УДК 658.5

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ЗАВОДА

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

М.М. Никитаев
Автомобильные дороги
Россия, 123007, Москва, 1-я Магистральная ул., 23
E-mail: mmnikitaev@yandex.ru

Г.Ш. Малазония
Автомобильные дороги
Россия, 123007, Москва, 1-я Магистральная ул., 23
E-mail: geo.rnd1749@gmail.com

О.Н. Никонова
Автомобильные дороги
Россия, 123007, Москва, 1-я Магистральная ул., 23
E-mail: olga.helga@mail.ru

Ключевые слова: материалы, замес, качество смеси, дорожное покрытие, заказ, технология производства.

Аннотация: Рассматривается задача поиска минимальной производительности асфальтобетонного завода, обеспечивающей выполнение портфеля заказов, поступающих за заданный период времени. При этом полагается, что все необходимые исходные компоненты в соответствие с нормами запаса, измеряемыми в сменах, находятся на складах. Для решения указанной задачи предлагается использовать эвристический алгоритм, обеспечивающий выравнивание загрузки смесительных агрегатов на асфальтобетонном заводе. Обоснована необходимость дальнейшего продолжения исследований с целью учета взаимного влияния различных факторов на управление процессом выполнения заказов на производство асфальтобетонных смесей.

1. Введение

Современные асфальтобетонные заводы (АБЗ) представляют собой автоматизированное производство, обеспечивающее выпуск асфальтобетонных смесей высокого качества различных типов, видов и марок производительностью от 40 т/час до 400 т/час и более [1-3]. При этом коэффициент использования оборудования АБЗ (коэффициент средней загрузки) весьма высок и составляет 0.7-0.9 [2]. Основным элементом оборудования АБЗ является асфальтосмесительная установка, в состав которой входят система временного хранения горячих и холодных инертных материалов, элеватор холодного минерального порошка, дозаторы и асфальтосмеситель, агрегат минерального порошка, агрегат готовой смеси – горячие бункеры (рис. 1). К вспомогательным элементам относятся склады, агрегат, системы

пыле- газо очистки, сушильный барабан, пневмосистема минерального порошка, заводская лаборатория контроля качества исходных материалов и готовой смеси [4].

Рис.1. АБЗ Benninghoven TBA 3000 UC ГБУ «Автомобильные дороги» (Взято с сайта https://gbuador.ru/).

В настоящее время задача определения минимальной производительности АБЗ решается при условии одновременного поступления всего портфеля заказов. Такое предположение можно считать справедливым только в прогнозных разработках, но в случае наличия информации о времени поступления и о плановых сроках реализации заказов, указанное предположение является слишком грубым. Если в случае одновременного поступления заказов они обслуживаются без прерываний, то при неодновременном поступлении заказов, оптимальным расписанием обслуживания с точки зрения выбора минимально возможной производительности АБЗ, будет такое, когда заказам присваиваются приоритеты. В этом случае заказы низшего приоритета обслуживаются после завершения обслуживания заявок более высокого приоритета [5].

2. Основная часть

Потребители асфальтобетонных смесей (АБС) обращаются на АБЗ с заказами, которые характеризуются объемом V_i(т) заказов, поступивших от потребителя $i, i = 1, \dots, N$, где N – общее число потребителей в конкретный временной период. Введем обозначения: $V = \sum_{j=1}^{N} V_j$ – общий объем заявок, поступивших от всех потребителей на АБЗ (т) за промежуток времени T (час) (это может быть смена, сутки, месяц, год); $\mu_{\text{АБЗ}}$ – производительность АБЗ (т/час).

Тогда требуемая производительность АБЗ определяется как

$$\mu_{\text{тр}}={}^{V}/_{T}=\sum_{i=1}^{N}V_i/_{T},$$

а коэффициент средней загрузки АБЗ составляет:

$$\rho=\mu_{\text{тр}}/\mu_{\text{АБЗ}}$$

При определении $\mu_{\text{АБЗ}}$ следует помнить, что фактические значения производительности завода обычно на 15–17% превышают значения, указанные в техническом паспорте, так как паспортные значения определяются при влажности инертных материалов в пределах 3–5%. Как правило их реальная влажность выше, чем указанная в технической документации. Так же следует учесть, что производительность существенно зависит от технологических свойств асфальтобетонной смеси, которая различна в зависимости от ее типа вида и марки. Необходимо учитывать и непредвиденные потери, что также отразится на снижении паспортной производительности примерно на 20–30% [6]. В том числе, например, в зависимости от погодных условий, когда укладка асфальтобетонной смеси по техническим нормам и правилам запрещена.

