

УДК 625.85:658.562

ОПТИМИЗАЦИОННО-КВАЛИМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ТРЕБУЕМОГО КАЧЕСТВА

Исмаилов А.М.*СПбПУ «Политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург,
e-mail: ismailov-aleksei@mail.ru*

В статье рассмотрена оптимизационно-квалиметрическая модель процесса проектирования асфальтобетонных смесей требуемого качества на объекты строительства в условиях variability качества исходных компонентов. Оптимизационно-квалиметрическая модель процесса проектирования асфальтобетонных смесей требуемого качества позволяет решать несколько задач: спроектировать оптимальный гранулометрический состав асфальтобетонной смеси с учетом требований нормативной документации, спроектировать оптимальное содержание вяжущего в асфальтобетонной смеси с учетом требований нормативной документации, прогнозировать прочность при сжатии при 20 °C асфальтобетона, прогнозировать прочность при сжатии при 50 °C асфальтобетона, прогнозировать водостойкость асфальтобетона, прогнозировать водонасыщение асфальтобетона. Для экспериментального изучения точности прогнозирования физико-механических свойств асфальтобетона горячего плотного мелкозернистого оптимизационно-квалиметрической моделью процесса проектирования асфальтобетонных смесей были проведены лабораторные испытания. Проанализированы полученные в аккредитованной испытательной дорожно-строительной лаборатории экспериментальные данные. Обоснована эффективность применения оптимизационно-квалиметрической модели процесса проектирования асфальтобетонных смесей требуемого качества. Обоснована возможность снижения затрат на стадии проектирования за счет автоматизации подбора составов асфальтобетона. Обоснована возможность сокращения или устранения трудоемких лабораторных операций подбора составов асфальтобетона. Использование модели обеспечит возможность максимизации объемов производства высококачественных асфальтобетонных смесей.

Ключевые слова: автомобильные дороги, битум, повышение долговечности, технологические процессы, технологические решения, асфальтобетонная смесь, асфальтобетонный гранулят, сегрегация, проектирование, контроль качества

OPTIMIZATION-QUALIMETRIC MODEL OF THE PROCESS OF DESIGNING ASPHALT-CONCRETE MIXES OF REQUIRED QUALITY

Ismailov A.M.*Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg,
e-mail: ismailov-aleksei@mail.ru*

The article discusses the optimization-qualimetric model of the design process of asphalt concrete mixtures of the required quality for construction projects under conditions of variability in the quality of the initial components. The optimization-qualimetric model of the process of designing asphalt concrete mixtures of the required quality of asphalt concrete mixtures allows us to solve several problems: to design the optimal particle size distribution of the asphalt concrete mix taking into account the requirements of normative documentation, to design the optimal content of binder in the asphalt concrete mix taking into account the requirements of regulatory documentation, to predict compressive strength at 20 °C asphalt concrete, predict compressive strength at 50 °C asphalt concrete, Projecting the water resistance of asphalt concrete, asphalt concrete water saturation to predict. For an experimental study of the accuracy of predicting the physicomaterial properties of hot, dense, fine-grained asphalt concrete, laboratory tests were carried out by the optimization-qualimetric model of the asphalt concrete mix design process. The experimental data obtained in an accredited test road-building laboratory are analyzed. The efficiency of applying the optimization-qualimetric model of the design process of asphalt concrete mixtures of the required quality is substantiated. The possibility of reducing costs at the design stage by automating the selection of asphalt mixes is substantiated. The possibility of reducing or eliminating labor-intensive laboratory operations of the selection of asphalt concrete compositions is substantiated. Using the model will provide an opportunity to maximize the production of high-quality asphalt mixes.

Keywords: roads, bitumen, increased durability, technological processes, technological solutions, asphalt mix, asphalt granulate, segregation, design, quality control

На сегодняшний день подавляющее большинство автомобильных дорог в Российской Федерации продолжают строиться с асфальтобетонным покрытием. Эта тенденция, вероятнее всего, сохранится и в ближайшем будущем. Однако такое покрытие имеет существенные недостатки.

Например, подверженность образованию трещин, колеи, впадин, волн, вследствие чего требуется частый ремонт. В связи с переходом на новые межремонтные сроки службы автодорожных покрытий, которые увеличились до 12 лет [1], необходимо улучшать характеристики покры-

тия, влияющие на долговечность и качество дороги.

На долговечность и качество асфальтобетонных покрытий на дорогах влияет множество факторов. Прежде всего, это качество проектирования состава, технология производства и укладки смеси и другие. Среди всех факторов, определяющих долговечность асфальтобетонного покрытия, большое значение имеет определение состава асфальтобетонов. Несмотря на большое количество теоретических и экспериментальных исследований, посвященных проектированию асфальтобетонных смесей [2–4], задачу определения оптимального состава смеси нельзя считать окончательно решенной. Требуется разработка теоретических и экспериментальных методов проектирования асфальтобетонов с уче-

том варьирования качественных характеристик исходных компонентов, применения в качестве исходного сырья новых материалов и модификаторов с новыми свойствами и характеристиками [5, 6].

