет значений оценки и ранжирование планов оценки. Это полная и систематическая модель оценки. Конкретный процесс показан на рисунке 3.3.

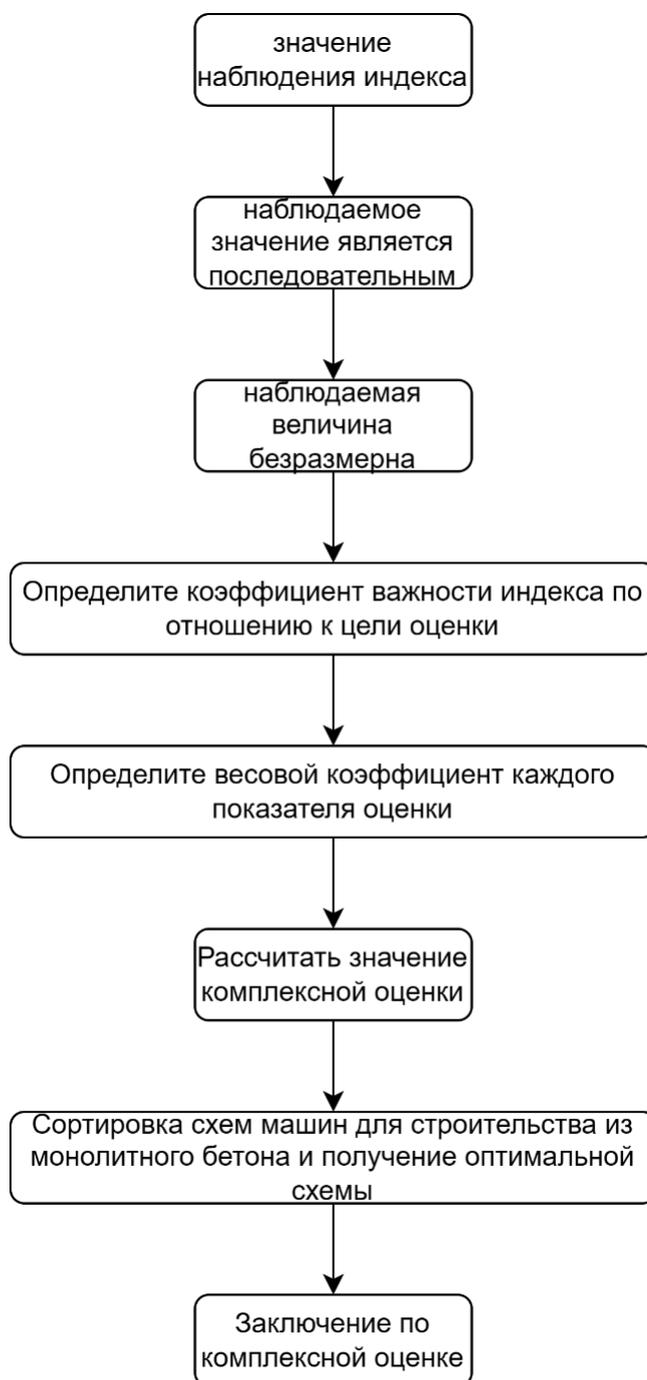


Рис.3.3. Процесс комплексной оценки

1, значение наблюдения индекса

Создается система индексной оценки схем строительных машин из

монолитного бетона, состоящая из  $n$  схем строительных машин из монолитного бетона  $(O_1, O_2, \dots, O_n)$  и  $m$  показателей оценки  $(x_1, x_2, \dots, x_m)$ .  $x_{ij} = x_j(O_i)$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) – это средний балл  $j$  – го показателя оценки схемы бетонных строительных машин, оцененной группой экспертов. Таким образом, матрица наблюдаемых значений показателя оценки схемы бетонных строительных машин может быть выражена как:

$$A = [x_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

## 2, Постоянство значения наблюдения, безразмерное

В этой системе оценочных показателей только стоимость строительной техники является очень маленьким показателем, а остальные показатели - очень большими. Учитывая привычки людей к суждениям, чтобы удовлетворить ожидание, что чем больше итоговое значение оценки, тем лучше схема строительной техники из монолитного бетона, берется обратная величина наблюдаемого значения стоимости строительной техники, чтобы преобразовать ее в очень большой индекс. Затем с помощью метода стандартизации проводится безразмерная обработка согласованного значения. В настоящее время:

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (3.3)$$

Среди них  $\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}$  и  $S_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} - \bar{x}_j}$  – среднее значение и средняя квадратическая ошибка наблюдаемого значения  $j$  – го показателя, соответственно, а  $x_{ij}^*$  называется стандартным наблюдаемым значением. Матрица стандартных наблюдений может быть получена:

$$A^* = [x_{ij}^*]_{n \times m} = \begin{bmatrix} x_{11}^* & x_{12}^* & \dots & x_{1m}^* \\ x_{21}^* & x_{22}^* & & x_{2m}^* \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ x_{n1}^* & x_{n2}^* & \dots & x_{nm}^* \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

3, определите коэффициент важности индекса по отношению к цели оценки

Для определения показателя оценки схемы машин для строительства из монолитного бетона возьмем набор показателей  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ , выберем  $L$  ( $L \geq 1$ ) экспертов, определим целое положительное начальное значение  $p$  ( $1 \leq p \leq m$ ) и зададим  $k$  – му эксперту для выбора показателя в соответствии со следующими шагами:

Выбрать  $p$  показателей, которые он считает наиболее важными в наборе показателей  $X$ , и получить подмножество  $X_{1,k} = \{X_{1,k,1}, X_{1,k,2}, \dots, X_{1,k,p}\} \subset X$

Выбрать  $2p$  показателей, которые он считает наиболее важными в наборе показателей  $X$ , и получить подмножество  $X_{2,k} = \{X_{2,k,1}, X_{2,k,2}, \dots, X_{2,k,p}\} \subset X$

По аналогии выбрать  $rp$  показателей, которые он считает наиболее важными в наборе показателей  $X$ , и получить подмножество:

$$X_{r,k} = \{X_{r,k,1}, X_{r,k,2}, \dots, X_{r,k,p}\} \subset X$$

Если натуральное число  $r$  удовлетворяет  $rp + u = m$  ( $0 \leq u < p$ ), процесс отбора заканчивается, и получается  $d$  подмножеств оценочных показателей схем машин для строительства из монолитного бетона.

заданная функция:

$$g(X_j) = \sum_{k=1}^L \sum_{i=1}^r u_{ik}(X_j), j = 1, 2, \dots, m \quad (3.5)$$

Где  $u_{ik}(X_j)$  означает, что если  $X_j$  принадлежит индексному подмножеству, то  $X_{r,k}$  равен 1, иначе – 0.

Затем, после нормализации  $g(X_j)$ , получаются весовые коэффициенты

важности  $m$  показателей оценки схемы машин для строительства из монолитного бетона:

$$r_j \frac{g(X_j)}{\sum_{k=1}^m g(X_k)}, j = 1, 2, \dots, m \quad (3.6)$$

4. Определите весовой коэффициент индекса оценки

В соответствии с полученным выше весовым коэффициентом, процесс взвешивания проводится по наблюдаемым значениям каждого показателя, а именно:

$$x'_{ij} = r_j x_{ij}^* = 1, 2, \dots, m \quad (3.7)$$

Среди них  $X_{ij}^*$  – стандартное значение наблюдения после последовательной и безразмерной обработки.

Таким образом, получена новая матрица значений индекса оценки показателей наблюдения новой схемы машин для строительства из монолитного бетона:

$$A' = [x'_{ij}]_{n \times m} = \begin{bmatrix} (x'_{11} & x'_{12} & \dots & x'_{1m}) \\ (x'_{21} & x'_{22} & \dots & x'_{2m}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (x'_{n1} & x'_{n2} & \dots & x'_{nm}) \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Формула может быть получена путем определения веса индекса в соответствии с методом вытягивания оценок:

$$\begin{aligned} & \max \omega^T H \omega \\ & \text{s. t. } \begin{cases} \omega^T \omega = 1 \\ \omega > 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Здесь  $H = A'^T A'$ , является вещественной симметричной матрицей.

Приведенная выше формула имеет следующие выводы. Когда  $\omega$  является стандартным собственным вектором, соответствующим наибольшему

собственному значению  $H$ , приведенная выше формула получает максимальное значение. Поэтому возьмите  $\omega$  в качестве собственного вектора, соответствующего наибольшему собственному значению  $H$ , и выполните нормализацию для получения желаемого вектора весовых коэффициентов  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$  и  $\sum_{j=1}^m \omega_j = 1$ . Если определен  $\omega_j < 0$ , этот вывод не может быть применен, и его нужно решать по формуле (3.9).

