

УДК 658.5

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

М.М. Никитаев

Государственное бюджетное учреждение города Москвы «Автомобильные дороги»
Россия, 123007, Москва, 1-я Магистральная ул., 23
E-mail: mmmnikitaev@yandex.ru

Г.Ш. Малазони

Государственное бюджетное учреждение города Москвы «Автомобильные дороги»
Россия, 123007, Москва, 1-я Магистральная ул., 23
E-mail: geo.rnd1749@gmail.com

О.Н. Никонова

Государственное бюджетное учреждение города Москвы «Автомобильные дороги»
Россия, 123007, Москва, 1-я Магистральная ул., 23
E-mail: olga.helga@mail.ru

Ю.Э. Васильев

Московский Автомобильно-Дорожный Государственный Технический Университет (МАДИ)
Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64
E-mail: yu.vasilev@madi.ru

Ключевые слова: асфальтобетонная смесь, дорожное покрытие, технология производства, система управления.

Аннотация: Предложена структура автоматизированной системы управления асфальтобетонным заводом (АБЗ), представляющей собой многоуровневую систему управления, что вызвано необходимостью контроля качества не только в ходе производства, но и при транспортировке, укладке и уплотнении смеси. Обоснована необходимость включения в состав программно-математического обеспечения средств моделирования и прогнозирования, программных пакетов статистической обработки и интеллектуального анализа данных. Приведены постановки задач выбора рациональных режимов работы агрегатов АБЗ и выбора емкости бункеров АБЗ, решение которых позволяет снизить величину необслуженных заказов потребителей асфальтобетонных смесей на 12–15%.

1. Введение

Асфальтобетонные смеси в настоящее время являются самыми популярными материалами для устройства дорожных покрытий. Их качество во многом определяет долговечность службы автомобильной дороги, вместе с технологией доставки на объект, укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси [1]. В ГБУ «Автомобильные дороги» работает 10 асфальтобетонных заводов, которые могут производить для нужд города Москвы асфальтобетонные смеси общим объемом более 2 тысяч тонн в час. Заводы функционируют круглосуточно, обеспечивая бесперебойную поставку асфальтобетонных смесей. Их работа организована таким образом, что каждый этап – от производства сырья до его использования — находится под бдительным контролем

собственных лабораторий проверки качества и независимых экспертов. В силу особенностей производства в ходе технологического процесса происходит интенсивное технологическое старение битума в асфальтосмесителе в процессе перемешивания с разогретыми каменными материалами. На изменение свойств битума оказывают влияние время перемешивания и транспортирования смеси до объекта. Поэтому непосредственно в слоях асфальтобетонных покрытий с большой вероятностью окажется битум с характеристиками, отличающимися от показателей битума, загруженного в рабочий котел и битумохранилище АБЗ [2]. Структура асфальтобетона, сформированная на асфальтобетонном заводе (АБЗ), изменяется как в процессе транспортировки, так и в процессе укладки и уплотнения [3,4]. В процессе производства для контроля качества используют результаты регистрации всех параметров технологического процесса приготовления асфальтобетонной смеси по каждому замесу, что отображается на контрольных картах. Систематически для каждой партии в лаборатории завода проводятся стандартные испытания асфальтобетонных образцов для оценки соответствия нормативным требованиям.

В силу указанных обстоятельств необходимо создание и внедрение автоматизированной системы управления (АСУ), обеспечивающей сбор, обработку и хранение технологической и регламентированной экспериментальной лабораторной информации на протяжении всей технологической цепи: производство-транспортировка-укладка и уплотнение. Создание и внедрение АСУ АБЗ для сбора, обработки и хранения больших объемов разнородной информации на протяжении жизненного цикла продукции, начиная от закупки материалов, и, заканчивая контролем качества готового дорожного покрытия, позволяет повысить производительность труда, качество смесей, сократить затраты ручного труда и повысить качество управленческих решений.

2. Основная часть

Качество асфальтобетонной смеси оценивается множеством показателей:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\},$$

где x_i – i -й показатель качества асфальтобетонной смеси, $i = 1, \dots, n$.

В процессе производства присутствуют возмущающие воздействия (факторы), в силу чего при транспортировке, укладке и уплотнении свойства асфальтобетонной смеси непрерывно изменяются. К ним относится изменение погодных условий, состояние машин и механизмов специализированных производственных комплексов.