Перспективным направлением решения проблемы подбора состава асфальтобетонов с заданными параметрами является разработка оптимизационно-квалиметрической модели проектирования асфальтобетонных смесей. Одним из основных требований к такой модели является возможность учитывать регламентированные [7, 8] свойства исходных компонентов, входящих в состав асфальтобетона. Результатами моделирования должны быть качественные характеристики асфальтобетонной смеси, в том числе и в условиях нестабильного качества сырья.

Традиционный способ

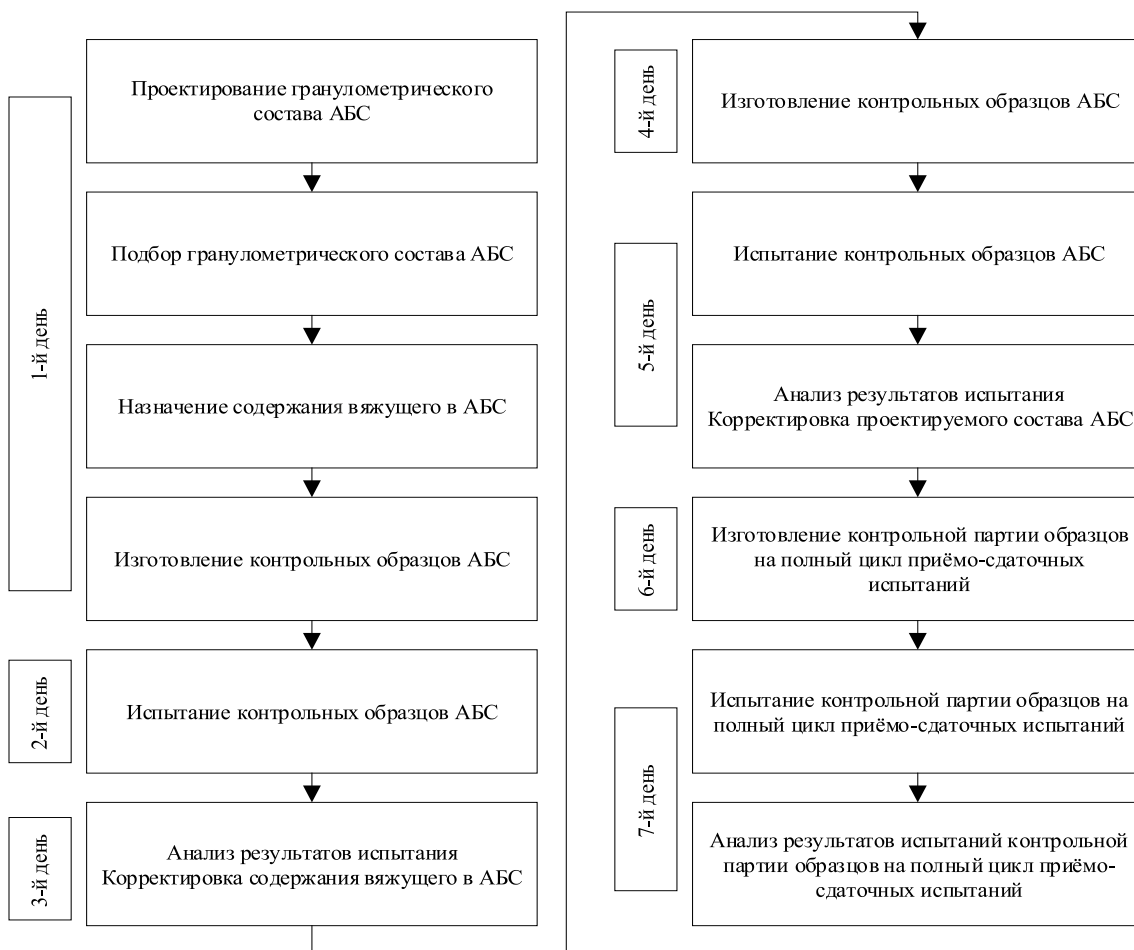


Рис. 1. Традиционный способ проектирования асфальтобетонной смеси

Существующие технические и технологические решения проектирования асфальтобетонов отличаются большими трудозатратами, сложностью применяемого оборудования, длительностью процесса подбора рецептуры асфальтобетонных смесей [9, 10]. На рис. 1 проиллюстрирован традиционный способ проектирования асфальтобетонной смеси. Продолжительность определения состава асфальтобетона по этому способу составляет не менее семи дней.

Разработка оптимизационно-квалиметрической модели проектирования асфальтобетонных смесей позволит автоматизировать процесс подбора составов асфальтобетона, обеспечит возможность максимизации объемов производства высококачественных асфальтобетонных смесей при одновременном сокращении или устранении трудоемких лабораторных операций. Процесс проектирования асфальтобетонной смеси с применением оптимизационно-квалиметрической модели показан на рис. 2. Преимущества такого подхода к определению состава асфальтобетонов очевидны. Наряду со значительным сокращением трудоемкости обеспечивается трехкратное снижение затрат времени.