#### 5. Рассчитайте общую стоимость оценки

После получения весового коэффициента индекса с помощью вышеуказанных шагов, для решения комплексного значения оценки выбирается метод линейного взвешенного агрегирования. А именно:

$$y_i = \sum_{j=1}^m \omega_j x_{ij}^* (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3.10)$$

#### 6. Заключение по комплексной оценке

Вышеприведенная формула используется для решения комплексного значения оценки каждой схемы оценки, схемы оценки сортируются в соответствии со значением оценки от большого к малому, и, наконец, получается оптимальная схема строительной техники для монолитного бетона.

### 3.8. Примеры расчетов и анализ

#### 3.8.1. Пример расчета

Если взять в качестве примера проект по производству монолитного бетона в Шанхае, то существует три схемы строительной техники, и схема оптимизируется с помощью улучшенного метода вытягивания.

Во-первых, примените метод экспертной оценки в таблице 3.2 в разделе 3.3 Определение значений наблюдений индекса оценки для получения значений

наблюдений оценки данного примера, как показано в таблице 3.3:

Таблица 3.3

Наблюдения для оценки схемы

програ мма	стоим ость	Поставк аоборуд ования	обеспечен иекачеств а	Механическая работоспособно сть	Координаци оннаяработа	Обслуживание иремонтопригодн ость
1	60416	6.2	8	5	7.2	8.4
2	38128	8.4	8.2	9	8.5	6
3	69268	7.3	7	7.5	7	7.3

(1) Последовательная обработка. Среди вышеперечисленных показателей стоимость является очень маленьким показателем, а все остальные показатели - очень большими. Поэтому возьмите обратную величину стоимости, преобразуйте все показатели в очень большие и получите данные после равномерной обработки:

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{60416} & 6.2 & 8 & 5 & 7.2 & 8.4 \\ \frac{1}{38128} & 8.4 & 8.2 & 9 & 8.5 & 6 \\ \frac{1}{69268} & 7.3 & 7 & 7.5 & 7 & 7.3 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

(2) Безразмерная обработка. Используйте метод стандартизации в уравнении (2.1) выше, чтобы выполнить безразмерную обработку нормализованных значений. Получение данных:

$$A = \begin{bmatrix} -0.491 & -1.225 & 0.509 & -1.313 & -0.552 & 1.190 \\ 1.394 & 1.225 & 0.890 & 1.111 & 1.403 & -1.257 \\ -0.903 & 0 & -1.396 & 0.202 & -0.853 & 0.0683 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

(3) Определите важность показателей относительно целей оценки. Три эксперта использовали вышеуказанный метод для определения важности показателей оценки относительно целей оценки. Они выбрали показатели, которые они считают важными, из шести показателей оценки схемы машин для строительства из монолитного бетона, рассчитали весовые коэффициенты трех наборов показателей, взяли среднее значение и, наконец, получили предварительные весовые коэффициенты показателей.

$$r_j = (0.286, 0.190, 0.063, 0.238, 0.096, 0.127) \quad (3.13)$$

(4) Определите весовые коэффициенты каждого показателя оценки. Используя полученные весовые коэффициенты, взвешиваются наблюдаемые значения каждого показателя для получения новой матрицы наблюдаемых значений для оценки схем машин для строительства из монолитного бетона

$$A' = \begin{bmatrix} -0.140 & -0.233 & 0.032 & -0.313 & -0.053 & 0.151 \\ 0.398 & 0.233 & 0.057 & 0.265 & 0.134 & -0.160 \\ -0.258 & 0 & -0.089 & 0.048 & -0.081 & 0.009 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

При использовании метода разгадывания, основанного на принципе разности, эмпирически известно, что собственные векторы, соответствующие максимальному собственному значению матрицы  $H = A^T A'$ , не все члены больше нуля. Поэтому значение весового коэффициента вычисляется по уравнению (3.9) выше и нормируется. Из-за сложности процесса расчета здесь приводятся только результаты расчета:

$$\omega_j = (0.339607, 0.232554, 0.037029, 0.275138, 0.115672, 0.000001) \quad (3.15)$$

(5) Вывод оценки. Выбрав для расчета линейно-взвешенный метод агрегирования и подставив полученные выше веса и другие соответствующие параметры в уравнение (3.10), можно получить следующие значения комплексной оценки трех схем:  $y_1 = -0.857884$ ,  $y_2 = 1.259211$ ,  $y_3 = -0.401448$ .

Поскольку были выбраны чрезвычайно большие данные, чем больше

значение комплексной оценки, тем лучше план. Для данного примера, среди трех схем, вторая схема имеет наибольшее значение комплексной оценки, поэтому можно сделать вывод, что схема 2 является лучшей механической схемой для строительства из монолитного бетона.

