

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2024, Том 16, № 1 / 2024, Vol. 16, Iss. 1 <https://esj.today/issue-1-2024.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/63SAVN124.pdf>

2.1.7. Технология и организация строительства (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Голова, Т. А. Инновационный подход к выбору технологии укладки фибробетона из отходов местных производств на примере кластерного анализа / Т. А. Голова, И. А. Магеррамова // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 1. — URL: <https://esj.today/PDF/63SAVN124.pdf>

For citation:

Golova T.A., Magerramova I.A. An innovative approach to the choice of technology for laying fiber concrete from waste from local industries using the example of cluster analysis. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024; 16(1): 63SAVN124. Available at: <https://esj.today/PDF/63SAVN124.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 692

ГРНТИ 67.15.35

Голова Татьяна Александровна

ФГАОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени Трубиллина», Краснодар, Россия
Доцент кафедры «Архитектура»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: emelyanova-tanya@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=214652

Магеррамова Инна Александровна

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет
«Московский инженерно-физический институт»
Балаковский инженерно-технологический институт, Балаково, Россия
Старший преподаватель кафедры «Промышленное и гражданское строительство»
Кандидат технических наук
E-mail: innamag82@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=707103

Инновационный подход к выбору технологии укладки фибробетона из отходов местных производств на примере кластерного анализа

Аннотация. В статье представлен инновационный подход к выбору технологии укладки бетона с помощью кластерного анализа. Для оценки технологий вводятся понятия сырьевой и технологической кластеры. Целью исследований является выбор на основе сырьевого и технологического кластеров эффективной технологии укладки фибробетонной смеси на основе местных материалов в виде отходов производств.

Дано понятие сырьевому и технологическому кластерам, определены его характеристики для технологий виброуплотнения и торкретирования. Заданы центры кластеров. Описаны влияния характерных параметров кластеров на технологии виброуплотнения и торкретирования. Проведенные экспериментальные исследования авторов для технологий виброуплотнения и торкретирования позволили провести кластерный анализ с числовыми значениями характеристик сырьевого и технологических кластеров. Даны понятия межкластерных расстояний, указывающих взаимодействие параметров кластера между собой.

Эффективность принятого инновационного подхода охарактеризована коэффициентом кластеризации. Расчет коэффициента кластеризации осуществлен через симбиоз матриц расстояний сырьевого и технологического кластеров технологий виброуплотнения и торкретирования.

Предложены рекомендации и пошаговый алгоритм оценки эффективности технологий изготовления фибробетона. Алгоритм применения кластерного подхода в выборе технологии укладки фибробетона представлен в виде блок-схемы.

Авторами установлено, что применение технологии торкретирования для изготовления фибробетона на основе отходов промышленности является наиболее эффективным по сравнению с технологией виброуплотнения. Инновационный подход, включающий кластерный анализ позволил эффективно оценить технологии изготовления фибробетона, учитывая сырьевые характеристики и его технологические особенности изготовления.

На основе проведенных исследований даны рекомендации по применению кластерного анализа для выбора эффективной технологии изготовления фибробетонов. Определена эффективная технология укладки бетонной смеси.

Ключевые слова: фибробетоны; технология торкретирования и виброуплотнения; отходы местных производств; сырьевой и технологический кластер

Введение

Применение фибробетонов в строительстве является перспективным направлением [1; 2].

Однако массового распространения несмотря на свои высокие эксплуатационные и прочностные характеристики такие бетоны не получили. Важным вопросом остается не только стоимость, но и технология их изготовления. Для выбора технологии укладки таких бетонов необходимо учитывать не только сырьевые параметры, но и технологические. Инновационным подходом к выбору технологии можно применить кластерный анализ [3].

Кластерный анализ базируется на разделении необходимых заданных параметров на различные подмножества, которые имеют название кластеры. Применение в качестве оценки эффективности технологии методов кластерного анализа при использовании заданных параметров, выбранных групп оценки с необходимыми характеристическими факторами может учесть многомерность поставленной задачи. Поэтому задача выбора технологии укладки фибробетона с применением отходов местных производств методом кластерного анализа позволяет учитывать множество факторов с различными исходными данными.

Для получения фибробетона заданной прочности учитываются как характеристики материалов, так и технологии их изготовления. Если с материалами для изготовления фибробетона существует определённая ясность, то в технологии укладки бетона применяют традиционно виброуплотнение. Как показывает практика — этот способ изготовления фибробетона не всегда эффективен, потому что при виброуплотнении может произойти неравномерное распределение фибры по телу бетона.

