

Разработка системы адаптивного управления рецептурой асфальтобетонной смеси для Вьетнама на основе опытов России

Д.Н. Суворов¹, А.В. Илюхин¹, С.В. Нгуен¹, Д. Т. Зыонг²

¹Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

²Университет Винь, Вьетнам

Аннотация: На сегодняшний день во Вьетнаме для обеспечения стабильности и повышения качества асфальтобетона основное внимание уделяется применению новых технологий, материалов или совершенствованию методов проектирования. Однако, несмотря на значительные достижения в этой области, остаётся недостаточно исследованным и внедрённым вопрос автоматизации процессов управления производством асфальтобетонных смесей. На основе опыта, накопленного в России, авторы предлагают разработать систему адаптивного управления рецептурой асфальтобетонной смеси, которая способствует стабилизации и повышению качества производства. В статье авторы представляют структуру системы управления и её алгоритмы, а также описывают результаты моделирования и оценки эффективности данной системы. Исследование показывает, что система адаптивного управления рецептурой асфальтобетонной смеси, разработанная на основе опыта работы в России, успешно демонстрирует свою эффективность в условиях Вьетнама.

Ключевые слова: асфальтобетон, асфальтобетонная смесь, стабильность Маршалла, система управления, рецептура, имитационная модель, моделирование, MATLAB, эффективность управления.

Введение

Автотранспорт вносит существенный вклад в развитие общества, повышение качества жизни и обеспечение безопасности страны. В настоящее время во Вьетнаме и многих странах основным материалом для строительства дорог является асфальтобетон. Во всем мире принимаются различные технологические и организационные меры для улучшения и стабилизации качества готового асфальтобетонного покрытия [1, 2]. Эти мероприятия включают в себя:

- Стабилизацию характеристик компонентов асфальтобетонной смеси;

- Внедрение нового оборудования на асфальтобетонных заводах;
- Применение инновационных технологий и материалов;
- Повышение качества лабораторного оборудования и методик на асфальтобетонных заводах;
- Разработку моделей процесса формирования качества асфальтобетона;
- Автоматизацию технологических процессов;
- Внедрение автоматизированных систем управления качеством продукции.

В настоящее время во Вьетнаме для обеспечения стабильности и повышения качества асфальтобетона основное внимание уделяется применению новых технологий, материалов, а также совершенствованию методов проектирования [3, 4]. Однако пока что мало внимания уделяется исследованию и применению систем автоматического управления.

Поэтому разработка и внедрение таких систем считаются необходимыми и актуальными на данный момент для улучшения качества и долговечности транспортной инфраструктуры во Вьетнаме. Для успешной реализации подобных систем требуется огромное количество экспериментальных данных, что на данном этапе является трудновыполнимым во Вьетнаме. Однако, с другой стороны, в России имеются исследования, которые демонстрируют эффективность управления качеством асфальтобетонной смеси [5-7]. Исходя из этого, мы предлагаем построить систему адаптивного управления на основе уже имеющихся данных и методик, разработанных в России. Эта система будет способна самостоятельно адаптироваться к экспериментальным данным, доступным во Вьетнаме.

В процессе производства асфальтобетонной смеси на вход поступают минеральные компоненты (щебень, песок и минеральный порошок), различные добавки и битум, затем в ходе технологического процесса

получается готовая асфальтобетонная смесь. Характеристики компонентов можно обозначить вектором V : $V = \{v_1, \dots, v_k\}$, где v_k – k -ая характеристика компонентов.

Технологические параметры производства асфальтобетонной смеси характеризуется вектором R : $R = \{r_1, \dots, r_n\}$, где r_n – n -ая характеристика технологического процесса производства смеси.

На выходе технологического процесса готовая асфальтобетонная смесь с набором характеристик W : $W = \{w_1, \dots, w_m\}$, где w_m – m -ая характеристика готовой смеси.

На технологический процесс влияет суммарное возмущение F_Σ , вызванное различными факторами, такими как: возмущения, вызванные компонентами, технологическим процессом и возмущения, из-за отсутствия контроля параметров и отсутствия информации об их влиянии на свойства асфальтобетонной смеси.

Система управления технологическим процессом асфальтобетонной смеси должна обеспечивать требуемое качество конечного продукта путём компенсации воздействия различных факторов возмущений, влияющих на процесс за счёт управления U : ($U = \{u_1, \dots, u_p\}$ – значения управляющих воздействий на технологический процесс, где u_p – p -ое управляющее значение).

Причём все рассматриваемые параметры являются функциями времени $V = V(t)$, $R = R(t)$, $W = W(t)$, $F = F(t)$, $U = U(t)$. Все необходимые данные о свойствах компонентов $V(t)$, параметрах технологического процесса производства $R(t)$ и свойствах смеси $W(t)$ собираются в информационном блоке (Рис. 1). Затем эти данные передаются в блок моделирования и блок прогнозирования. В этих блоках обрабатываются моделируемые параметры значений свойств компонентов $V^m(t)$, значения параметров технологического

процесса производства $R^m(t)$, значения свойств смеси на выходе асфальтобетонного завода $W^m(t)$ и прогнозируемые возмущения $F^1(t)$, а также прогнозируемые качества смеси $W^1(t)$. После этого данные поступают в блок управления, где на их основе и на основе заданных значений свойств смеси $Z(t)$ формируются управляющие воздействия. Общая структура такой системы представлена на рисунке 1.

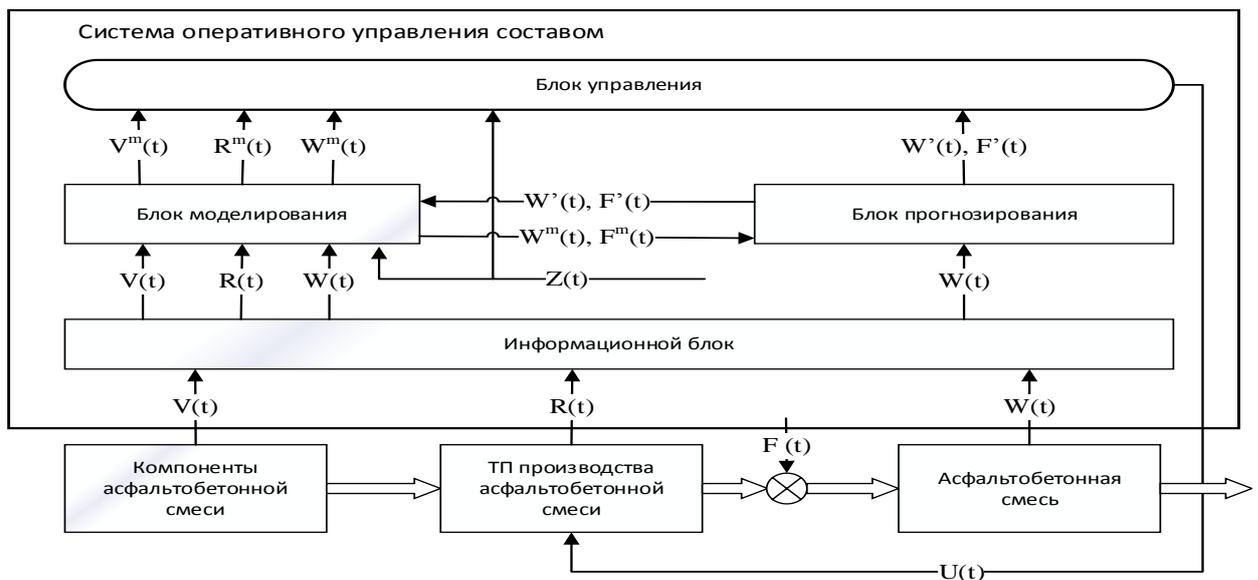


Рис. 1. – Общая структура системы управления составом на выходе АБЗ

Рассмотрим основные блоки и их назначение.