Наряду с этим модель позволит производить асфальтобетонные смеси оптималь-

ного состава, соответствующие нормативно-техническим показателям и условиям эксплуатации асфальтобетонных покрытий.

Таким образом, цель данной работы – концептуальное обоснование оптимизационно-квалиметрической модели проектирования асфальтобетонной смеси и исследование с использованием этой модели закономерностей воздействия на физико-механические свойства асфальтобетонов включения в их состав модификатора Фактурит-С, а также определение влияния модификатора на долговечность и другие качественные характеристики асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги.

Для достижения этой цели были определены следующие задачи:

- изучить свойства асфальтобетонной смеси с применением оптимизационно-квалиметрической модели процесса проектирования асфальтобетонных смесей требуемого качества;
- экспериментально исследовать характеристики асфальтобетонной смеси запроектированной с применением модели и без её использования;
- провести сравнительный анализ полученных результатов.

Оптимизационно-квалиметрическая модель



Рис. 2. Принципиальная схема проектирования асфальтобетонной смеси

Оптимизационно-квалиметрическая модель процесса проектирования асфальтобетонных смесей требуемого качества основывается на методах теории планирования эксперимента [11, 12] (рис. 3). При этом в качестве объекта исследования выступает асфальтобетон.

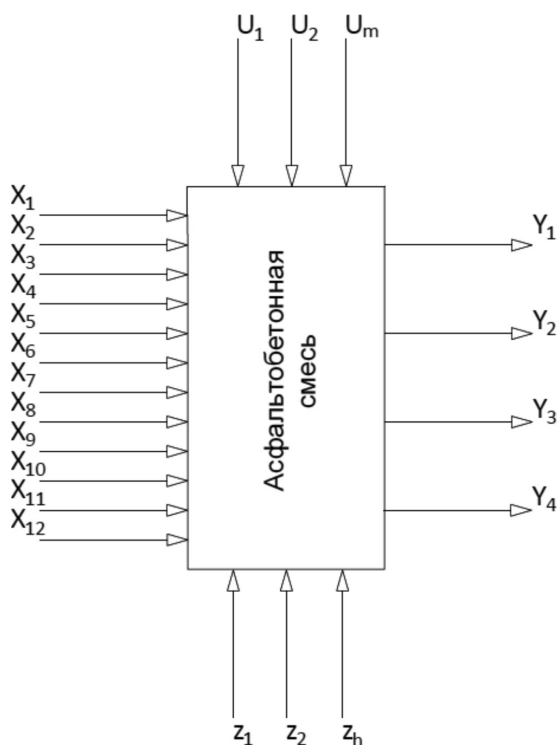


Рис. 3. Схема объекта исследования

– Состояние асфальтобетона – это рационально подобранная смесь, состоящая из щебня, отсеков, минерального порошка, битумного вяжущего (аргументы функции) взятыми в определенных соотношениях, можно представить выражением

$$Y = f(X; U; Z). \quad (1)$$

– Независимыми входными переменными являются значения гранулометрического состава и содержания вяжущего, которые в процессе производства асфальтобетонных смесей целенаправленно изменяются для влияния на конечные характеристики асфальтобетонной смеси:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_{12}). \quad (2)$$

– Контролируемые возмущающие систему воздействия, которые не допускают целенаправленного изменения в ходе производства асфальтобетонных смесей учтены выражением

$$U = (u_1, u_2, \dots, u_m). \quad (3)$$

– Форс-мажорные возмущения, незапланированные производством асфальтобетонной смеси, медленно изменяющиеся во времени случайным образом, отражаются выражением

$$Z = (z_1, z_2, \dots, z_h). \quad (4)$$

– И наконец, конечный результат, контролируемые значения физико-механических характеристик асфальтобетонной смеси в процессе испытания отражены выражением

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_n). \quad (5)$$

Каждый входной параметр имеет область определения, которая должна быть установлена в рамках ГОСТ Р 9128-2013 до проведения проектирования состава асфальтобетонной смеси.