Авторами предложено рассмотреть альтернативную современную технологию укладки бетона, которая в России недостаточно развита, это — технология торкретирования. Преимуществом этой технологии является равномерное распределение фибры в теле бетона в процессе нанесения и уплотнения. Для обоснования предложенного решения введем понятие сырьевого и технологического кластера для технологий виброуплотнения и торкретирования.

Оценку методам кластерного анализа для сырьевого и технологического кластеров будем проводить на основе нечеткого алгоритма, где основная исходная информация описывается в виде матрица наблюдений l (число объектов) \times n (число признаков) для выбранного объекта [4; 5]:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{l1} & x_{l2} & \dots & x_{ln} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

В работе используется метод нечёткой кластеризации, позволяющий каждому объекту принадлежать с различной степенью нескольким или всем кластерам одновременно.

Число кластеров c принимается заранее известным и для выбора технологии укладки фибробетона — это сырьевой и технологический кластеры.

Структура сырьевого и технологического кластеров задаётся матрицей принадлежности ($c \times l$ матрица):

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1l} \\ m_{21} & m_{22} & \dots & m_{2l} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{c1} & m_{c2} & \dots & m_{cl} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где m_{ij} — степень принадлежности j -го элемента i -му кластеру.

При этом заданная матрица принадлежности, согласно кластерной теории, удовлетворяет следующим условиям: $m_{ij} \in [0,1], i = \overline{1, c}, j = \overline{1, l}, \sum_{i=1}^c m_{ij} = 1, j = \overline{1, l}$, т. е. каждый объект должен быть распределён между всеми кластерами.

Для достижения поставленной задача методом кластеризации технологии виброуплотнения и торкретирования разбиение на сырьевой и технологический кластеры происходило со сходными между собой параметрами.

В n -мерном заданном метрическом пространстве параметров мерой «сходства» двух характеристик считается расстояние между ними. Расстояние считается в мерном пространстве до центра кластера, так называемым центроидом.

Расстояние до выбранного центроида с параметрами, которые отличаются единицами измерения часто выражают через расстояние Чебышева. Оно описывается n -мерными числовыми характеристиками и выражается максимальным значением модуля разности принятых компонентов этих характеристик:

$$d(x, y) = \max |x_i - y_i|. \quad (3)$$

При этом матрицу расстояний между выбранными параметрами применяют для кластеризации этих характеристик. В этом случае в качестве исходных данных имеется симметричная матрица для системы из l параметров:

$$d = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1l} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2l} \\ d_{31} & d_{32} & \dots & d_{3l} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nl} \end{bmatrix}, d_{ii} = 0, d_{ij} = d_{ji}, i, j = \overline{1, l}. \quad (4)$$

Алгоритм нечеткой кластеризации позволит разделить параметры сырьевого и технологического кластеров на необходимые параметры, которые характеризуется максимальным приближением их к центроидам.

Основные параметры сырьевого кластера для фибробетонов

Применение отходов производств в качестве заполнителей бетона в настоящее время становится все более актуальной.¹

Учитывая положительный опыт использования данных материалов при изготовлении бетонов и конструкций на их основе, все чаще в составах фибробетона и бетонов присутствуют отходы производств.

Поэтому основными исходными материалами для исследования технологий фибробетона были определены местные материалы, в том числе отходы местных производств, такие как: вяжущее — портландцемент ОАО «Вольскцемент»; мелкий заполнитель — регенерат (песок-шлак) отходы предприятия АО «Балаково-Центролит»; порообразователь — пыль газоочистки АО «Балаково-Центролит»; фибры — полипропиленовая путанка. Все материалы для фибробетона расположены в пределах территории Саратовской области.

Основными параметрами сырьевого кластера являются физико-механические характеристики исходных материалов для изготовления легкого и тяжелого фибробетонов необходимого класса (табл. 1).

В качестве центроида сырьевого кластера для технологий виброуплотнения и торкретирования является классы фибробетона по прочности.

Экспериментальные данные, полученные авторами, показали, что основными сырьевыми параметрами для технологий виброуплотнения и торкретирования являются количество основных наполнителей, которые влияют на плотность фибробетона и соответственно на его прочность.