Для j -го замеса, $j = 1, \dots, k$ отклонение значение i -го показателя качества X_{ij} от заданного значения X_{ij}^0 должно быть минимальным, что достигается реализацией управляющего воздействия ΔY_{ij} :

$$\Delta Y_{ij} : \Delta X_{ij}^P(t) = (X_{ij} - X_{ij}^0) \rightarrow \min.$$

Однако до настоящего времени возникают существенные сложности при попытке определить изменение свойств смеси в процессе транспортировки $\Delta U_i(t)$, укладки и уплотнении $\Delta S_{U_i}(t)$, то есть в получении зависимостей вида:

$$\Delta X_{ij}^U(t) = F(\Delta X_{ij}^P(t), \Delta U_i(t), \Delta S_{U_i}(t)),$$

где $\Delta X_{ij}^U(t)$ – отклонение i -го показателя качества от заданного значения в уложенной смеси.

Созданная библиотека отдельных моделей, хранящихся в библиотеке моделей АСУ АБЗ (PLM-системы), позволяет решать задачи оперативного управления технологическим процессом, коммерческого учета, планирования и сбора информации

о поведении смеси в процессе жизненного цикла АБЗ: вести учет готовой продукции и расхода сырья.

Необходимость контроля качества не только в ходе производства, но и при транспортировке, укладке и уплотнении определяет структуру АСУ АБЗ, представляющую собой многоуровневую систему управления (рис. 1).