Информационный блок: Этот блок предназначен для сбора данных о качестве исходных материалов, о параметре технологического процесса и о качестве готовой смеси.

Для эффективного управления составом асфальтобетонной смеси можно использовать следующие данные:

- Гранулометрический состав щебня, песка, минерального порошка;
- Расход компонентов;
- Стабильность по Маршаллу.

Блок моделирования: В этом блоке происходит моделирование данных, их анализ, обработка и синтез адаптивных моделей, которые

связывают свойства компонентов, параметры технологического процесса с характеристиками готовой продукции.

Блок прогнозирования: Основная задача данного блока заключается в прогнозировании требуемых параметров на период управления.

Для прогнозирования требуемого параметра выполняется стандартная процедура идентификации. Идентификация может быть осуществлена вычислением автокорреляционной функции и решения системы уравнений Юла-Уоркера [8]. На этой основе строится модель авторегрессии. На основе построенной модели выполняется прогнозирование. В работе [9] мы предлагаем метод прогнозирования с адаптацией для определения оптимальной длины массива обрабатываемых данных и порядка модели авторегрессии. Как показали наши исследования этот метод оказывает эффективным.

Блок управления: Этот блок обеспечивает стабилизацию качества асфальтобетонной смеси на заданном уровне и реализует оперативное управление составом асфальтобетонной смеси.

Для исследования технологического процесса производства асфальтобетонной смеси одним из наиболее эффективных методов является имитационное моделирование, которое позволяет создать абстрактную модель процесса на основе математических моделей и статистических данных. Пакет прикладных программ MATLAB широко применяется в математике, вычислительном эксперименте и имитационном моделировании [10], что делает его подходящим выбором для решения задач управления качеством асфальтобетонной смеси.

В настоящее время отсутствуют общепринятые аналитические связи, которые позволяли бы точно предсказывать, как отклонения в свойствах компонентов смеси и параметры производства будут сказываться на свойствах конечного асфальтобетона, то есть отсутствуют зависимости вида:

$$W(t) = \varphi[V(t), R(t)], \quad (1)$$

Как уже отмечалось выше, в технологии асфальтобетона отсутствуют адекватные модели связи, на основе которых можно построить эффективную систему управления. Однако мы можем использовать зависимость стабильности Маршалла асфальтобетона от содержания битума для построения такой системы (Рис. 2).

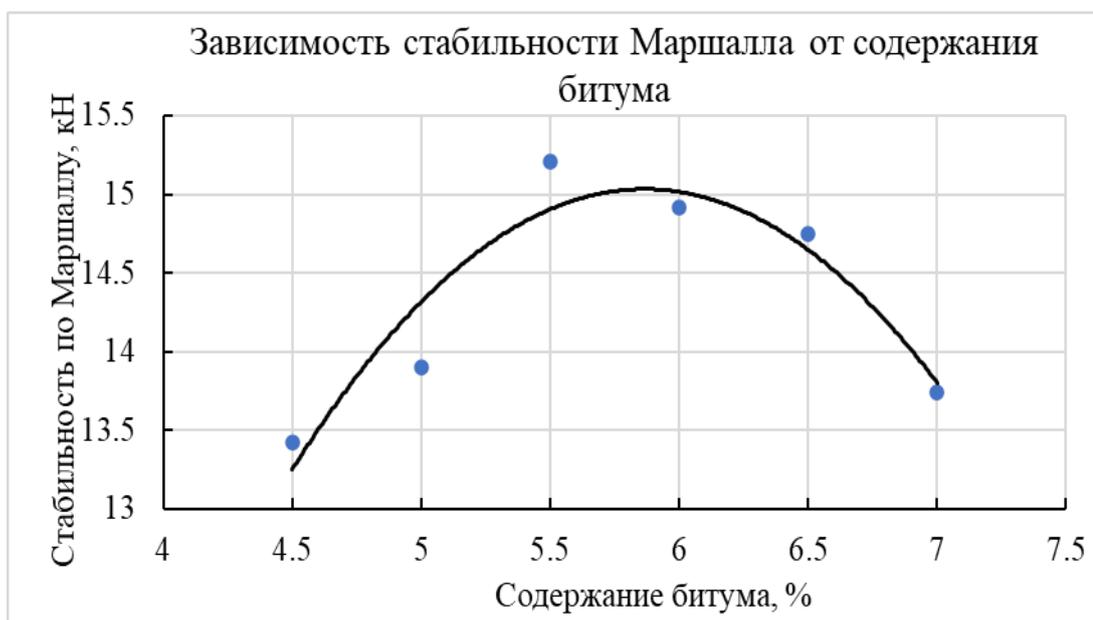


Рис. 2. – Зависимость стабильности Маршалла от содержания битума [4]

Вариация гранулометрического состава компонентов приводят к изменениям в площади поверхности частиц как отдельных компонентов, так и всей смеси в целом. Исходя из этого, возникает задача о необходимости стабилизации толщины плёнки битума на поверхности минеральных частиц. Для решения этой задачи необходимо оперативно корректировать рецептуру смеси.

Для проведения исследований системы управления составом асфальтобетонной смеси нам необходимо: разработать модели управляемого технологического процесса производства асфальтобетонной смеси, а также

надо оценить адекватность разработанных моделей. В рамках этих исследований будут рассмотрены следующие модели:

- Модели динамики свойств компонентов смеси и параметров технологического процесса;
- Модели управляемого технологического процесса;
- Модели измерительной системы;
- Модель системы управления.

Выход одной модели является входом следующей модели. Общая структура имитационной модели системы управления представлена на рисунке 3.