Таблица 1

Параметры сырьевого кластера

Центроид	Параметры
Класс фибробетона прочности технологии виброуплотнение	R_{fb} , МПа (прочность фибробетона)
	ρ_{fb} , кг/м ³ (плотность фибробетона)
	n_v , гр (количество волокна)
	p , % (количество порообразователя)
	g , кг (количество регенерата)
Класс фибробетона прочности технологии торкретирования	R_{fbT} , МПа (прочность фиброторкретбетона)
	ρ_{fbT} , кг/м ³ (плотность фиброторкретбетона)
	n_v , гр (количество волокна)
	p , % (количество порообразователя)
	g , кг (количество регенерата)

В экспериментальных исследованиях, проведенных авторами были получены значения выбранных параметров в зависимости от технологий виброуплотнения и торкретирования, которые варьировались для прочности фибробетона от 10,4 до 19,2 МПа, плотности 1 518 до 2 050 кг/м³, количества волокон от 0,03 до 0,06 %, количество порообразователя от 2 до 46 % и количество регенерата от 15 до 60 % [6].

Полученные значения характеристик сырьевого кластера позволит оценить влияние технологии укладки на фибробетоны с заполнителями на основе отходов местных производств.

¹ Распоряжение Правительства РФ от 25 января 2018 года N 84-р. Об утверждении Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/>.

Основные параметры технологического кластера для фибробетонов

Одним из ключевых факторов в изготовлении фибробетонов является оборудование для технологических операций, а также параметры укладки и необходимые показатели фибробетонной смеси [7]. Технологический кластер позволит учесть необходимые параметры технологий виброуплотнения и торкретирования.

Наиболее часто применяемая технология изготовления конструкционного легкого фибробетона — виброуплотнение. Она характеризуется формованием бетонной смеси, частицы которой подвергаются частым колебаниям, что приводит ее в состояние тяжелой жидкости. Под действием силы тяжести, при виброуплотнении частицы пытаются занять место, при котором объем бетона становится наименьшим.

Технологический кластер выделяет два основных центра: технология виброуплотнения и технология торкретирования.

Технология виброуплотнения является самой изученной на сегодняшний день и к основным показателям, что ее характеризуют относят: режим колебаний (интенсивность и продолжительность вибрации), типотропное состояние фибробетонной смеси.

Выбранный режим колебаний зависит от типа используемого оборудования и при недостаточной вибрации получается неуплотнённая смесь и соответственно отсутствие сцепления с фиброй, при интенсивной — расслоение смеси и неравномерное распределение фибры по телу бетона. И тот и другой фактор влияет на конечную прочность фибробетона.

Результаты проведенных экспериментальных исследований подтверждают, что оптимальным временем воздействия вибраций для получения фибробетона плотностью до 1800 кг/м^3 и с соответствующим классом бетона при использовании виброуплотнения является определенный интервал от 15 до 60 секунд. Для этого необходимо обеспечить соответствующую подвижность. Исследуемые фибробетоны при полученных плотностях с в/т отношением в пределах 0,25 до 0,33 имели подвижность смеси от П3 до П5.

Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях с применением вибростола ЛВС180.

Альтернативным способом укладки фибробетонной смеси является технология торкретирования. Учитывая ее уникальные возможности нанесения готовой смеси на поверхности с односторонней опалубкой и одновременным уплотнением смеси. Различают сухой и мокрый способы нанесения. Авторами для исследований выбрана мокрая технология торкретирования, позволяющая наносить готовую фибробетонную смесь, тем самым обеспечивая равномерность распределения фибры. Давление бетонной смеси создается специальными компрессорами через шланги со скоростью свыше 140 м/с [8; 9], и наноситься на подготовленную поверхность с помощью специального сопла или ковша. При этом важной характеристикой является геометрические параметры сопла, размер которых непосредственно влияет на объем воздуха для подаваемой смеси. При увеличении диаметра сопла происходит увеличение объема воздуха и соответственно подаваемой смеси, что в конечном итоге влияет на прочность набрызга. В проведенных экспериментальных исследованиях диаметр сопла принимался от 13 до 52 мм.

Одной из основных преимуществ технологии торкретирования является ее универсальность, позволяющая применять ее в любых условиях, будь то заводское производство или строительная площадка. В отличие от технологии виброуплотнения, которая имеет свои ограничения, торкретирование предоставляет возможность работать в различных построенных условиях.

В ходе экспериментальных исследований, проведенных авторами, при использовании «мокрого» метода торкретирования, толщина наносимого слоя зависела от расстояния до выбранной поверхности, которое варьировалось в пределах от 0,25 до 1,5 м и угла наклона сопла (ковша) от 30 до 90°С.