Входные параметры могут изменяться в некотором диапазоне:

$$x_{iH} \leq x_i \leq x_{iB} \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad (6)$$

$$u_{jH} \leq u_j \leq u_{jB} \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (7)$$

$$z_{gH} \leq z_g \leq z_{gB} \quad g = 1, 2, \dots, h. \quad (8)$$

Необходимо оптимизировать функцию в области определения входных параметров x_i :

$$y = f(x_i = \text{var}; u_j = \text{const}; z_g = \text{const}). \quad (9)$$

Каждую конкретную комбинацию входных параметров проектируемой асфальтобетонной смеси можно описать уравнением множественной линейной регрессии (10) в многомерном факторном пространстве. Каждый входной параметр X_n для уравнения в процессе проектирования наиболее оптимального состава асфальтобетонной смеси может принимать одно из нескольких значений в процессе поиска наиболее оптимального состава. Зависимость результирующих значений физико-механических характеристик асфальтобетонной смеси от изменения комбинаций входных параметров описывается функцией отклика. Отклик – наблюдаемая переменная Y , зависящая от входного параметра и результирующего выражения

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n, \quad (10)$$

где b_0 – сдвиг (длина отрезка, отсекаемого на координатной оси прямой Y), $b_{1,2,\dots,n}$ – наклон прямой Y . В этой модели наклон $b_{1,2,\dots,n}$ представляет собой количество единиц измерения переменной Y , приходящихся на одну единицу измерения переменной X . Эта величина характеризует среднюю величину изменения переменной Y (положительного или отрицательного) на заданном отрезке оси X .

Оптимизационно-квалиметрическая модель основывается на комплексном анализе результатов проектирования асфальтобетонных смесей и результатах лабораторного контроля физико-механических свойств асфальтобетона. Модель кодирует независимые управляющие переменные (компоненты асфальтобетонной смеси), которые в процессе подбора наиболее оптимального состава можно изменять, обрабатывает информацию сложных свойств (фракционный состав минеральных компонентов, органических вяжущих и добавок) и прогнозирует физико-механические ха-

рактеристики асфальтобетонной смеси при заданных условиях.

Вследствие точной интерпретации управляемых параметров (табл. 1) для решения поставленной задачи применяем модель линейной множественной регрессии. В линейной множественной регрессии коэффициенты стоящие при X будут характеризовать среднее изменение прогнозируемого параметра соответствующей изменяемой переменной. Перейдем к рассмотрению модели проектирования асфальтобетонных смесей с применением четырех уравнений множественной регрессии:

$$Y_1 = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_6X_6 + b_7X_7 + b_8X_8 + b_9X_9 + b_{10}X_{10} + b_{11}X_{11} + b_{12}X_{12}, \quad (11)$$

$$Y_2 = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_6X_6 + b_7X_7 + b_8X_8 + b_9X_9 + b_{10}X_{10} + b_{11}X_{11} + b_{12}X_{12}, \quad (12)$$

$$Y_3 = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_6X_6 + b_7X_7 + b_8X_8 + b_9X_9 + b_{10}X_{10} + b_{11}X_{11} + b_{12}X_{12}, \quad (13)$$

$$Y_4 = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_6X_6 + b_7X_7 + b_8X_8 + b_9X_9 + b_{10}X_{10} + b_{11}X_{11} + b_{12}X_{12}. \quad (14)$$