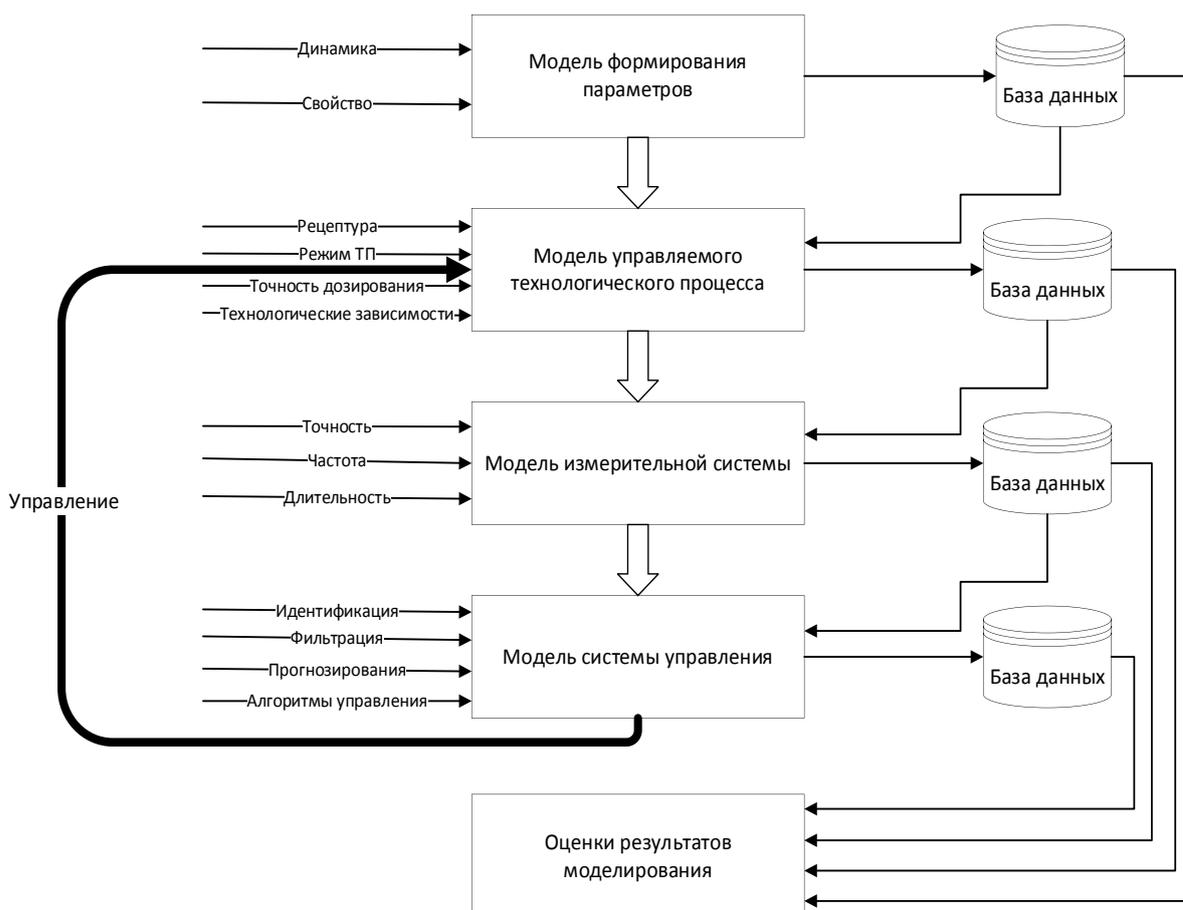


Рис. 3. – Общая структура имитационной модели системы управления [5]

Модели динамики свойств компонентов смеси и параметров технологического процесса

Для создания адекватной модели необходимо учитывать реальную динамику свойств компонентов асфальтобетонной смеси. Исследователи [5-7] указывают на существование двух видов вариаций свойств компонентов смеси и качества готовой продукции:

- Межпартионная вариация;
- Внутрипартионная вариация.

В исследованиях [6, 7, 11] модель авторегрессии применяется для анализа динамических характеристик компонентов смеси:

$$X(t) = \alpha_1 X(t-1) + \alpha_2 X(t-2) + \dots + \alpha_p X(t-p) + M_x, \quad (2)$$

где: $X(t)$ – значение показателя свойств компонентов в t -ый момент времени; $X(t-p)$ – значения показателя свойств компонентов в $(t-p)$ -ый момент времени; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_p$ – коэффициенты модели авторегрессии; M_x – математическое ожидание значения показателя свойств компонентов.

Для нахождения коэффициентов $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_p$ может понадобиться решать систему уравнений Юла-Уоркера [8]:

$$\begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \dots \\ \varphi_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \varphi_1 & \dots & \varphi_{p-1} \\ \varphi_1 & 1 & \dots & \varphi_{p-2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \varphi_{p-1} & \varphi_{p-2} & \dots & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \dots \\ \alpha_p \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где: φ_p – значения автокорреляционной (для сдвига p) функции.

При моделировании гранулометрического состава компонентов асфальтобетонной смеси мы используем следующие основные принципы:

- Для минерального порошка и песка функция плотности распределения весов материалов по размерам является распределением Вейбулла, а для щебня – нормальное распределение;
- Форма частицы всех компонентов – шаровая;
- Плотность всех компонентов равная 2680 кг/м^3 ;

- Моделируемое число партий – 30, число микропартий в одной – 200 (Общее число моделирования – 6000 микропартий материалов).

Параметры распределения Вейбулла А и В для межпартионной вариации использованы выражения вида:

$$\begin{aligned} P_MP_a(kj) &= 0.7 + filter([1 \ 0.0643], [1 \ -0.999 \ 0.1], ((rand * 0.01))), \\ P_MP_b(kj) &= 10 + filter(1, [-1.1 \ 0.3 \ -0.2], ((rand(1) * 0.6))), \end{aligned} \quad (4)$$

А для внутрипартионной вариации использованы выражения вида:

$$\begin{aligned} Pv_MP_a(ki, kj) &= P_MP_a(kj) + filter(1, [-1.2 \ 0.3], ((rand * 0.0001))), \\ Pv_MP_b(ki, kj) &= P_MP_b(kj) + filter(1, [-1.2 \ 0.3], ((rand(1) * 0.0006))), \end{aligned} \quad (5)$$

где: kj – текущий номер партии; ki – текущий номер внутрипартии.

Для моделирования гранулометрического состава компонентов смеси мы используем данные, представленные в работе [12]. Результаты моделирования гранулометрического состава позволяют определить площадь поверхности каждого компонента. На рисунке 4 показана вариация общей площади поверхности зёрен минерального порошка для различных реализаций. Очевидно, что общая площадь поверхности зёрен минерального порошка может отличаться в 3 раза.