Это означает, что при определенных условиях и параметрах, расстояние в процессе торкретирования может быть определено с учетом угла наклона сопла и геометрии опалубки, используя соответствующую формулу:

$$L_i = h_i \cdot tg\alpha_i, \tag{5}$$

где h_i — расстояние от места распыления бетонной смеси до поверхности нанесения на опалубку.

Укладка фибробетонной смеси по технологии торкретирования производилась в лабораторных условиях с использованием установки на базе компрессора Power Technic 440/100 под давлением от 0,4 до 0,6 МПа и толщиной набрызга от 1,5 до 3 см за один раз.

Учитывая особенности технологий виброуплотнения и торкретирования для определенных центроидов основными характеристиками для технологического кластера являются параметры, представленные в таблице 2.

Таблица 2

Параметры технологического кластера

Центроид	Параметры
Технология виброуплотнение	R_{fb} , МПа (прочность фибробетона)
	ρ_b , кг/м ³ (плотность фибробетона)
	T, с (продолжительность вибрирования)
	V/T (водотвердое отношение)
	P, см (подвижность бетонной смеси)
Технология торкретирования	R_{fbT} , МПа (прочность фиброторкретбетона)
	ρ_{T} , кг/м ³ (плотность фиброторкретбетона)
	P, МПа (давление струи торкретбетона)
	t, мм (толщина наносимого слоя за один раз)
	Dсопла, мм (диаметр отверстия сопла)
	α^0 (угол наклона сопла при торкретировании поверхности)

В отличие от сырьевого кластера в технологическом кластере параметры зависят от особенностей технологии и отличаются друг от друга с учетом специфики укладки бетонной смеси и работы соответствующего оборудования.

Как показали экспериментальные исследования плотность фибробетона одного и того же состава при использовании технологии торкретирования в среднем на 200 кг/м³ превышала плотность фибробетона, изготовленного по технологии виброуплотнения [9].

Сырьевой кластер для выбора технологии укладки фибробетона

Инновационный подход при использовании кластерного анализа для выбора эффективной технологии изготовления фибробетона заключается в комплексной оценке сырьевых параметров, влияющих на прочность фибробетона.

Определение расстояний до центроидов сырьевого кластера технологий виброуплотнения и торкретирования будем проводить с помощью расстояния Чебышева по формуле 3.

Для этого определим дистанции между центроидом и выбранными параметрами сырьевого кластера технологий виброуплотнения и торкретирования.

Плотность фибробетона считается одним из главных критериев, влияющих на прочность и класс фибробетона.

В рамках экспериментальных исследований, проведённых авторами, было выявлено влияние количества комплексного порообразователя (ρ , %) и регенерата (r , %). На плотность фибробетонной смеси. Учитывая эти зависимости расстояние Чебышева можно записать следующим образом:

$$d_{c1}(\rho_B/\rho_T, [\text{кг/м}^3], r[\%]) = \max |\rho_i - \rho_j| |r_i - r_B|; \quad (6)$$

$$d_{c2}(\rho_B/\rho_T, [\text{кг/м}^3], \rho[\%]) = \max |\rho_i - \rho_j| |\rho_i - \rho_B|. \quad (7)$$

Повышение прочности фибробетонной смеси в процессе исследований происходило в зависимости от введения в бетонную смесь фибры n_v , гр. При этом расстояние Чебышева будет иметь вид:

$$d_{c3}(R_{fb}/R_{fbTr}, [\text{МПа}], n_v[\text{гр}]) = \max |R_{fb_i} - R_{fb_j}| |n_{vi} - n_{vB}|. \quad (8)$$

Учитывая представленные дистанции, матрица расстояний сырьевого кластера для исследуемых технологий виброуплотнения и торкретирования по формуле 4 выглядит следующим образом:

$$d_{ck} = \begin{bmatrix} d_{c11} & d_{c21} & d_{c31} \\ d_{c12} & d_{c22} & d_{c32} \\ d_{c13} & d_{c23} & d_{c33} \end{bmatrix}, d_{ii} = 0, d_{ij} = d_{ji}, i, j = \overline{1, l}. \quad (9)$$

Для технологии виброуплотнения, на основе работ авторов была составлена численная матрица расстояний сырьевого кластера:

$$d_{ckB} = \begin{bmatrix} 2,55 & 1,05 & 0,78 \\ 3,68 & 3,22 & 1,26 \\ 0,006 & 0,01 & 0,013 \end{bmatrix} = 0,051. \quad (10)$$