Согласно инженерной практике, схема 2 превосходит две другие схемы. Таким образом, по сравнению с обычными методами, использование данного метода для выбора схем машин для строительства из монолитного бетона позволяет сэкономить время и эффективно выбрать схемы, отвечающие требованиям строительного периода и обеспечивающие качество строительства в существующих ресурсных условиях.

### 3.8.2. Анализ результатов

Для того чтобы отразить различия между оригинальным методом и усовершенствованным методом, данные примера были использованы для расчета весов показателей и значений комплексной оценки по методу градации. Из-за ограниченности места результаты расчетов представлены непосредственно ниже, как показано в таблице 3.4.

Таблица 3.4

алгоритм	Вес показателя и значение комплексной оценки каждой схемы	Среднее квадратичное отклонение
Метод повышенной оценки	0.22900284 , 0.21009208 , 0.13688438 , 0.19279318 , 0.23122743, 0.00000009 -0.1746, -1.237, -0.5562	0.7713
Метод улучшенной градации	0.339607,0.232554,0.037029,0.275138,0.115672,0.000001 -0.8579, 1.2592, -0.4014	0.9097

Из приведенной выше таблицы видно, что для данного примера

произошло незначительное изменение в результатах ранжирования двух методов. Наибольшая разница отражена в среднем квадратичном отклонении двух методов. Улучшенный метод ранжирования, основанный на информации, которой доверяют эксперты, лучше отражает общие различия различных схем машин для строительства из монолитного бетона, благодаря чему люди охотнее принимают улучшенный метод.

В данной главе исследуется модель комплексной оценки схем строительной техники из монолитного бетона, рассматривается построение этой модели с точки зрения определения системы показателей оценки, определения и предварительной обработки значений наблюдений показателей, определения метода комплексной оценки и выбора метода агрегирования. Это является основным инновационным моментом данной статьи. В конце статьи была проверена осуществимость выбора схемы машин для строительства из монолитного бетона на примере применения, а также описаны конкретные этапы оценки, что также отражает преимущества данного метода по сравнению с оригинальным методом.

### **3.8.3. Практические примеры из практики**

Пример расчета:

Если взять в качестве примера склад табачной фабрики в Шанхае, то общая площадь строительства составляет 43460 квадратных метров, с каркасной конструкцией. План здания имеет форму буквы "L" с пятью этажами над землей. Первый этаж составляет 4,8 м, а высота над первым этажом – 4,5 м. Высота основного здания составляет 23,25 м. Категория строительства данного проекта – здание класса С, категория строительной площадки – класс III,

уровень структурной безопасности – класс II, интенсивность сейсмического укрепления – семь степеней, принят независимый фундамент. Марка прочности бетона для балок, перекрытий, колонн и фундамента – С35.

Рассчитайте соотношение бетонной смеси и количество подачи:

Таблица 3.5

<b>Тип бетона</b>	обычный бетон	<b>Марка бетона по прочности</b>	С35
<b>Стандартное отклонение прочности бетона</b>	5.00	<b>Максимальное водоцементное отношение</b>	0.55
<b>Марка цемента</b>	425	<b>Тип камня</b>	Гравий
<b>Минимальная дозировка цемента</b>	280	<b>Максимальный размер частиц камней</b>	0.60
<b>Метод расчета дозировки заполнителя</b>	Гравиметрический метод	<b>Предполагаемая плотность бетонной смеси (кг/м<sup>3</sup>)</b>	2400
<b>Коэффициент регрессии а</b>	0.64	<b>Коэффициент регрессии b</b>	0.07
<b>Водопотребление бетонного блока <math>m_{wp}</math></b>	175	<b>Разумное соотношение песка в бетоне <math>\beta_s</math></b>	34

Прочность бетона на совместимость:

$$f_{cu,o} = 1.10 \times (f_{cu,k} + 1.645 \times \sigma) = 1.10 \times (35 + 1.645 \times 5) = 47.548 N/mm^2 \quad (3.16)$$

Определение водоцементного отношения:

Значение прочности на сжатие цементного раствора 28d

$$f_{ce} = \gamma_c \times f_{ce,g} = 1.13 \times 425 = 48.025 N/mm^2 \quad (3.17)$$

На этом участке проекта требуется залить 1000 м бетона <sup>3</sup>, Время заливки ограничено 7-12 часами, и все снабжается товарным бетоном. Смесительная станция находится в 10 км от строительной площадки, а максимальная высота заливки составляет 40 м.