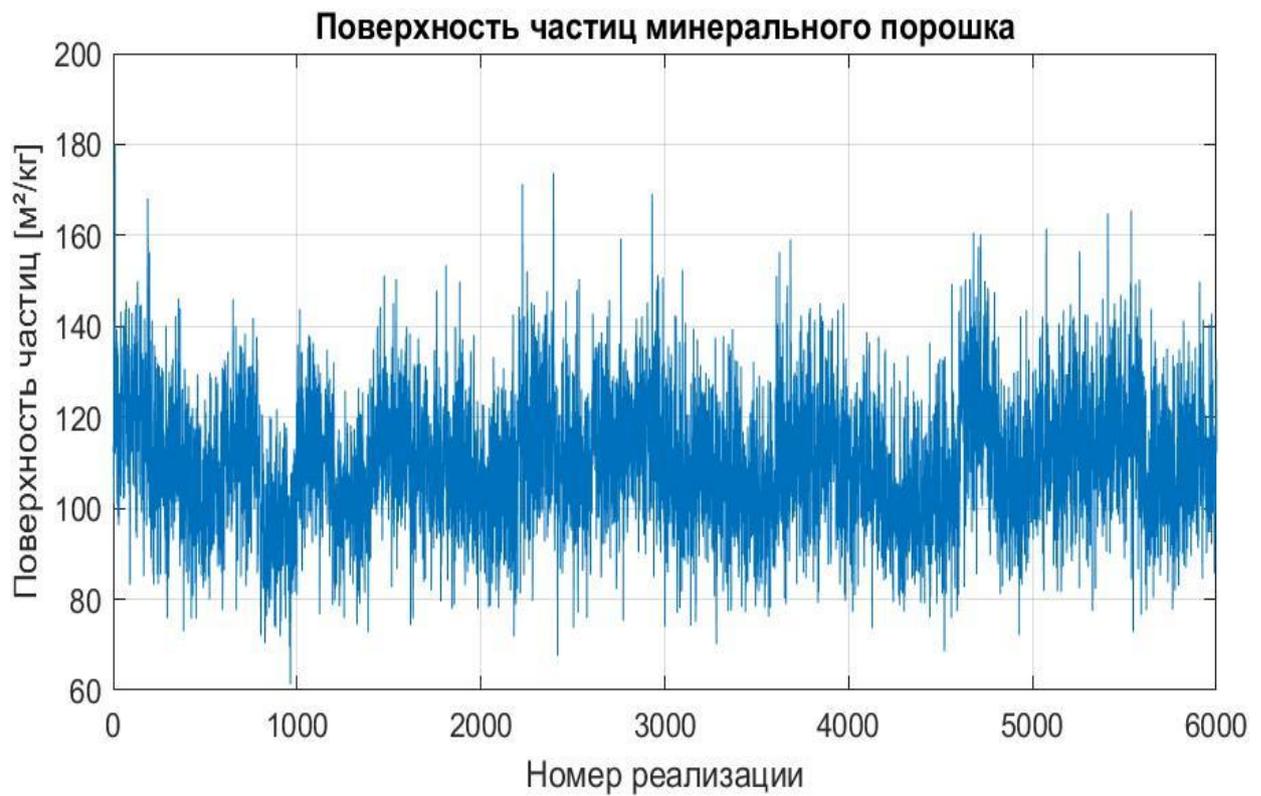


Рис. 4. – Общая площадь поверхности зёрен минерального порошка

Рисунок 5 показана вариация площади поверхности каждого компонента. Наши результаты хорошо согласуются с результатами моделирования, представленными в работах [5-7].

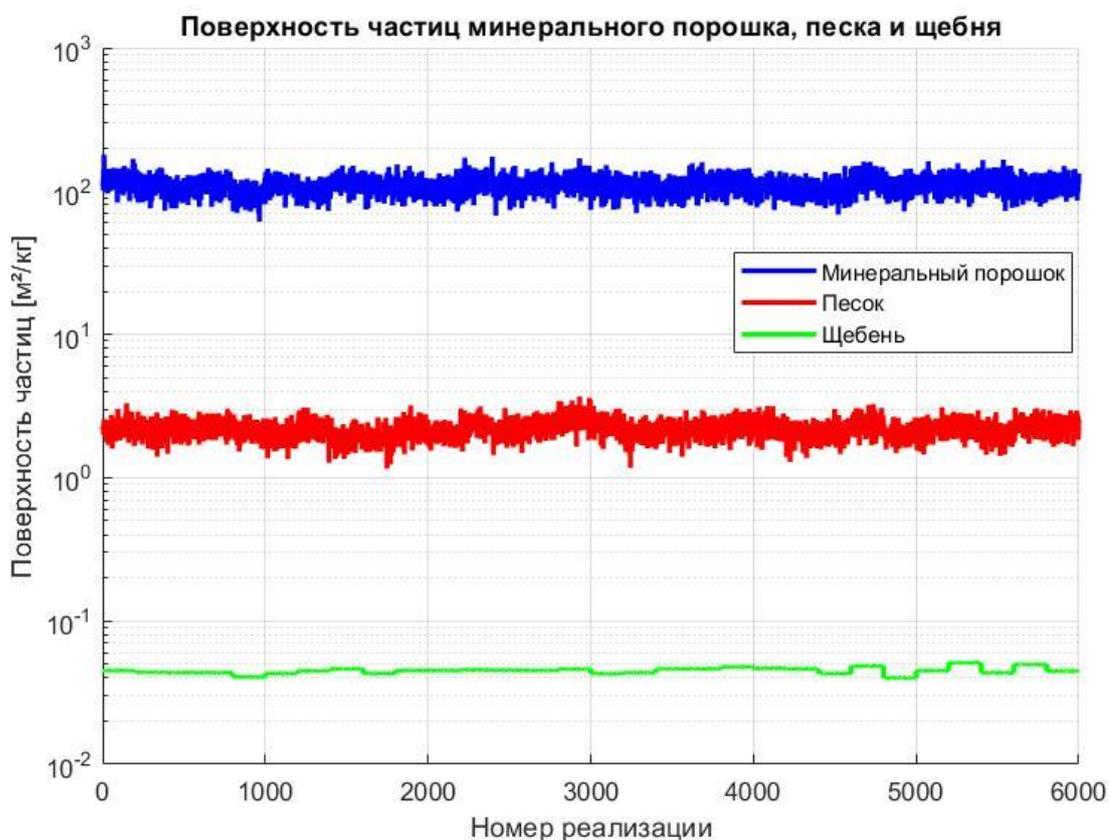


Рис. 5. – Общая площадь поверхности зёрен минерального порошка, песка и щебня

Модели управляемого технологического процесса

При исследовании и моделировании управляемого технологического процесса мы учитываем следующие параметры:

- Рецептура смеси;
- Погрешность дозирования (диапазон изменения ошибки дозирования от 0 до 5%);
- Технологические зависимости, оказывающие влияние на показатели асфальтобетонной смеси;
- Совокупное приложенное возмущение к выходу технологического процесса.

После моделирования мы получаем следующие результаты:

- Изменение доз компонентов и общей массы смеси;
- Изменение площади поверхности смеси;
- Изменение средней толщины плёнки битума;
- Изменение стабильности Маршалла.

Таблица 1 отображает основные зависимости свойства асфальтобетона от показателей свойств компонентов смеси в России и во Вьетнаме.

Таблица № 1

Основные зависимости свойства асфальтобетона от показателей свойств компонентов смеси

Зависимость	Прочность (Россия) [5]	Стабильность Маршалла (Вьетнам) [4, 13, 14]
От содержания щебня	$y = -0,2x + 2,2$	$y = 0,1427x + 6,857$
От содержания песка	$y = -0,0141x^2 + 0,157x + 0,231$	$y = -0,008x^2 + 0,7181x - 6,483$
От содержания битума	$y = -0,3071x^2 + 1,9529x + 0,64$	$y = -0,955x^2 + 11,203x - 17,823$
Отношение В/МР	$y = -0,0105x^2 + 0,5382x + 0,5629$	$y = -0,06x^2 + 0,38x + 14,7482$

На рисунке 6 представлены основные результаты моделирования реализаций свойств асфальтобетонной смеси при различных ошибках дозирования от 0 до 5%. Рисунок 7 демонстрирует изменения прочности в России и стабильности Маршалла. Заметно хорошее соответствие результатов обоих показателей.