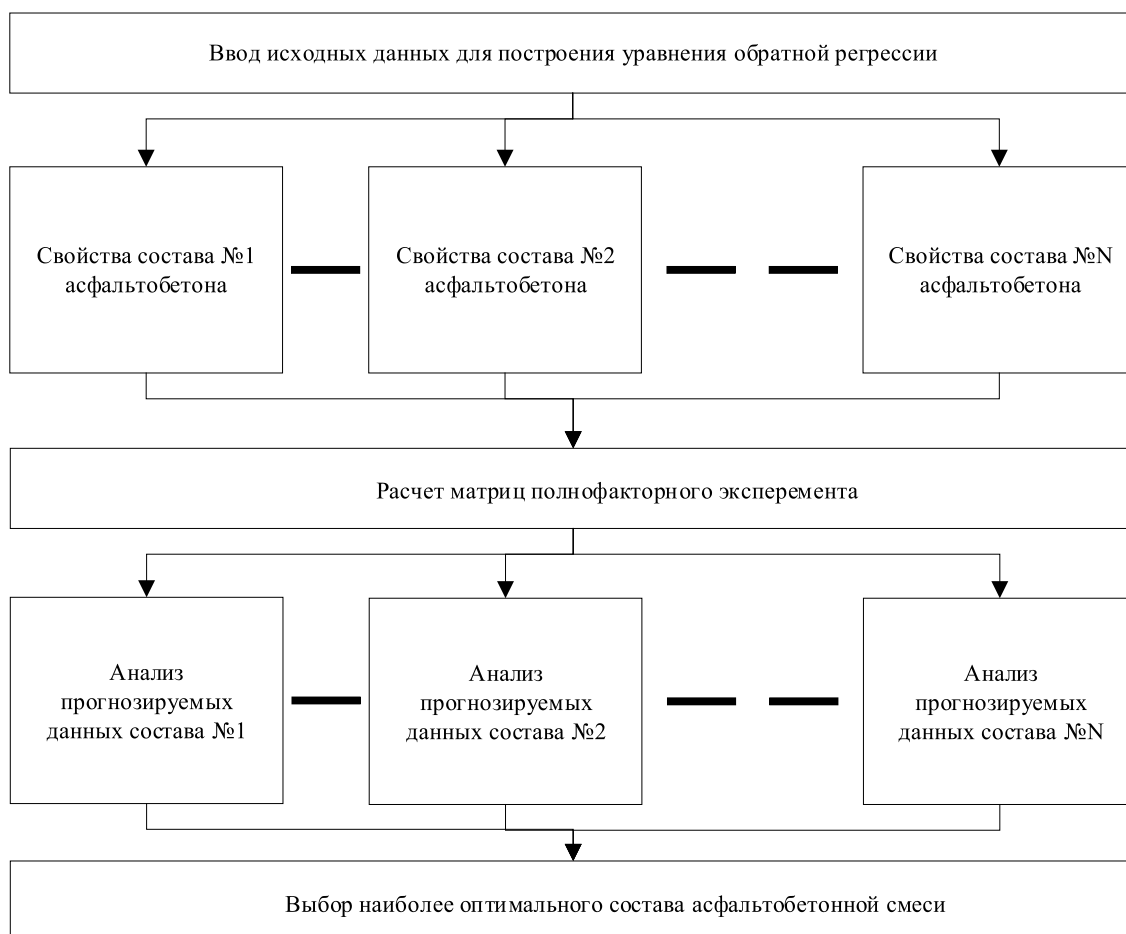


Рис. 3. Принцип работы оптимизационно-квалиметрической модели процесса проектирования асфальтобетонных смесей

Наименования переменных X и Y представлены в табл. 1 и 2.

Для расчета коэффициентов регрессии уравнения прогнозирования физико-механических характеристик асфальтобетонной смеси был составлен массив данных на основе протоколов испытания асфальтобетонных смесей, произведённых в 2014 и 2015 гг. на АБЗ «Магистраль» (г. Санкт-Петербург). Протоколы включали в себя данные о гранулометрическом составе смеси, содержания в ней вяжущего и физико-механические характеристики прямо-сдачных испытаний.

Методика расчета коэффициентов регрессии заключалась в следующем:

1. Составление матрицы массива данных на основе протоколов испытаний.

2. Расчет коэффициентов регрессии b_{0-12} отражающих влияние изменяемых управляющих параметров X_{1-12} осуществляем на основе метода наименьших квадратов (МНК).

3. Составление результирующих уравнений, учитывающих конкретную комбинацию входных параметров проектируемой асфальтобетонной смеси с оценочными коэффициентами регрессии b_{0-12} .

Коэффициенты регрессии для каждого уравнения записаны в табл. 3.

Таблица 1

Кодируемые управляемые параметры

№ п/п	Наименование переменной	Индекс переменной
1	Содержание минеральных частиц крупностью от 0 мм до 0,071 мм; %	X_1
2	Содержание минеральных частиц крупностью от 0,071 мм до 0,14 мм; %	X_2
3	Содержание минеральных частиц крупностью от 0,14 мм до 0,315 мм; %	X_3
4	Содержание минеральных частиц крупностью от 0,315 мм до 0,63 мм; %	X_4
5	Содержание минеральных частиц крупностью от 0,63 мм до 1,25 мм; %	X_5
6	Содержание минеральных частиц крупностью от 1,25 мм до 2,5 мм; %	X_6
7	Содержание минеральных частиц крупностью от 2,5 мм до 5,0 мм; %	X_7
8	Содержание минеральных частиц крупностью от 5,0 мм до 10,0 мм; %	X_8
9	Содержание минеральных частиц крупностью от 10,0 мм до 15,0 мм; %	X_9
10	Содержание минеральных частиц крупностью от 15,0 мм до 20,0 мм; %	X_{10}
11	Содержание минеральных частиц крупностью от 20,0 мм до 40,0 мм; %	X_{11}
12	Содержание вяжущего (сверх 100%), %	X_{12}

Таблица 2

Кодируемые выходные данные

№ п/п	Наименование переменной	Индекс переменной
1	Прочность при сжатии при 20°C, МПа	Y_1
2	Прочность при сжатии при 50°C, МПа	Y_2
3	Водостойкость	Y_3
4	Водонасыщение, % по объему	Y_4

Таблица 3

Значения коэффициентов регрессии

	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9	b_{10}	b_{11}	b_{12}
Y_1	7,99	0,16	-0,93	1,48	-1,47	0,75	0,14	-0,07	-0,06	-0,02	0,004	0,009	-0,49
Y_2	38,30	-0,31	-0,43	-0,02	-0,73	0,19	-0,70	-0,34	-0,39	-0,38	-0,37	-0,36	-0,05
Y_3	-4,98	0,06	0,09	0,01	0,06	0,07	0,08	0,04	0,057	0,054	0,058	0,058	0,007
Y_4	38,12	-0,85	-0,51	-0,56	1,32	-2,02	0,26	-0,23	-0,14	-0,24	-0,37	-0,40	-0,84