Четыре типа комбинаций машин для строительства из монолитного бетона выбраны из широко используемых машин.

Вариант 1: (8,3ч) 2 автонасоса ZLJ5339THB 47X; 15 автобетоносмесителей CLY5257GJB6; 4 вставных виброрейки;

Вариант 2: (11,1ч) Два буксировочных насоса HBT9050CH-5D; 12 автобетоносмесителей CLY5257GJB6; 2 комплекта распределителей ткани HGD40; 4 вставных виброрейки;

Вариант 3: (9,1 ч) 1 буксировочный насос HBT9050CH-5D; 1 автонасос AH5384THB-47; 15 автобетоносмесителей CLY5257GJB6; 1 комплект распределителя ткани HGD40; 4 вставные виброрейки;

Вариант 4: (7,7 ч) 2 автонасоса AH5384THB-47; 17 автобетоносмесителей CLY5257GJB6; 4 вставных виброрейки;

(Используемые механические модели показаны в приложении)

На основе наблюдаемых значений исследуемых показателей для каждой машины:

Таблица 3.6

Наблюдения для оценки схемы

Вариант	1	2	3	4
стоимость	37053	42281	38292	38128
Поставка оборудования	7.6	6.2	7.3	8.4
обеспечение качества	8.3	8	7	8.2
Механическая работоспособность	9	5	7.5	9
Координационная работа	8.1	7.2	7	8.5
Обслуживание и ремонтпригодность	6.2	8.4	7.3	6

Рассчитать в соответствии с разделом 3.7

$$A = \begin{pmatrix} 0.3272 & 0.1761 & 0.0028 & 0.2596 & 0.0589 & -0.1295 \\ 0.1761 & 0.1444 & 0.0102 & 0.1688 & 0.0578 & -0.0915 \\ 0.0028 & 0.0102 & 0.0159 & 0.0144 & 0.0185 & -0.0121 \\ 0.2596 & 0.1688 & 0.0144 & 0.2266 & 0.0687 & -0.1192 \\ 0.0589 & 0.0578 & 0.0185 & 0.0687 & 0.0369 & -0.0415 \\ -0.1295 & -0.0915 & -0.0121 & -0.1192 & -0.0415 & 0.0645 \end{pmatrix} \quad (3.18)$$

$$\omega = \begin{pmatrix} 0.361128, & 0.228013, & 0.014277, & 0.308902, & 0.087679, \\ & & & & & 0.0000001 \end{pmatrix} \quad (3.19)$$

Показателями комплексной оценки каждого плана являются:

$$y_1 = 0.75089, y_2 = -1.505698, y_3 = -0.062054, y_4 = 0.816884$$

Значение комплексной оценки схемы 4 больше, чем у трех других схем, таким образом, получается, что оптимальным сочетанием машин для строительства из монолитного бетона в данном проекте является схема 4.

### **Выводы по главе 3**

В данной главе исследуется модель комплексной оценки схемы строительной техники из монолитного бетона, рассматривается построение этой модели, начиная с определения системы оценочных показателей, определения и предварительной обработки значения наблюдения показателя, определения метода комплексной оценки и выбора способа агрегирования, что является основным нововведением данной работы. В конце статьи на примере выбора схемы машин для строительства из монолитного бетона проверяется ее осуществимость и описываются конкретные этапы оценки, что также отражает преимущества данного метода по сравнению с оригинальным методом.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Сопоставление результатов выпускной квалификационной работы с ее задачами позволяет сделать следующие выводы:

– Данная статья посвящена комплексной оценке механических схем для строительства из монолитного бетона. Это обеспечивает прочную теоретическую основу для исследования содержания статьи с двух аспектов: технологии строительства из монолитного бетона и теории комплексной оценки. На этой основе предложена модель оценки механической схемы конструкции для заливки бетона;

– В предложенной в статье модели комплексной оценки

механической схемы монолитной бетонной конструкции после анализа и сравнения нескольких методов комплексной оценки был выбран новый метод - улучшенный метод открытой оценки, который объединяет метод итерации заданного значения и метод открытой оценки. Вес был заново обработан на основе как субъективного, так и объективного методов взвешивания. В первом случае определялась важность каждого показателя оценки относительно результатов оценки, во втором - пытались максимально "разделить" общие различия между объектами оценки. Объединяя принципы "управляемый функционал" и "обусловленные различия", этот метод не только учитывает субъективную волю оценщиков и устраняет влияние различных показателей оценки на важность выводов оценки, но и обеспечивает научную и обоснованную оценку с сильной математической теоретической базой;

– После использования этой модели для комплексной оценки механических схем она может позволить большому количеству схем оценки отразить их различия в целом, делая их максимально удаленными друг от друга, что очень полезно для ранжирования и оптимизации схем оценки. Процесс расчета данной модели оценки является научным и строгим, а выводы - практичными. Она обладает высокой практичностью и подходит для комплексной оценки механических схем для монолитных бетонных конструкций в строительных проектах.