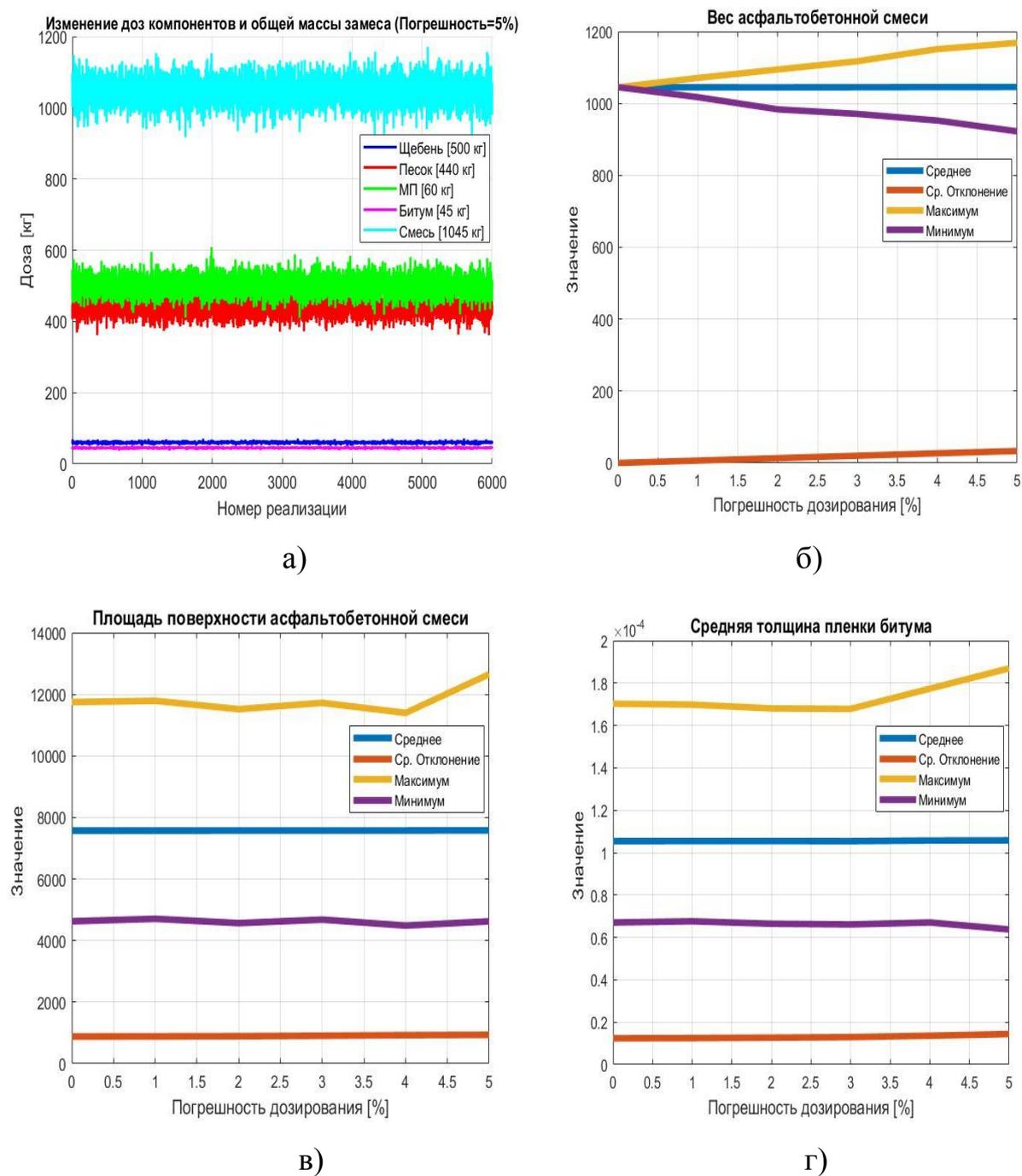


Рис. 6. – Моделирование реализаций свойств готовой смеси при различных ошибках дозирования

- а) Изменение доз компонентов и общей массы замеса (ошибка=5%);
- б) Изменение веса асфальтобетонной смеси;
- в) Изменение площади асфальтобетонной смеси;
- г) Изменение средней толщины пленки битума.

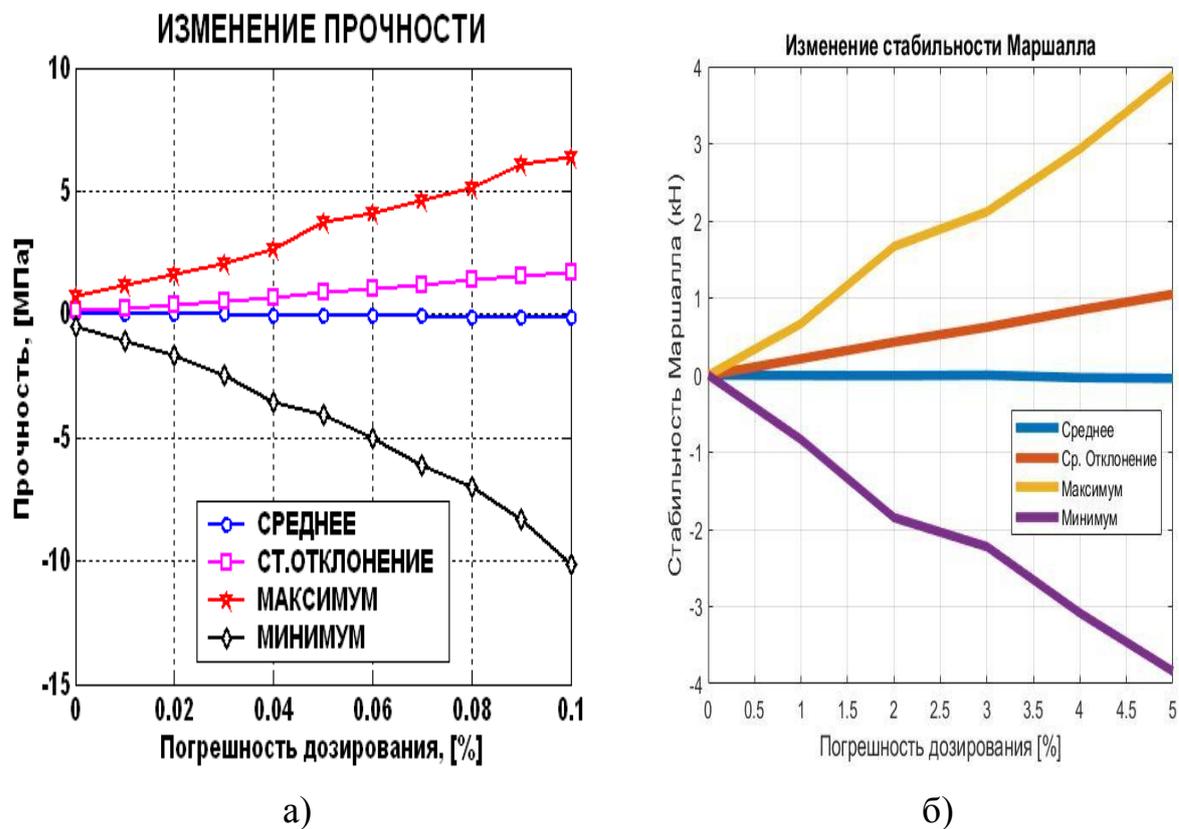


Рис. 7. – Моделирование реализаций свойств готовой смеси (прочность и стабильность) при различных ошибках дозирования
а) Изменение прочности [5];
б) Изменение стабильности Маршалла.