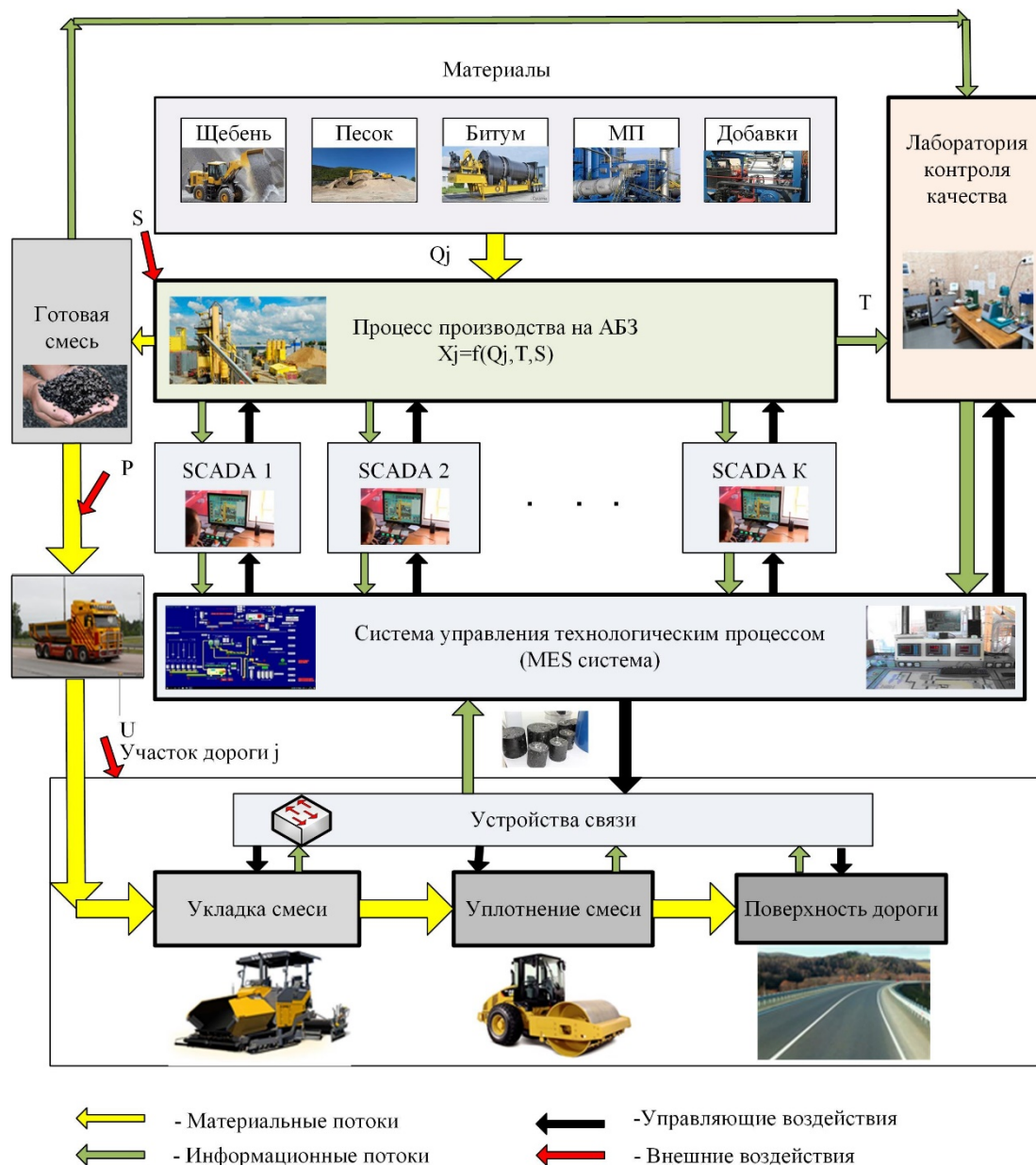


Рис. 1. Структура АСУ АБЗ (PLM-система).

В состав математического обеспечения АСУ АБЗ должны входить средства моделирования и прогнозирования, программные пакеты статистической обработки и интеллектуального анализа данных [5-7].

С позиций общей теории систем АБЗ представляет собой сложную систему, обеспечивающую приготовление смесей различного состава. Основными агрегатами - исполнительными элементами на АБЗ являются бункера, смеситель, весовой бункер, битумохранилище, силосный склад минерального порошка, склады поверхностно активных веществ, волокнистого наполнителя и др. компонентов, необходимых для приготовления асфальтобетонных смесей проектного состава (рецепта). В зависимости

от выбора значений параметров этих агрегатов изменяется суммарная производительность АБЗ и вероятность отказа в выполнении заказов потребителей асфальтобетонных смесей. Приоритет при этом имеет производительность смесительной установки.

При планировании производственных ресурсов в качестве исходных данных используются технические характеристики устройств, значения которых могут быть также оптимизированы за счет выбора наилучших режимов работы. Исходными данными для задачи параметрической оптимизации агрегатов АБЗ являются:

- $IQ = (\pi_i), i = 1, \dots, N$ – интенсивность поступления от потребителей заказов на производство смеси;
- T_{max} – допустимое среднее время выполнения заказов на АБЗ;
- TP_{sum} – суммарная производительность АБЗ;
- $V = (v_l), l = 1, \dots, L$ – объемы бункеров для производства смеси;
- $TP = (\mu_j), j = 1, \dots, M$ – нормативные значения производительностей агрегатов АБЗ.

Рассмотрим две частные задачи:

1. Выбор рациональных режимов работы агрегатов АБЗ:

$$P_{re}(V, TP) \rightarrow \min,$$

$$TP: \begin{cases} \sum_{j=1}^M \mu_j \leq TP_{sum} \\ V = const \end{cases}$$

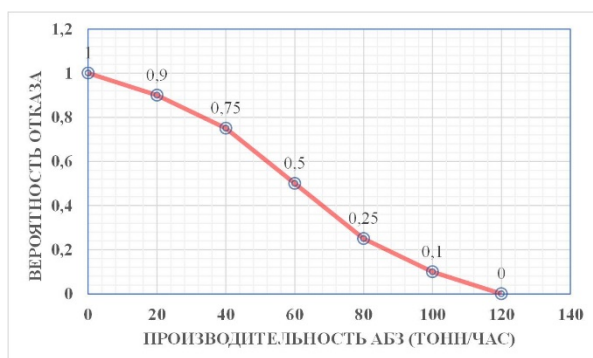
Ее решение обеспечивает минимизацию вероятности отказа в обслуживании заказа P_{re} при условии, что суммарная производительность агрегатов $TP = (\mu_j), j = 1, \dots, M$ не может превышать общую производительность АБЗ TP_{sum} при заданном объеме бункеров $V = (v_l), l = 1, \dots, L$ (Рис.2.а).