Для технологии торкретирования, на основе работ авторов была составлена численная матрица расстояний сырьевого кластера:

$$d_{ckT} = \begin{bmatrix} 2,4 & 1,8 & 0,75 \\ 3,36 & 2,52 & 1,2 \\ 0,004 & 0,007 & 0,009 \end{bmatrix} = 0,001. \quad (11)$$

Полученные численные значения матриц сырьевого кластера лежат в определенном мерном пространстве согласно формуле 4. Оценка методом кластеризации проводится с учетом как можно меньшего внутрикластерного расстояния.²

Численные расстояние сырьевого кластера исследуемых технологий для торкретирования составляет 0,001, что меньше полученного значения, по технологии виброуплотнения равно 0,051.

Оценка технологий укладки фибробетона с точки зрения сырьевого кластера показала эффективность применения технологии торкретирования при определенных материалах фибробетона на основе отходов местной промышленности по сравнению с технологией виброуплотнения.

² Руководство по применению торкрет-бетона при возведении, ремонте и восстановлении строительных конструкций зданий и сооружений. — М.: ОАО «ЦНИИПромзданий», 2007. — 32 с.

Технологический кластер для выбора технологии укладки фибробетона

Инновационный подход при использовании кластерного анализа для выбора эффективной технологии изготовления фибробетона заключается в учете особенностей технологических параметров каждой из рассматриваемых технологий.

Для построения матрицы расстояний технологического кластера рассмотрим параметры, влияющие на дистанции до выбранных центроидов.

Для технологии виброуплотнения на формирование необходимой фибробетонной смеси влияет подвижность и в/т отношение. При уменьшении в/т отношения фибробетонная смесь может получиться малоподвижной. Расстояние по формуле 3 для этих параметров можно записать в следующем виде:

$$d_{ТВ1}(V/T_B, \Pi[см]) = \max |V/T_{Bi} - V/T_{Bj}| |\Pi_{Bi} - \Pi_{Bj}|. \quad (12)$$

Также на укладку фибробетонной смеси влияет продолжительность вибрирования T (с), что напрямую связано с плотностью ρ_B (кг/м³) и соответственно с прочностью фибробетона R_{fb} (МПа). Для этих параметров расстояние Чебышева выглядит следующим образом:

$$d_{ТВ2}(\rho_B, [T[c]]) = \max |\rho_{Bi} - \rho_{Bj}| |T_i - T_j|; \quad (13)$$

$$d_{ТВ3}(T [c], R_{fb} [МПа]) = \max |T_i - T_j| |R_{fbi} - R_{fbj}|. \quad (14)$$

Тогда матрица расстояний по формуле 4 для технологии виброуплотнения можно записать таким образом:

$$d_{ТКВ} = \begin{bmatrix} d_{ТВ11} & d_{ТВ21} & d_{ТВ31} \\ d_{ТВ12} & d_{ТВ22} & d_{ТВ32} \\ d_{ТВ13} & d_{ТВ23} & d_{ТВ33} \end{bmatrix}, d_{ii} = 0, d_{ij} = d_{ji}, i, j = \overline{1, l}. \quad (15)$$

Учитывая экспериментальные данные, полученные авторами, запишем численное значение матрицы расстояний технологического кластера для виброуплотнения:

$$d_{СК} = \begin{bmatrix} 0,3 & 0,2 & 0,2 \\ 0,45 & 3,45 & 3,0 \\ 4,5 & 12,9 & 9,3 \end{bmatrix} = 2,0. \quad (16)$$

Параметры торкретирования в технологическом кластере отличаются от параметров виброуплотнения из-за специфики оборудования и технологического процесса укладки фибробетона.

Важным является расстояние до выбранной торкретируемой поверхности. Это расстояние формируется на основе отведенного места распыления фибробетонной смеси до поверхности нанесения (h , м) и выбранного угла наклона сопла (α_i^0). Такие параметры существенно влияют на конечную толщину слоя торкретбетона (t , мм).