Данные выводы позволяют констатировать, что задачи ВКРМ решены и цель ее достигнута.

*Научная новизна* выполненного исследования заключается в следующем:

– Анализируется развитие схемы комбинирования машин для строительства монолитного бетона в Китае и некоторых других странах;

– Исследование показало, что большинство схем имеют мощные функции в проектировании и расчете, или имеют функцию простого латания текстового содержания проектирования строительной организации, но они не

имеют функции оценки и оптимизации схемы, и не могут удовлетворить потребности инженерно-строительного строительства в Китае;

– В данной статье исследуется модель комплексной оценки схемы строительной техники из монолитного бетона, обсуждается построение этой модели, начиная с определения системы оценочных показателей, определения и предварительной обработки значения наблюдения показателя, определения метода комплексной оценки и выбора способа агрегирования, что является основной инновацией данной статьи.— Установлено, что сборно-монолитные системы, имеющие уровень сборности в 50 %, обладают наибольшим потенциалом для массового использования (по критерию сокращения продолжительности строительства).

*Практическая значимость* полученных результатов исследования заключается в следующем.

– С быстрым развитием экономики Китая и постоянным расширением масштабов бетонного строительства требования к механизации строительства неизбежно будут становиться все выше и выше. При выборе машин для бетонных сооружений необходимо учитывать такие показатели, как продолжительность, стоимость, качество строительства и поставки машин. Поэтому научная, обоснованная и практичная модель комплексной оценки схем машин для строительства из монолитного бетона позволит строительным предприятиям выделиться в жесткой рыночной конкуренции и повысить собственную конкурентоспособность;

– Процесс расчета модели оценки является научным и строгим, заключение практичным и имеет высокую практичность, что подходит для комплексной оценки схемы строительной техники из монолитного бетона в строительном машиностроении;

– Для определения системы оценочных показателей и значения наблюдения показателя, в качестве значения наблюдения показателя

используется количественное значение, оцененное соответствующими строительными экспертами.

*Дальнейшее развитие результатов ВКРМ* возможно в разработке новых организационно-технологических и конструктивных решений, обеспечивающих:

- Была улучшена производительность всей схемы машин для бетонных конструкций;
- сокращение продолжительности строительства здания;
- снижение стоимости строительства здания.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- [1] Ван Ронхуа. О текущей ситуации применения и развития строительной науки и техники в Китае / Ронхуа Ван. // Китайская и зарубежная архитектура. – 2005. – № 12. – С.100-101.
- [2] Чэнь Хуэйцзюань. Об устойчивом развитии строительной экономики / Хуэйцзюань Чэнь. // Бизнес-менеджер. – 2010. – № 14. – С.248.
- [3] Цюй Чжичжун. Развитие и перспективы технологии монолитного бетона в стране и за рубежом / Чжичжун Цюй. // Строительные технологии. – 2002. – № 33. – С.12–15.
- [4] У Чжинай. Текущая ситуация и развитие технологии бетонных конструкций в Китае / Чжинай У, Няньчжун Чжэн. // Бетон. – 2000. – № 9. – С.3-10.
- [5] GB/T9142-2000: Критерии оценки бетономешалки.
- [6] Гуань Кэ. Руководство по строительству зданий (4-е изд.) / Кэ Гуань Чанбин Лю. // Пекин: Издательство строительной индустрии Китая. – 2003. – № 02. – С. 25-27.
- [7] Фотогалерея Baidu: сайт. – URL: <https://image.baidu.com/> (дата обращения 06.03.2023). – Текст: электронный.
- [8] Фотогалерея Baidu: сайт. – URL: <https://image.baidu.com/> (дата обращения 06.03.2023). – Текст: электронный.
- [9] Китайская сеть дорожной техники. – URL: <https://zj.lmjx.net/jiaobanyunshuche/sany/sy204c8y/> (дата обращения 06.03.2023). – Текст: электронный.
- [10] JGJ/T10-95 Техническая спецификация строительства бетононасосных установок.
- [11] GB/T1333-2004 Бетононасос.
- [12] Фотогалерея Baidu: сайт. – URL: <https://image.baidu.com/> (дата обращения 06.03.2023). – Текст: электронный.
- [13] Китайская сеть дорожной техники. – URL:

- <https://zj.lmjx.net/bengche/xcmg/hb67v1/param/> (дата обращения 06.03.2023). – Текст: электронный.
- [14] ZOOMLION. – URL: <http://zoomlion.brand.lmjx.net/> (дата обращения 06.03.2023). – Текст: электронный.
- [15] ZOOMLION. – URL: <http://zoomlion.brand.lmjx.net/> (дата обращения 06.03.2023). – Текст: электронный.
- [16] Фотогалерея Baidu: сайт. – URL: <https://image.baidu.com/> (дата обращения 06.03.2023). – Текст: электронный.
- [17] GB/T 5031–2008 Башенные краны.
- [18] Фотогалерея Baidu: сайт. – URL: <https://image.baidu.com/> (дата обращения 06.03.2023). – Текст: электронный.
- [19] JGJ196-2010 Технические условия безопасности для установки, использования и демонтажа башенных кранов в строительстве.
- [20] Китайская сеть дорожной техники. – URL: <https://zj.lmjx.net/qicheqizhongji/sany/stc250c521/> (дата обращения 06.03.2023). – Текст: электронный.
- [21] JG-T 46–1999 двигатель со встроенным вставным вибратором для бетона.
- [22] Фотогалерея Baidu: сайт. – URL: <https://image.baidu.com/> (дата обращения 06.03.2023). – Текст: электронный.
- [23] Чжан Цайхун. Об организации и управлении механизированным строительством и распределении оборудования / Цайхун Чжан. // Архитектура Шаньси. – 2004. – №30. – С.119–120.
- [24] Чжан Хунбо. Об управлении безопасностью и распределении оборудования в механизированном строительстве / Хунбо Чжан. // Технология и рынок. – 2013, – № 20. – С. 285.
- [25] Юй Янь. Исследование метода оценки конкурентоспособности на основе ограничений равновесия Нэша / Янь Юй. // Журнал науки управления. – 2006. – № 01. – С. 8-13.

- [26] Ян Цзичжан. Исследование системы конфигурации оборудования для механизированного строительства бетонных конструкций / Цзичжан Ян, Хуэйронг Хуан. // Технология Volkswagen.– 2008. – № 11. – С. 94-95.
- [27] Цюй Бинь. Исследование сравнения и выбора схем строительных проектов / Бинь Цюй. // Тяньцзинь: Тяньцзиньский университет, – 2010. – С. 65-66.
- [28] Цзоу Юйлян. Применение стоимостного инжиниринга при контроле стоимости жизни на стадии проектирования / Юйлян Цзоу. // Экономика строительства. – 2009. – № 01. – С. 308-311.
- [29] Ян Юшэн. Метод анализа безубыточности для финансового анализа проектов строительства автомагистралей / Юшэн Ян. // Промышленные технологии и экономика. – 2008. – № 02. – С. 132-134.
- [30] Чжан Вэйбо. Исследование метода оптимизации конфигурации строительных машин и оборудования на основе многоцелевой оптимизации / Вэйбо Чжан. // Гидроэнергетика. – 2003. – № 29. – С. 39-41.
- [31] Чжан Зенгронг. Исследование и применение одноцелевой многооперационной оптимизации условий проектирования для сети водоснабжения / Зенгронг Чжан. // Шанхай: Университет Тунцзи, – 2009. – С. 16-19.
- [32] Лян Ханьцзинь. Контроль качества бетонного строительства / Ханьцзинь Лян // Правовая система и экономика. – 2011. – № 09. – С. 179-182.
- [33] Ян Баоань. Исследование теории, метода и применения многоцелевого анализа решений / Баоань Ян, Кэцзин Чжан. // Шанхай: Издательство университета Донхуа, – 2008. – С. 46-48.
- [34] Китайский журнал автомобильных дорог. – URL: <http://zgglxb.chd.edu.cn/> (дата обращения 06.03.2023). – Текст: электронный.
- [35] Китайский журнал автомобильных дорог. – URL: <http://zgglxb.chd.edu.cn/> (дата обращения 06.03.2023). – Текст: электронный.
- [36] Ян Цинсэн. Моделирование механизированного строительства

асфальтового покрытия / Цинсэнь Ян, Чжиминь Чжэн. // Инженерные дороги Китая. – 1996. – № 09. – С. 107-110.