Таким образом, для прогнозирования физико-механических характеристик асфальтобетона при проектировании асфальтобетонных смесей уравнения регрессии будут иметь вид

$$Y_1 = 7,99 + 0,16X_1 + (-0,93X_2) + 1,48X_3 + (-1,47X_4) + 0,75X_5 + \\ + 0,14X_6 + (-0,07X_7) + (-0,06X_8) + (-0,02X_9) + 0,004X_{10} + 0,009X_{11} + (-0,49X_{12}), \quad (15)$$

$$Y_2 = 38,3 + (-0,31X_1) + (-0,43X_2) + (-0,02X_3) + (-0,73X_4) + 0,19X_5 + \\ + (-0,70X_6) + (-0,34X_7) + (-0,39X_8) + (-0,38X_9) + (-0,37X_{10}) + (-0,36X_{11}) + (-0,05X_{12}), \quad (16)$$

$$Y_3 = 4,98 + 0,06X_1 + 0,09X_2 + 0,01X_3 + 0,06X_4 + 0,07X_5 + 0,08X_6 + \\ + 0,04X_7 + 0,057X_8 + 0,054X_9 + 0,058X_{10} + 0,058X_{11} + 0,007X_{12}, \quad (17)$$

$$Y_4 = 38,12 + (-0,85X_1) + (-0,51X_2) + (-0,56X_3) + 1,32X_4 + (-2,02X_5) + \\ + 0,26X_6 + (-0,23X_7) + (-0,14X_8) + (-0,24X_9) + (-0,37X_{10}) + (-0,40X_{11}) + (-0,84X_{12}). \quad (18)$$

Подставляя коэффициенты X_i из табл. 1 в уравнения регрессии, получим результат – прогнозируемые физико-механические характеристики асфальтобетона.

Материалы и методы исследования

Для того чтобы оценить точность прогнозирования физико-механических свойств асфальтобетонной смеси применения квалитетической модели, было проведено сличительное лабораторное исследование. Сличительное лабораторное исследование даст необходимую базу данных, основу для дальнейшего сравнительного анализа, который в итоге приведёт к выполнению поставленной цели.

Лабораторное исследование состояло из следующих этапов:

1. Проектирование асфальтобетона с применением модели.
2. Прогнозирование физико-механических свойств моделью.
3. Изготовление в лаборатории запроектованной асфальтобетонной смеси.
4. Испытание в лаборатории запроектованной асфальтобетонной смеси.

5. Анализ и сопоставление результатов исследования.

Исследуемые образцы асфальтобетонной смеси были изготовлены и испытаны по ГОСТ 12801-98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний» (с Изменением № 1).

В качестве образца для сравнения смоделированных характеристик с фактическими характеристиками был запроектован следующий состав:

Горячая плотная мелкозернистая смесь тип А марка I, произведена в лабораторных условиях ООО «СтройЭКСПЕРТ» в Санкт-Петербурге. В 100% смеси содержание нефтяного битума марки БНД 60/90, произведённого на предприятии ОАО «Московский НПЗ» – 4,7%. В состав также входит щебень – габбро-диабаз, произведённый ЗАО «Карьер «Голодай-Гора»», и минеральный порошок, изготовленный на мощностях ООО «ИСС».

Гранулометрический состав минеральной части образцов оптимальной асфальтобетонной смеси, согласно модели, представлен в табл. 4.

Таблица 4

Гранулометрический состав минеральной части образцов

Наименование состава	Размер зёрен, мм, мельче									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,075
По ГОСТ 9128-2013, %	90–100	75–100	62–100	40–50	28–38	20–28	14–20	10–16	6–12	4–10
Оптимальный состав АБС, %	98,6	83,4	62,0	45,3	35,6	25,3	19,7	14,9	10,8	7,0

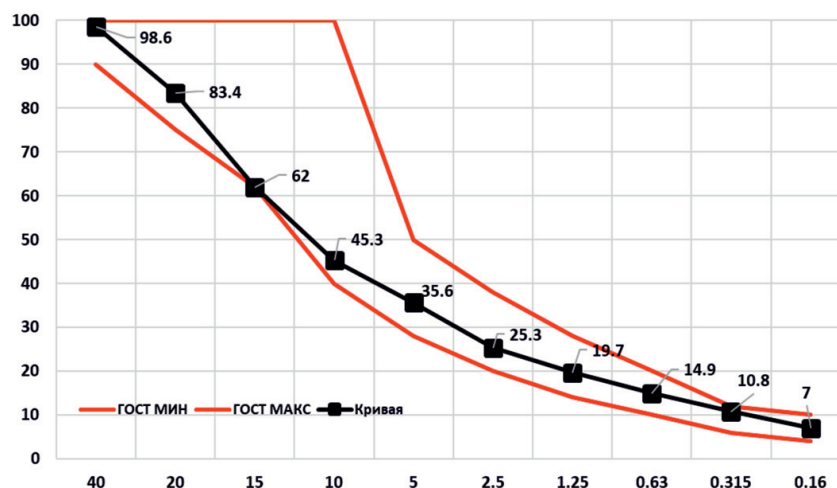


Рис. 4. Гранулометрическая кривая оптимального состава АБС

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты лабораторного исследования физико-механических свойств запроектированной асфальтобетонной смеси и их сопоставление с прогнозом модели, в рамках требования ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия» для II дорожно-климатической зоны приведены в табл. 5.