Для этих параметров расстояние Чебышева будет иметь следующий вид:

$$d_{ТТ1}(\alpha[C^0], t[мм]) = \max |\alpha_{Ti} - \alpha_{Tj}| |t_{Ti} - t_{Tj}|. \quad (17)$$

Значение плотности фиброторкретбетона ρ_T , кг/м³ зависит от давления струи P (МПа):

$$d_{ТТ2}(\rho_T, P) = \max |\rho_{Ti} - \rho_{Tj}| |P_{Ti} - P_{Tj}|. \quad (18)$$

Величина давления при торкретировании регулируется не только с помощью компрессора, но и геометрическими параметрами сопла ($D_{\text{сопл}}$ [мм]). Величина диаметра сопла влияет на скорость подачи фибробетонной смеси и соответственно уплотнения поверхности и образование прочности фиброторкретбетона (R_{b_T} , МПа):

$$d_{\text{ТТЗ}}(D_{\text{сопл}}[\text{мм}], R_b[\text{МПа}])^{\square} = \max |D_{\text{Ti}} - D_{\text{Tj}}| |R_{b_{\text{Ti}}} - R_{b_{\text{Tj}}}|. \quad (19)$$

Матрица расстояний технологического кластера для торкретирования записывается следующим образом:

$$d_{\text{ТТ}} = \begin{bmatrix} d_{\text{ТТ11}} & d_{\text{ТТ21}} & d_{\text{ТТ31}} \\ d_{\text{ТТ12}} & d_{\text{ТТ22}} & d_{\text{ТТ32}} \\ d_{\text{ТТ13}} & d_{\text{ТТ23}} & d_{\text{ТТ33}} \end{bmatrix}, d_{ii} = 0, d_{ij} = d_{ji}, i, j = \overline{1, l}. \quad (20)$$

Учитывая экспериментальные данные, полученные авторами запишем численное значение матрицы расстояний технологического кластера для торкретирования:

$$d_{\text{СК}} = \begin{bmatrix} 15 & 7,5 & 7,5 \\ 0,0044 & 0,009 & 0,024 \\ 46,8 & 26,0 & 5,6 \end{bmatrix} = 0,027. \quad (21)$$

Численные значения матрицы расстояний для технологии виброуплотнения технологического кластера показало значение 2, что выходит за пределы обозначенного мерного пространства — 0...1. Однако по технологии торкретирования — это значение лежит в мерном пространстве, что указывает на эффективность применения именно этой технологии для изготовления фибробетонов на основе отходов местной промышленности.

Коэффициент кластеризации как симбиоз сырьевого и технологического кластеров технологий укладки фибробетона

Завершающей оценкой в кластерном анализе является определение коэффициента кластеризации. Для эффективности принятого метода анализа составляется групповая матрица рассеивания, включающая как технологический, так и сырьевой кластер, образуя тем самым симбиоз из взаимодействия.

Симбиоз технологического и сырьевого кластеров для технологий виброуплотнения и торкретирования обозначим через групповые матрицы рассеивания с определением коэффициента кластеризации. Численные значения коэффициентов кластеризации для исследуемых технологий получены на основе экспериментально-теоретических работ.

$$S_{\text{Вибро}} = \begin{bmatrix} d_{c11} & d_{c21} & d_{c31} \\ d_{c12} & d_{c22} & d_{c32} \\ d_{c13} & d_{c23} & d_{c33} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} d_{\text{ТВ11}} & d_{\text{ТВ21}} & d_{\text{ТВ31}} \\ d_{\text{ТВ12}} & d_{\text{ТВ22}} & d_{\text{ТВ32}} \\ d_{\text{ТВ13}} & d_{\text{ТВ23}} & d_{\text{ТВ33}} \end{bmatrix} = 0,095; \quad (22)$$

$$S_{\text{Торкрет}} = \begin{bmatrix} d_{c11} & d_{c21} & d_{c31} \\ d_{c12} & d_{c22} & d_{c32} \\ d_{c13} & d_{c23} & d_{c33} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} d_{\text{ТТ11}} & d_{\text{ТТ21}} & d_{\text{ТТ31}} \\ d_{\text{ТТ12}} & d_{\text{ТТ22}} & d_{\text{ТТ32}} \\ d_{\text{ТТ13}} & d_{\text{ТТ23}} & d_{\text{ТТ33}} \end{bmatrix} = 0,31. \quad (23)$$

Инновационный подход при выборе технологии укладки фибробетона на основе кластерного анализа показал эффективность технологии торкретирования. Учитывая симбиоз технологического и сырьевого кластеров, были определены коэффициенты кластеризации, учитывающие сырьевые и технологические характеристики исследуемых технологий, которые находятся в заданной области мерного пространства $0 \leq S_{\text{Вибро}}/S_{\text{Торкрет}} \leq 1$. Важно отметить, что

коэффициент кластеризации для технологии торкретирования превышает коэффициент для технологии виброуплотнения в 3,2 раза.