2. Выбор емкости бункеров АБЗ:

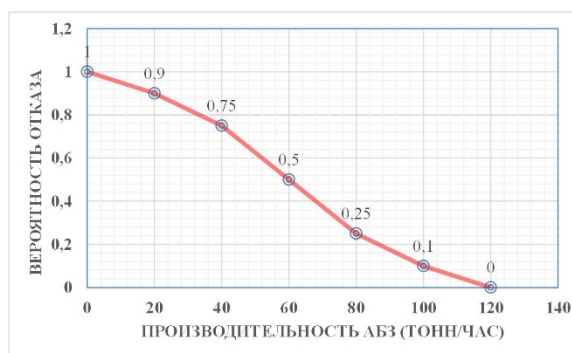
$$P_{re}(V, TP) \rightarrow \min,$$

$$V: \begin{cases} \frac{1}{\pi_j} (\sum_{j=1}^M \pi_j / N) \leq T_{max} \\ TP = const \end{cases}$$

Решение этой задачи обеспечивает минимизацию вероятности отказа в обслуживании заказа P_{re} при условии, что время выполнения заказа не должно превышать допустимого среднего времени выполнения заказов на АБЗ T_{max} при неизменной производительности агрегатов $TP = (\mu_j), j = 1, \dots, M$ (Рис.2.б).



а).



б).

Рис. 2. Зависимость вероятности отказа в обслуживании от производительности АБЗ (а) и от объема бункеров АБЗ (б).

Обе задачи относятся к классу нелинейных задач [8-9]. Для их решения может быть использован метод динамического программирования, позволяющий в общем случае найти решение за N шагов:

$$TP_h \rightarrow TP_{h+1}, h = 1, \dots, Z,$$

$$Z: [TP_{h+1} - TP_h] \leq \varepsilon,$$

где ε – заданная точность решения.

Проведенные расчеты показали, что в результате решения этих задач удается сократить долю необслуженных заказов потребителей на 12-15%.

3. Заключение

Использование современных аппаратно-программных средств в контуре управления производством на АБЗ позволит комплексно оценивать влияние различных факторов, таких как:

- остывания асфальтобетонной смеси при перевозке в зависимости от погодных условий и температуры воздуха;
- грузоподъемности транспортных средств и удаленности объекта, так как от этого будет зависеть время погрузки и количество ездов, а, следовательно, вероятные простои АБЗ;
- простои на объекте укладки асфальтобетонной смеси из-за поломки асфальтоукладчика или других машин специализированного отряда машин;
- интенсивности дорожного движения (пробок) на маршрутах доставки асфальтобетонных смесей.

Оптимизация характеристик функционирования АБЗ позволяет уменьшить вероятность отказов в выполнении заказов потребителей асфальтобетонных смесей. Внедрение в повседневную практику процессов управления жизненным циклом продукции АБЗ позволит не только оценивать качество смеси, но и выявить зависимость остаточного срока службы покрытия от характеристик асфальтобетонной смеси.

Список литературы

1. Mazari M., Rodriguez D.D. Prediction of pavement roughness using a hybrid gene expression programming neural network technique // *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. 2016. Vol. 3, No. 5. P. 448-455.
2. Peiliang, C., Ning, L., Hongming, S., Zhao H. Rheological and Fatigue Properties of Epoxy Asphalt Binder // *International Journal of Pavement Research & Technology*. 2015. Vol. 8, No. 5. P. 370-376.
3. Abed A., Thom N., Neves L. Probabilistic prediction of asphalt pavement performance // *Road Materials and Pavement Design*/ 2019. Vol. 20. P. 247-264.
4. Babashamsi P., Yusoff Md N.I., Ceylan H., et al. Evaluation of pavement life cycle cost analysis: Review and analysis // *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2016. Vol. 9, No. 4. P. 241-254.
5. Ashlock D. *Evolutionary Computation for Modeling and Optimization*. Guelph: Springer & Business Media, 2005. 572 p.
6. Jin C., Zhang J. X. Summary of research on performance prediction of asphalt // *Journal of China & Foreign Highway*/ 2017. Vol. 37, No. 5. P. 31-35.
7. Haider S.W., Baladi G.Y., Chatti K., et al. Effect of frequency of pavement condition data collection on performance prediction // *Transportation Research Record*. 2018. Vol. 2153, Mo. 1. P. 67-80.
8. Belov A.A. *Probability theory and mathematical statistics: textbook*. Ivanovo State Power Engineering University named after V. I. Lenin, Ivanovo, 2006. 360 p.
9. Guo F., Gregory J., Kirchain R. Probabilistic life-cycle cost analysis of pavements based on simulation optimization // *Transportation Research Record*. 2019. Vol. 2673, No. 5. P. 389-396.