Модели измерительной системы

При исследовании и моделировании измерительной системы важно определить, какие параметры следует контролировать, а также проанализировать, как точность, частота и длительность контроля влияют на эффективность управления. Для оценки эффективности контроля может использоваться коэффициент корреляции.

Коэффициент корреляции между двумя переменными может быть вычислен на основе ковариации и их стандартных отклонений:

$$\rho(x_1, x_2) = \frac{\text{cov}(x_1, x_2)}{\sqrt{\text{cov}(x_1, x_1) \text{cov}(x_2, x_2)}}, \quad (6)$$

где: x_1, x_2 – переменные; $cov(x_1, x_2)$ – ковариация между двумя переменными x_1, x_2 соответственно.

Изменение фактической и измеренной площади поверхности зёрен минерального порошка при погрешности = 2% и частоте контроля = 20 микропартий представляет на Рис. 8.

Измерение площади поверхности МП (погр.=2%, частота=20, длительность изм.=5)

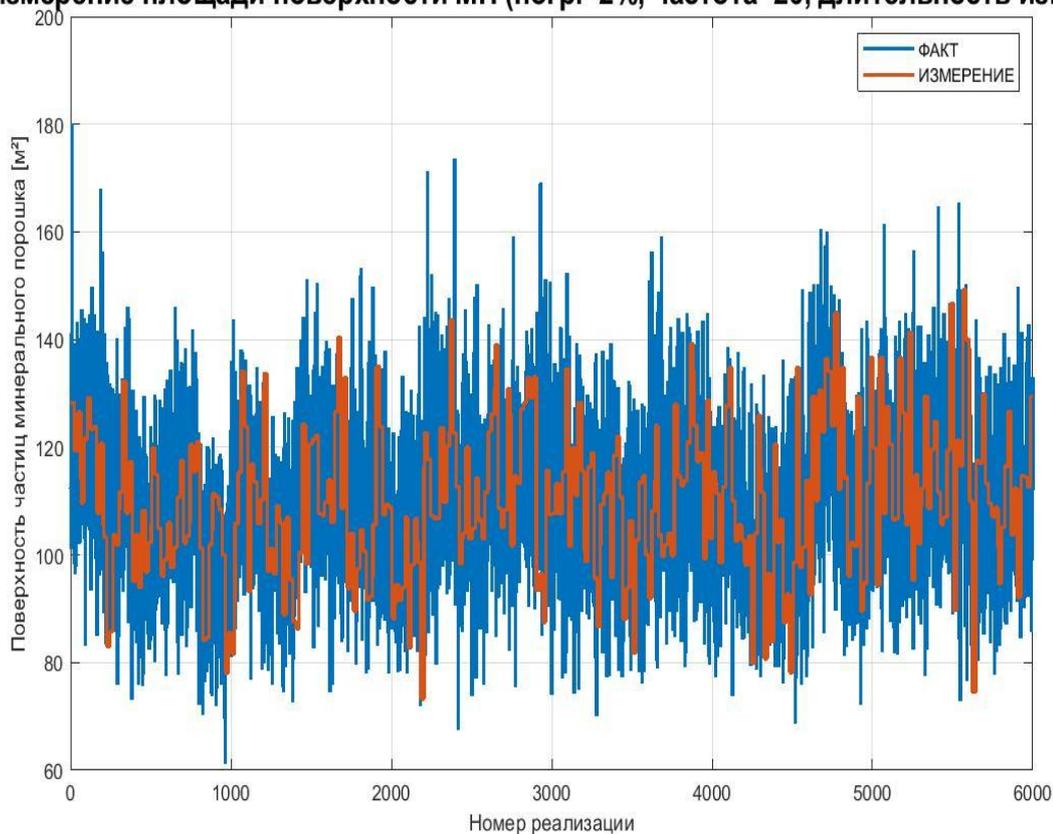


Рис. 8. – Изменение фактической и измеренной площади поверхности зёрен минерального порошка при погрешности = 2% и частоте контроля = 20 микропартий

Рисунок 9 демонстрирует коэффициент корреляции, используемый для оценки эффективности контроля площади поверхности зёрен минерального порошка. Заметно, что эффективность контроля площади поверхности минерального порошка уменьшается при увеличении погрешности и частоты контроля, и наоборот.

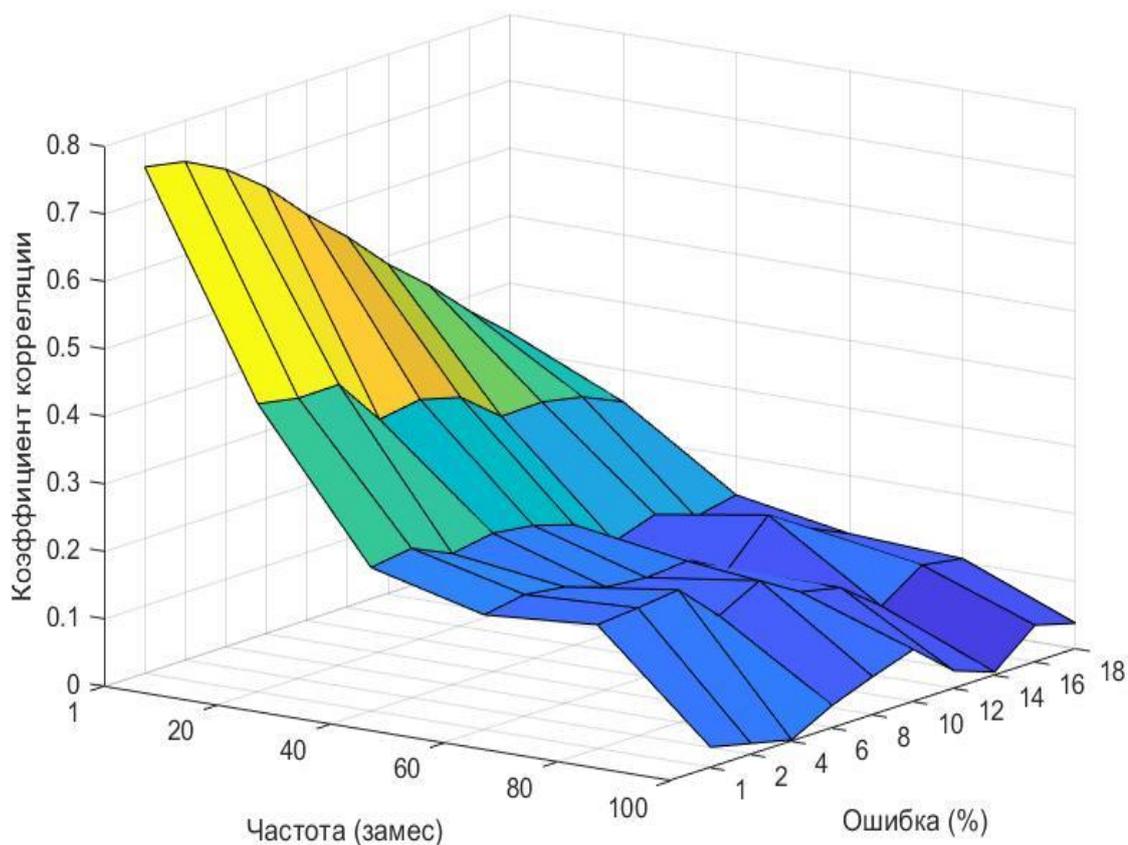


Рис. 9. – Моделирование эффективности контроля площади поверхности зёрен минерального порошка

Модель системы управления

Основные принципы моделирования системы управления связаны с управлением производством асфальтобетонной смеси:

- Для оперативного управления необходимо корректировать состав асфальтобетонной смеси дозы минеральных компонентов и количество битума;
- Система управления должна обеспечивать стабильное качество асфальтобетонной смеси (стабильность Маршалла) на выходе асфальтобетонного завода.