Объем заказов от потребителя $i, i=1,\dots,N$, можно представить в виде функции:

$$V_i=f(r_i,m_i,\pi_i,q_i)=f(a_i),$$

где: r_i – приоритет заказа, m_i – марка АБС, π_i – интенсивность поступления, q_i – удельная трудоемкость выполнения заказа.

Каждый из параметров a_i имеет нижнюю и верхнюю границы, определяемые экспертным путем:

$$a_i^{min}\le a_i\le a_i^{max}.$$

Тогда постановка задачи имеет вид:

$$F=\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{\partial F}{\partial a_i}\right)^2\to min,$$
$$a_i^{min}\le a_i\le a_i^{max},$$
$$|F(a_i)-F|\le\Delta,\ i=1,\dots,N.$$

Для ее решения может быть использован метод метод Нелдера-Мида [7] и получены значения a_i^{cp}. Значения параметров $a_i=\{r_i,m_i,\pi_i,q_i\}$ определяются с использованием метода Монте-Карло в диапазонах значений:

$$0{,}5*a_i^{cp}\le a_i\le 2{,}0*a_i^{cp}.$$

Решение задачи останавливается при достижении заданной точности $\Delta=0{,}01*F$.

Заказы характеризуются вектором $z=\{t_i,T_i,V_i\}$, где t_i – момент поступления заказа в диспетчерскую АБЗ, T_i - плановый срок выполнения заказа, V_i – объем заказа. Вместо плановых сроков выполнения заказа T_i в дальнейшем будем использовать величину τ_i – допустимое время выполнения заказа на АБЗ, которое связано с величиной T_i соотношением τ_i=T_i-t_i.

Рассматривается задача поиска минимальной производительности АБЗ μ_{min}, обеспечивающей выполнение N заказов, поступающих на АБЗ за заданный период времени T. При этом полагается, что все необходимые исходные компоненты в соответствие с нормами запаса, измеряемыми в сменах, находятся на складах АБЗ. Исходя из средних интенсивностей поступления заказов на асфальтобетонные смеси различных марок, видов и типов можно определить примерную номенклатуру и объемы поставляемых исходных компонентов. Данная задача требует самостоятельного решения, так как при отсутствии даже одного компонента на складе АБЗ может остановиться производство одного или нескольких видов смесей.

Решение указанной задачи состоит в следующем. Определим нижнюю границу производительности АБЗ как:

$$\mu_{\text{Н}}=max\{\mu_{\text{ср}},\max_i(\mu_i)\},$$

где $\mu_{\text{ср}}$ – средняя производительность АБЗ, определяемая как:

$$\mu_{\text{ср}} = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^{N} \frac{V_i}{\tau_i}.$$

Уменьшение μ_i по отношению к $\mu_{\text{Н}}$ возможно лишь в том случае, когда начало выполнения i-го заказа сдвигается относительно момента его поступления t_i, и допустимое время выполнения i-го заказа уменьшается («сдвиг» в точке t_i).

Наряду с допустимыми сроками обслуживания заявок введем плановые сроки выполнения заказов относительно момента поступления первого заказа t_1:

$$T_i = \tau_i + t_i - t_1.$$

Производительность АБЗ, позволяющая обработать i-й заказ за допустимое время определяется как:

$$\mu_i = \frac{V_i}{\tau_i}.$$

Тогда, в случае необходимости сдвига из точки t_i в точку t_j плановый срок пересчитывается:

$$(t_i - t_1) \ < T_j \leq \tau_i, j < i.$$

На практике возможен случай одновременного прихода нескольких заказов (предположим, что одновременно в момент времени t_iпоступило k заказов), и одновременно поступившие заказы превышают максимальную производительность АБЗ. В этом случае необходимо выполнить «сдвиг» заказа в точку t_j:

$$T_j = t_j + \tau_j - t_i, j = 1, \dots, N.$$

Для сдвига выбирается заказ с наиболее высоким приоритетом (например, асфальтирование ул. Тверской в г. Москве), а при равенстве приоритетов – заказ с максимальным плановым сроком выполнения: $t_i = max_i\ (T_i)$. После выполнения выбранного заказа начинается выполнение следующего заказа и т. д. Оставшиеся заказы обслуживаются в порядке убывания приоритетов (асфальтирование вылетных магистралей, проезжей части, дворовых территорий и т. д.). В том случае, когда «сдвиг» не позволяет выполнить все заказы в пределах планового срока выполнения, и остается m заказов, то они упорядочиваются в порядке убывания объемов:

$$V_{1\geq} V_2 \geq \cdots \geq V_i \geq \cdots \geq V_m.$$

Когда нарушается условие сдвига в какой-либо предыдущей точке, необходимо проверить все точки, где этот сдвиг существует, начиная с первой точки, так как условие сдвига обеспечивает выравнивание загрузки смесительных агрегатов и возможность выполнения всего портфеля заказов в срок или с минимальными нарушениями плановых сроков выполнения.

Для решения указанной задачи предлагается использовать следующий эвристический алгоритм, обеспечивающий выравнивание загрузки смесительных агрегатов на АБЗ:

1) Ввод исходных данных.
2) Определение нижней границы $\mu_{\text{Н}}$.
3) Перебор N точек $t_i, i = 1, \dots, N,$, соответствующих временам поступления заказов за период времени T , и если выполняется условие $\mu_{\text{Н}} \geq \left\{\sum_{i=1}^{k} \mu_i\right\}, i = 1, \dots, N,$ то $\mu_{min} = \mu_{\text{Н}}$ и «сдвиг» не производится. Если обработаны все заказы, то выдается сбалансированный график. В противном случае выполняется переход к шагу 4.
4) Начиная с точки t_i, в которой $\mu_{\text{Н}} < \left\{\sum_{i=1}^{k} \mu_i\right\}, i = 1, \dots, N,$ производится «сдвиг» и вычисляются новые значения μ_i.
5) После просмотра всех заказов работа алгоритма заканчивается.

3. Заключение

Целесообразно продолжить исследования с целью учета взаимного влияния различных факторов на управление обслуживанием заказов:

- погодно-климатических факторов, так как низких температурах и осадках потребители будут отказываться от поставки асфальтобетонной смеси;
- грузоподъемности транспортных средств и удаленности объекта, так как от этого будет зависеть время погрузки и количество ездок, а, следовательно, вероятные простои АБЗ из-за отсутствия автосамосвалов.
- количества и объемов накопительных горячих бункеров;
- остывания асфальтобетонной смеси при перевозке в зависимости от погодных условий и температуры воздуха;
- 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.

Комплексный подход к учету множества отмеченных факторов позволит перейти на новый уровень планирования и управления, динамично перестраивать производство, транспортировку и использование смесей по разным адресам [8-9]. Сегодня эта задача, как правило, решается в режиме ручного управления. Эти решения не всегда оптимальны по технологическим, техническим, экономическим соображениям. Полностью отсутствует вариантность таких решений и результаты зависят от профессионализма и опыта диспетчера.

Список литературы

1. Асфальтобетонные и цементобетонные заводы: справочник / Сост.: В.И. Колышев и др. М.: Транспорт, 1982. 207 с.
2. Ковалёв Я.Н., Будниченко С.С., Солодкая М.Г. Производственные предприятия дорожной отрасли. Основы проектирования: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги». Минск: БНТУ, 2018. 177 с.
3. Силкин В.В. и др. Производственные предприятия дорожного строительства: справочная энциклопедия дорожника / Под ред. В.В. Силкина, А.П. Лупанова. М.: Экон-информ, 2010. 485 с.
4. Kovalev Ya.N., Budnichenko S.S., Solodkaya M.G. Production enterprises of the road industry. Fundamentals of design. BNTU, Minsk, 2018. 177 p.
5. Belov A.A. Probability theory and mathematical statistics: textbook. Ivanovo: Ivanovo State Power Engineering University named after V.I. Lenin, 2006. 360 p.
6. Сиденко В.М., Батраков О.Т., Леушин А.И. Технология строительства автомобильных дорог: учебник: в 3 ч. Ч. 3: Производственные предприятия дорожного строительства. Киев: Высшая школа, 1970. 252 с.
7. Nelder J.A., Mead R. // Computer Journal. 1965. Vol. 7. P. 308-313.
8. 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 (1). P. 67-80.
9. Guo F., Gregory J., Kirchain R. Probabilistic life-cycle cost analysis of pavements based on simulation optimization // Transportation Research Record. 2019. Vol. 2673(5). P. 389-396.