Рекомендации по применению кластерного анализа для выбора технологии укладки фибробетона

Применяя вышеизложенный алгоритм кластеризации для оценки сырьевых и технологических факторах, возникает основная задача сведения множества выбранных параметров к ряду общих итогов, отражающих технологии изготовления фибробетонов. Учитывая специфику проведенных исследований, можно предложить общие рекомендации для применения метода кластеризации при выборе технологий изготовления фибробетона.

Рекомендации отражают следующую последовательность действий:

- Формируют базовые характеристики: определить важные переменные для анализа и выбрать необходимые параметры из базового набора. Исходные переменные преобразуются в информационные показатели с учетом особенностей технологий. Далее определяются центроиды и характерные им параметры.
- Группируют объекты вокруг центроидов: на этом этапе выделяются основные группы, которые характеризуют особенности технологии изготовления. Создаются кластеры.
- Задают способ вычисления расстояний между центроидами и выбранными характеристиками кластеров: этот этап отражает взаимодействие между параметрами, характеризующими кластер.

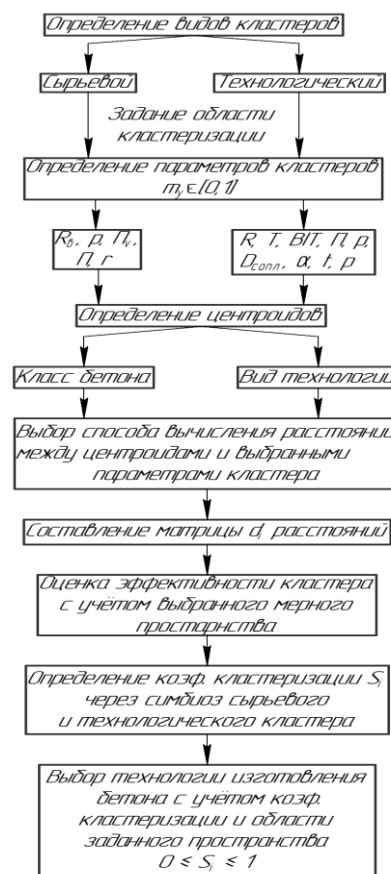


Рисунок 1. Алгоритм выбора технологии укладки фибробетона

При расчете расстояний учитывается значение единицы измерения, влияющих на сырьевые и технологические составляющие:

- Вычисляют результаты: на основе существующих или полученных данных с использованием матричной кластеризации получают численные значения расстояний в выбранных кластерах.

Результаты представляются в виде ограниченного числового диапазона: $0 \leq d \leq 1$.

- Осуществляют симбиоз между выбранными кластерами: для оценки проведенного кластерного анализа используются коэффициенты кластеризации рассматриваемых технологий с учетом выбранных характеристик. Материалы исследования позволяют дать соответствующие рекомендации, отражающие внутренние закономерности и многокомпонентность изучаемых технологий, и способствуют достижению целей анализа.

Рекомендации по применению кластерного анализа для выбора технологий укладки и изготовления фибробетонов показаны в виде алгоритма на рисунке 1.

Заключение

Инновационный подход к выбору технологии укладки фибробетона на основе кластерного анализа показал эффективность применения технологии торкретирования. Полученный симбиоз сырьевого и технологического кластеров, как критерий качества кластеризации позволил разработать алгоритм выбора технологии изготовления фибробетона на основе отходов производств, а также обоснованно выбрать технологию торкретирования эффективной для дальнейших исследований в области создания фиброжелезобетонных элементов с использованием отходов местной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов, П.Э. Повышение эффективности мелкозернистого фибробетона на тонком песке с помощью комплексной добавки / П.Э. Соколов // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т 15, — № 5. — URL: <https://esj.today/PDF/46SAVN523.pdf> (дата обращения: 20.01.2024).
2. Левкович, Т.И. Разработка и исследование свойств составов цементфибробетонов для дорожного строительства / Т.И. Левкович, Н.И. Токар, З.А. Мевлидинов [и др.] // Вестник Евразийской науки. — 2021. — Т 13. — № 1. — URL: <https://esj.today/PDF/21SAVN121.pdf> (дата обращения: 22.02.2024).
3. Голова Т.А. Кластеризация технологии торкретирования с позиции единого системного комплексного подхода / Т.А. Голова, Л.Р. Маилян// Вестник ЮУзГУ. Серия «строительство и архитектура». — 2022. Т 10, — № 2. — С. 41–45.
4. Конов И.В. Решение кластеризации методами оптимизации на графах / И.В. Конов, О.А. Кашина, Э.И. Гильманова // Ученые записки Казанского университета. Серия физико-математические науки. — 2019. — Т 161, кн 3. — № 3. — С. 423–437.