Общий алгоритм управления изображён на рисунке 10.

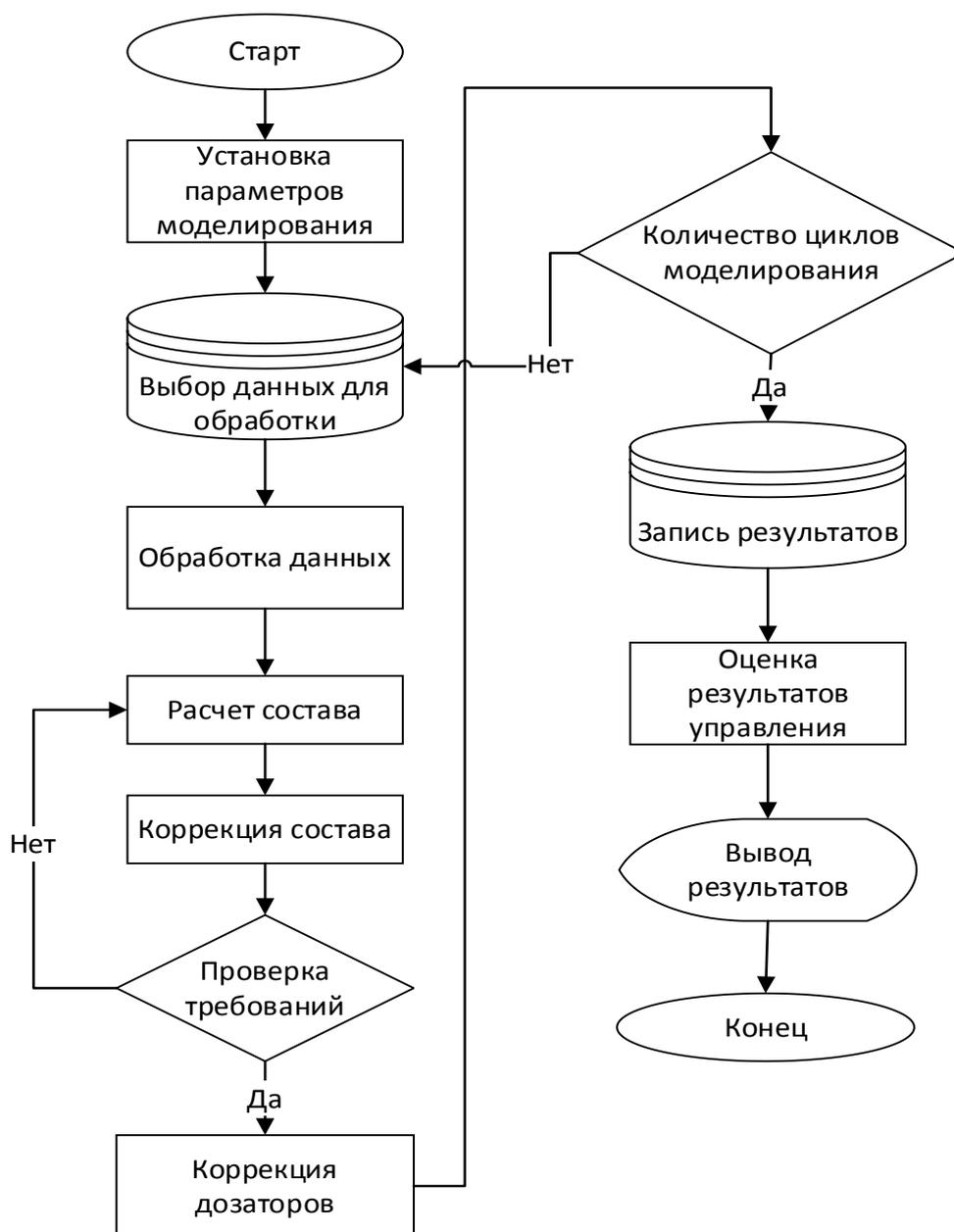


Рис. 10. – Общий алгоритм модели системы управления составом
**Оценка эффективности системы адаптивного управления рецептурой
асфальтобетонной смеси**

Ниже (Рис. 11) представлен результат оценки стабильности Маршалла асфальтобетонной смеси при введении коррекции количества битума. Видно, что при коррекции количества битума для каждого замеса стабильность Маршалла асфальтобетонной смеси становится более стабильным по сравнению с отсутствием коррекции расхода битума (Рис. 7 б).

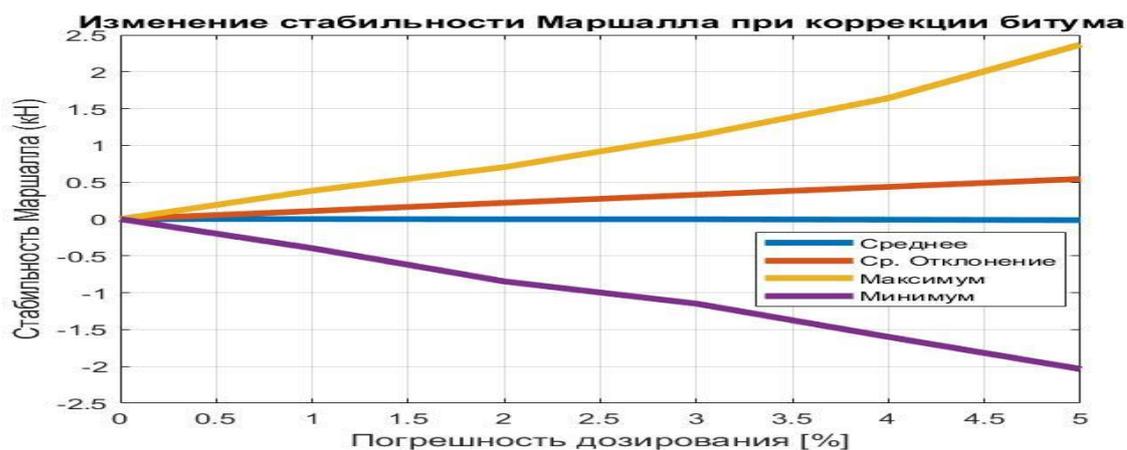


Рис. 11. – Результат моделирования стабильности Маршалла при коррекции количества битума

Выводы

На основе исследований была разработана комплексная имитационная структура, включающая в себя модель технологического процесса, а также измерительной системы и системы управления. Эта структура позволяет детально анализировать и оптимизировать процессы производства асфальтобетонной смеси. Также были созданы необходимые алгоритмы моделирования. При моделировании динамики свойств компонентов и параметров технологического процесса необходимо учитывать межпартийную и внутрипартийную вариацию, а при моделировании управляемого технологического процесса - учитывать основные технологические зависимости, оказывающие влияние на показатели асфальтобетонной смеси. При моделировании измерительной системы исследовано влияние точности, частоты и длительности контроля на его эффективность с помощью коэффициента корреляции. Система адаптивного управления рецептурой асфальтобетонной смеси, основанная на опыте России, демонстрирует хорошие результаты в условиях Вьетнама.