[37] Foad Frid. Моделирование проверяет Программу очередей для погрузчиков-троллейбусов со снегом / Frid Foad. // J.Constr.Engrg And Mgmt.ASCE. – 1996. – № 02. – С. 112-114.

[38] Лю Цзэнсян. Выбор и правильный подбор машин для укладки и уплотнения / Цзэнсян Лю. // Дорожно-строительная техника и механизация строительства. – 1992. – № 05. – С. 45-49.

[39] Го Сяохун. Теория и практика механизированного строительства высококлассных асфальтобетонных покрытий / Сяохун Го, Цзяинь Го, Журнал Ду. // Чунцинского университета Цзяотун. – 1994. – № 12. – С. 17-22.

[40] Сюн Юнь. Оптимизационное решение разумной конфигурации дорожно-строительной техники / Юнь Сюн, Хайсун Чэнь. // Дорожно-строительная техника и механизация строительства. – 1997. – № 01. – С. 42-44.

[41] Чжан Хайцзюнь. Динамическая оптимизация конфигурации механизированной строительной системы для цементобетонных покрытий / Хайцзюнь Чжан. // Дорожная техника и механизация строительства. – 1999. – № 05. – С. 36-44.

[42] Ян Цзичжан. Исследование системы оптимизации конфигурации оборудования для перекачки бетона в высотных зданиях / Цзичжан Ян. // Сиань: Сианьский университет архитектуры и технологии, – 2009. – С. 65-66.

[43] Чэнь Аньин. Применение программного обеспечения автоматизированного проектирования в креплении лесов из стальных труб и опоры опалубки / Аньин Чэнь, Чжэнсин Го. // Оптимизация инфраструктуры. – 2007. – № 02. – С. 97-100.

[44] Ван Линь. Использование компьютерных технологий для научного формулирования специальных строительных планов для обеспечения безопасности строительных проектов / Линь Ван. // Чжунхуа Констракшн. – 2012. – № 08. – С. 234-235.

- [45] Чэнь Ливэнь. Сунь Баочжэн, Цзян Линьци Обсуждение комплексной оценки множественных показателей / Ливэнь Чэнь, Баочжэн Сунь, Линьци Цзян. // Промышленные технологии Экономика. – 1995. – № 14. – С. 45.
- [46] Ван Шуо. Чжан Либин, Цзинь Цзюлян Метод прогнозирования и комплексной оценки систем / Шуо Ван, Либин Чжан, Цзюлян Цзинь. // Хэфэй: Издательство Хэфэйского технологического университета, – 2006. – С. 17-19.
- [47] Е Цзунъюй. О выборе прямого и безразмерного методов для множественных показателей в комплексной оценке / Цзунъюй Е. // Статистика Чжэцзян. – 1995. – № 14. – С. 45.
- [48]Го Яцзюнь. Метод принятия решений по нескольким признакам на основе силы частичного предпочтения опционов / Яцзюнь Го,Пинтао И. // Журнал Северо-Восточного университета. – 2007. – № 28. – С. 1782-1785.
- [49] Сюй Цзихуэй. Теория, метод и военное применение комплексной оценки / Цзихуэй Сюй. // Пекин: Издательство национальной оборонной промышленности, – 2014. – С. 38-39.
- [50] Ли Вэйвэй. Сравнение стабильности и способности к выделению дифференциации методов оценки с дифференциальным управлением / Вэйвэй Ли, Пинтао И, Яцзюнь Го. // Исследование операций и управление. – 2015. – № 24. – С. 216-221.
- [51] Yager R R. Об упорядоченных операторах агрегирования взвешенного усреднения в многокритериальном принятии решений / R R Yager. // IEEE Взаимодействие по системам, Человек и кибернетика, – 1988. – № 18. – С. 183-190.
- [52] Xu Z S. Обзор методов определения весов OWA / S Z Xu. // Международный журнал интеллектуальных систем. – 2005. – № 20. – С. 843-865.
- [53]Чэнь ШуЮнь. Исследование метода комплексной оценки по нескольким показателям и его оптимальный выбор / ШуЮнь Чэнь, Чонфу Чжан. //

Математическая статистика и управление. – 1994. – № 03. – С. 18-21.

[54] Лю Лили. Исследование метода выбора показателей оценки / Лили Лю. // Журнал Хэбэйского института архитектуры и инженерии. – 2004. – № 22. – С. 134-136.

[55] Лян Хуннин. Руководство по оценке стоимости строительных работ / Хуннин Лян. // Пекин: Издательство химической промышленности, – 2006. – С. 36-39.