5. Московкин В.М., Казимиру Эринелту. Матричная кластеризация как кластеризация матриц одинаковой размерности. Системный анализ и управление / В.М. Московкин, Казимиру Эринелту // Научные ведомости белгородского государственного университета. Серия: экономика. информатика. — 2017. — № 23. — С. 123–127.
6. Mailyan L.R., Gridchin A.M., Stel'makh S.A., Shcherban E.M., Cherevatova A.V. Influence of bischofite activation of aggregates on the variatropic efficiency coefficient of spun concrete / Mailyan L.R., Gridchin A.M., Stel'makh S.A., Shcherban E.M., Cherevatova A.V. // В сборнике: AIP Conference Proceedings. 2023. С. 184–190.
7. Голова Т.А. Особенности формирования торкретфибробетонной матрицы на основе дисперсного армирования / Т.А. Голова, Н.В. Андреева, И.А. Магеррамова // Современное строительство и архитектура. — 2020. — № 3. — С. 11–15.
8. Shcherban' E.M., Beskopylny A.N., Stel'makh S.A., Mailyan L.R., Meskhi B., Shilov A.A., Pimenova E., El'shaeva D. Combined effect of ceramic waste powder additives and pva on the structure and properties of geopolymer concrete used for finishing facades of buildings. Materials. 2023. Т. 16. № 8. С. 32–59.
9. Голова Т.А. Легкие бетоны на основе отходов местных производств и выбор технологии укладки бетонной смеси / Т.А. Голова, И.А. Магеррамова, Н.В. Андреева // Вестник Евразийской науки. — 2022. — № 2. — 35 с.

Golova Tatyana Alexandrovna

Kuban State Agrarian University named after Trubilina, Krasnodar, Russia
E-mail: emelyanova-tanya@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=214652

Magerramova Inna Aleksandrovna

National Research Nuclear University «Moscow Engineering Physics Institute»
Balakovo Institute of Engineering and Technology, Balakovo, Russia
E-mail: innamag82@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=707103

An innovative approach to the choice of technology for laying fiber concrete from waste from local industries using the example of cluster analysis

Abstract. The article presents an innovative approach to choosing concrete laying technology using cluster analysis. To evaluate technologies, the concepts of raw materials and technology clusters are introduced. The purpose of the research is to select, based on raw material and technological clusters, an effective technology for laying fiber-reinforced concrete mixtures based on local materials in the form of industrial waste.

The concept of raw material and technological clusters is given, and its characteristics for vibration compaction and shotcrete technologies are determined. The centroids of the clusters are specified. The influence of the characteristic parameters of clusters on vibration compaction and shotcrete technologies is described. The experimental studies carried out by the authors for vibration compaction and shotcrete technologies made it possible to conduct a cluster analysis with numerical values of the characteristics of raw material and technological clusters. The concepts of intercluster distances are given, indicating the interaction of cluster parameters with each other.

The effectiveness of the adopted innovative approach is characterized by the clustering coefficient. The calculation of the clustering coefficient was carried out through a symbiosis of the distance matrices of the raw material and technological clusters of vibration compaction and shotcrete technologies.

Recommendations and a step-by-step algorithm for assessing the effectiveness of fiber-reinforced concrete manufacturing technologies are proposed. The algorithm for using the cluster approach in choosing the technology for laying fiber-reinforced concrete is presented in the form of a block diagram.

The authors found that the use of shotcrete technology for the production of fiber-reinforced concrete based on industrial waste is the most effective compared to vibration compaction technology. An innovative approach, including cluster analysis, made it possible to effectively evaluate fiber-reinforced concrete manufacturing technologies, taking into account the raw material characteristics and its technological manufacturing features.

Based on the research carried out, recommendations are given on the use of cluster analysis to select an effective technology for the production of fiber-reinforced concrete. An effective technology for laying concrete mixture has been determined.

Keywords: fiber-reinforced concrete; shotcrete and vibration sealing technology; waste from local industries; raw materials and technological cluster