Таблица 5

Физико-механические свойства асфальтобетонной смеси
(выписка из протокола ООО «СтройЭКСПЕРТ», испытания по ГОСТ 9128-2013)

Наименование показателя		ГОСТ 9128-2013	Значение	
			Данные прогноза модели	Фактические данные
Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре:	50°C	Не менее 1,0	1,2	1,0
	20°C	Не менее 2,5	4,1	3,8
Водостойкость		Не менее 0,9	1,0	1,0
Водонасыщение, % по объёму		Не менее 2,0 и не более 5,0	2,5	2,0

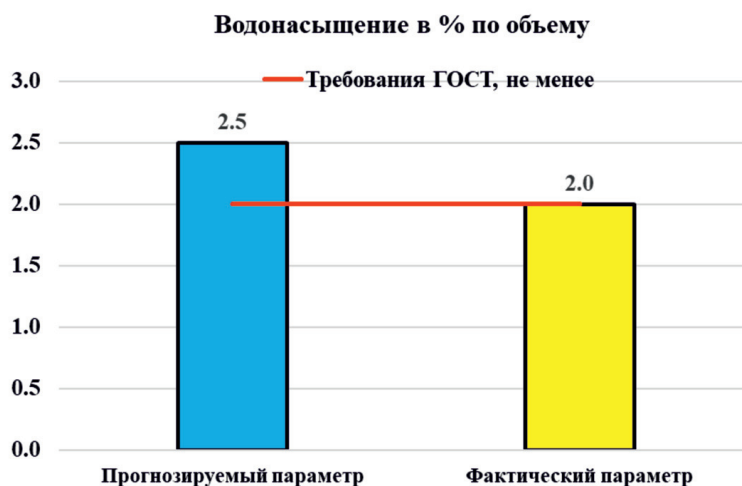


Рис. 5. Сравнения показателя водонасыщения по объёму

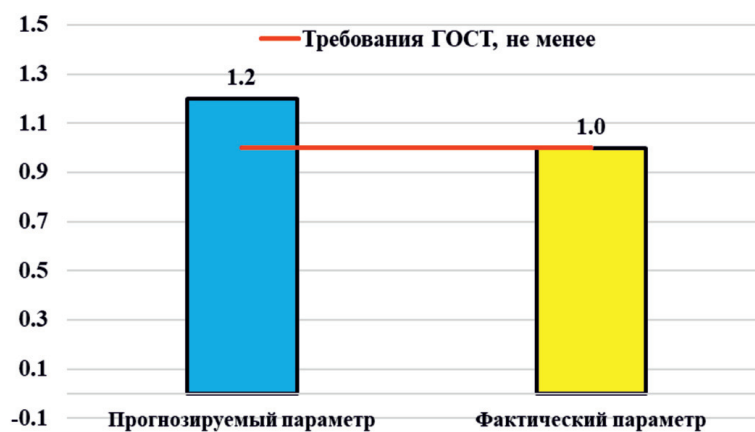
Предел прочности при сжатии при 50 °С, МПа

Рис. 6. Сравнения показателя предела прочности при сжатии МПа, при температуре 50 °С

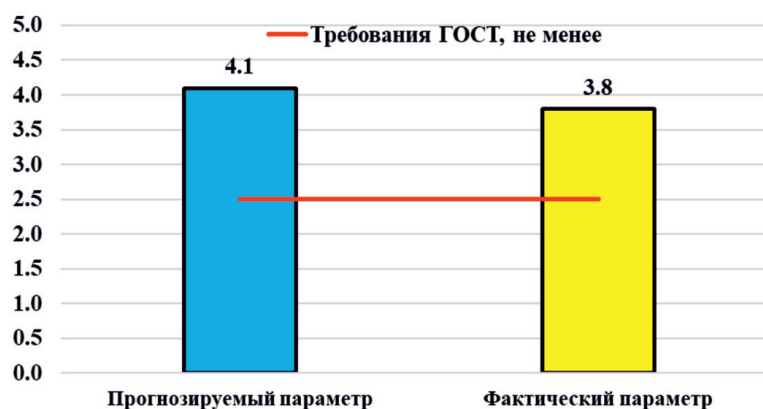
Предел прочности при сжатии при 20 °С, МПа

Рис. 7. Сравнения показателя предела прочности при сжатии МПа, при температуре 20 °С