Литература

1. Бунькин И.Ф. Автоматизация управления производством асфальтобетона: дис. ... докт. техн. наук: 05.13.06. М., 2002. 247 с.

2. Милосердин О. Ю. Автоматизация лаборатории асфальтобетонного завода: дис. ... кан. техн. наук: 05.13.06. М., 2004. 159 с.

3. Буй Нгок Хынг Исследование некоторых факторов, влияющих на колеобразование с учётом усталостных характеристик асфальтобетонного покрытия в качестве дорожного покрытия во Вьетнаме: дис. ... канд. техн. наук. Ханой, 2016. 147 с.

4. Нгуен Ван Лонг Разработка технологии повышения деформативной устойчивости асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог в условиях Южного Вьетнама: дис. ... кан. техн. наук: 05.23.11. Воронеж, 2013. 146 с.

5. Доценко А. И. Комплексная автоматизация производства асфальтобетонной смеси с учётом влияния факторов её транспортировки, укладки и уплотнения: дис. ... докт. техн. наук: 05.13.06. М., 2005. 436 с.

6. Михаленков С. В. Автоматизация производственных процессов асфальтобетонного завода на основе оптимизации информационного обеспечения системы управления: дис. ... кан. техн. наук: 05.13.06. Самара, 2006. 231 с.

7. Воробьев В.А., Суворов Д.Н., Котлярский Э.В., Доценко А.И., Попов В.П. Компьютерное моделирование в автоматизации производства асфальтобетонной смеси. Книга 2. Практические разработки. М.: РИА, 2009. 608 с.

8. George E. P. Box, Gwilym M. Jenkins, Gregory C. Reinsel Time series analysis. Forecast and control, 1974. 579 p.

9. Суворов Д. Н., Илюхин А. В., Нгуен С. В., Зыонг Д. Т. Учёт возмущений при прогнозировании в автоматизированной системе управления составом асфальтобетонной смеси // Инженерный вестник Дона, 2024, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9081.

10. Modeling and Simulation of Systems Using MATLAB and Simulink, Devendra K. Chaturvedi, 2009, 734 p.

11. Суворов Д. Н., Илюхин А. В., Нгуен С. В., Зыонг Д. Т. Сравнение методов прогнозирования для решения задач управления стабильностью // Инженерный вестник Дона, 2023, №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8768.

12. Фам Дуй Хуу Асфальтобетон, Ханой, 2008. 166 с.

13. Нгуен, В. Л., Нгуен Д. Ш. Исследование влияния структуры минерального состава на устойчивость и пластичность // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2017. № 1(19). С. 25-30.

14. Чан Хюинь Чуонг, Лам Нгок Тра Май Изучение влияния между стабильностью асфальтобетона и содержанием компонентов // Научный журнал открытого университета ХоШиМина. 2012. № 1. С. 79-91.

References

1. Bun'kin I.F. Avtomatizaciya upravleniya proizvodstvom asfal'tobetona [Automation of asphalt concrete production management]: dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.13.06. M., 2002. 247 p.

2. Miloserdin O. YU. Avtomatizaciya laboratorii asfal'tobetonogo zavoda [Automation of an asphalt concrete plant laboratory]: dis. ... kan. tekhn. nauk: 05.13.06. M., 2004. 159 p.

3. Buj Ngok Hyng Issledovanie nekotoryh faktorov, vliyayushchih na koleeobrazovanie s uchetom ustalostnyh harakteristik asfal'tobetonogo pokrytiya v kachestve dorozhnogo pokrytiya vo V'etname [Study of some factors influencing rutting taking into account the fatigue characteristics of asphalt concrete pavement as a road surface in Vietnam]: dis. ... kand. tekhn. nauk. Hanoi, 2016. 147p.

4. Nguen Van Long Razrabotka tekhnologii povysheniya deformativnoj ustojchivosti asfal'tobetonnyh pokrytij avtomobil'nyh dorog v usloviyah YUzhnogo V'etnama [Development of technology for increasing the deformation stability of asphalt concrete pavements of highways in the conditions of Southern Vietnam]: dis. ... kan. tekhn. nauk: 05.23.11. Voronezh, 2013. 146 p.

5. Docenko A. I. Kompleksnaya avtomatizaciya proizvodstva asfal'tobetonnoj smesi s uchyotom vliyaniya faktorov eyo transportirovki, ukladki i uplotneniya [Integrated automation of the production of asphalt concrete mixture, taking into account the influence of factors of its transportation, laying and compaction]: dis. ... dokt. tekhn. nauk: 05.13.06. M., 2005. 436 p.
6. Mihalenkov S. V. Avtomatizaciya proizvodstvennyh processov asfal'tobetonnoogo zavoda na osnove optimizacii informacionnogo obespecheniya sistemy upravleniya [Automation of production processes of an asphalt concrete plant based on optimization of information support of the control system]: dis. ... kan. tekhn. nauk: 05.13.06. Samara, 2006. 231 p.
7. Vorob'ev V.A., Suvorov D.N., Kotljarskij Je.V., Docenko A.I., Popov V.P. Komp'yuternoe modelirovanie v avtomatizacii proizvodstva asfal'tobetonnoj smesi [Computer modeling in the automation of asphalt concrete mixture production. Book 2. Practical developments]. Kniga 2. Prakticheskie razrabotki. M.: RIA, 2009. 608 p.
8. George E. P. Box, Gwilym M. Jenkins, Gregory C. Reinsel Time series analysis. Forecast and control, 1974. 579 p.
9. Suvorov D. N., Ilyuhin A. V., Nguen S. V., Zyong D. T. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9081.
10. Modeling and Simulation of Systems Using MATLAB and Simulink, Devendra K. Chaturvedi, 2009, 734 p.
11. Suvorov D. N., Ilyuhin A. V., Nguen S. V., Zyong D. T. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8768.
12. Fam Duj Huu Asfal'tobeton [Asphalt concrete], Hanoi, 2008. 166 p.
13. Nguen, V. L., Nguen D. SH. Inzhenerno-stroitel'nyj vestnik Prikaspiya. 2017. № 1(19). pp. 25-30.
14. CHan Hyuin' CHuong, Lam Ngok Tra Maj Nauchnyj zhurnal otkrytogo universiteta HoSHiMina. 2012. № 1. pp. 79-91.

Дата поступления: 21.05.2024

Дата публикации: 26.06.2024