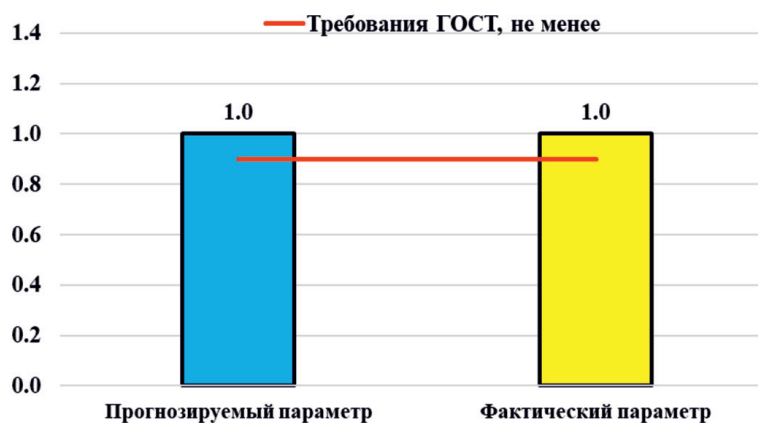
Водостойкость

Рис. 8. Сравнения показателя водостойкости

В результате исследования экспериментально установлено, что асфальтобетонная смесь, произведенная с применением оптимизационно-квалиметрической модели процесса проектирования асфальтобетонных смесей, соответствует требованиям нормативной документации. Данные прогноза физико-механических показателей сопоставимы с фактическими, а именно:

- Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре, 50 °С;
- Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре, 20 °С;
- Водостойкость;
- Водонасыщение, % по объёму.

Заключение

В заключении следует отметить, что применение оптимизационно-квалиметрической модели процесса проектирования асфальтобетонных смесей требуемого качества по сравнению с существующими подходами позволит управлять процессом проектирования асфальтобетонных смесей для объектов строительства в условиях вариабельности качества исходных компонентов. Оптимизационно-квалиметрическая модель процесса проектирования асфальтобетонных смесей позволит автоматизировать процесс подбора составов асфальтобетонных смесей и проектировать их в более сжатые сроки. Более детальная проработка и выполнение полномасштабных экспериментальных исследований оптимизационно-квалиметрической модели процесса проектирования асфальтобетонных смесей позволит решать несколько задач:

1. Проектировать оптимальный granulометрический состав асфальтобетонной смеси с учетом требований нормативной документации.
2. Запроектировать оптимальное содержание вяжущего в асфальтобетонной смеси с учетом требований нормативной документации.

3. Прогнозировать прочность при сжатии при 20 °С асфальтобетона.

4. Прогнозировать прочность при сжатии при 50 °С асфальтобетона.

5. Прогнозировать водостойкость асфальтобетона.

6. Прогнозировать водонасыщение асфальтобетона.

Список литературы

1. О нормативах финансовых затрат и Правилах расчета размера бюджетных ассигнований федерального бюджета на капитальный ремонт, ремонт и содержание автомобильных дорог федерального значения. Постановление Правительства РФ от 30 мая 2017 г. № 658. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 06.10.2019).
2. Филатова Т.А. Оптимизационно-квалиметрическое моделирование производства и предоставления услуг: монография. СПб.: Изд-во РИО СПбГУСЭ, 2012.
3. Филатова Т.А. Основы методологии квалиметрического моделирования услуг в сервисной организации // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2013. № 3 (51). [Электронный ресурс]. URL: <http://uecs.mcnip.ru> (дата обращения: 06.10.2019).
4. Протасова Л.Г., Плискин О.В. Управление качеством в сфере услуг: монография. Екатеринбург: Изд-во УрГЭУ, 2010. 176 с.
5. Ермошин Н.А., Лазарев Ю.Г. Управление техническими рисками при проектировании и строительстве автомобильных дорог в кн.: материалы IV Международной научно-практической конф. (Москва, 26–27 сентября). М., 2014. С. 73–77.
6. Ермошин Н.А., Лазарев Ю.Г. Многокритериальная оптимизация в задачах транспортного планирования // Техно-технологические проблемы сервиса. 2017. № 1 (39). С. 58–62.
7. ГОСТ Р 54401-2011. Дороги автомобильные общего пользования. Асфальтобетон дорожный литой горячий. Технические требования. Введ. 20120501. М.: Стандартинформ, 2012. 19 с.
8. ГОСТ 9128-2013. Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. Введ. 20141114. М.: Стандартинформ, 2014. 55 с.
9. Быстров Н.В. Новый этап развития нормативной базы на дорожный асфальтобетон // Наука и техника в дорожной отрасли. 2017. № 2 (80). С. 2–5.
10. Jon A.E. D. Buser Robert. Guide to the construction of pavements from hot asphalt concrete. National Asphalt Pavement Association. 2000. P. 62–67.
11. Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П., Глиев А.В. О квалиметрии. М.: Стандартиздат, 1973. 178 с.
12. Окрепилов В.В. Управление качеством. М.: Экономика, 1998. 637 с.