

ний при их погружении, значительно превосходят цилиндрические вибраторы. При этом замечено, что виброизлучатели обеспечивают эффективное уплотнение бетонных смесей с осадкой конуса менее 10 мм.

Л и т е р а т у р а

1. Миклашевский Е.П. и др. Механизация уплотнения бетонной смеси в монолитных конструкциях. - "Бетон и железобетон", 1974, № 1. 2. Калмыков Л.Ф. Исследование влияния волнового давления на кинетику виброуплотнения аглопоритобетонных смесей при возведении монолитных конструкций. - В сб.: Тез. докл. УШ конф. молодых ученых и специалистов Прибалтики и БССР. Рига, 1975. 3. Прохоркин С.Ф., Миронов Ю.Б. Уплотнение бетонной смеси при возведении монолитных фундаментов. - "Механизация строительства", 1975, № 1. 4. Десов А.Е. Вибрированный бетон. М., 1956. 5. Миклашевский Е.П. Взаимодействие внутреннего вибратора в бетонной смеси. - В сб.: Теория формирования бетона. М., 1969. 6. Гольдштейн Б.Г. Выбор параметров глубинных вибраторов для уплотнения бетона. М., 1968.

УДК 693.546:51.001.57

А.С.Стаценко

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ БЕТОНОНАСОСА И АВТОБЕТОНОСМЕСИТЕЛЕЙ

При производстве бетонных работ с применением бетононасосов в комплекте с ними используются автобетоносмесители, обеспечивающие доставку бетонной смеси без ухудшения качества и регулируемую подачу ее в приемный бункер без перегрузочных устройств.

Рассматривая процесс укладки бетонной смеси как равномерный, протекающий в заданном режиме, необходимое количество автобетоносмесителей, обеспечивающих непрерывную работу бетононасоса, можно определить по формуле

$$N = \frac{T_1 + T_2}{T_3} + 1, \quad (1)$$

где T_1 – продолжительность загрузки автобетоносмесителя на заводе, мин; T_2 – продолжительность рейса автобетоносмесителя, мин; T_3 – продолжительность разгрузки автобетоносмесителя, мин.

Однако, как показали наблюдения, в системе взаимодействия бетононасоса с автобетоносмесителями значительное место занимают элементы случайности, вызывающие заметные отклонения от средних показателей, обычно принимаемых для расчетов. В результате воздействия таких факторов, как разная квалификация шоферов, меняющиеся погодные условия, техническое состояние машин и т.д., автобетоносмесители не будут прибывать к бетононасосу в строго определенном ритме; продолжительность укладки бетонной смеси также подвержена случайным факторам. Поэтому задачу по расчету потребности в автобетоносмесителях необходимо решать с учетом вероятностей поступления машин к насосу и времени их разгрузки, т.е. рассматривать весь процесс работы комплекта машин как систему массового обслуживания с ожиданием.

При анализе технологического процесса выполнения бетонных работ с помощью бетононасоса необходимо рассматривать возможности одновременной выгрузки бетонной смеси из одного и двух автобетоносмесителей (рис. 1). При выгрузке одновременно двух автобетоносмесителей ликвидируются перерывы на смену автобетоносмесителей у бетононасоса, что обеспечивает его непрерывную работу, повышает надежность и увеличивает производительность.

Система бетононасос – автобетоносмесители может находиться в $k = N + 1$ состояниях. Эти состояния следующие:

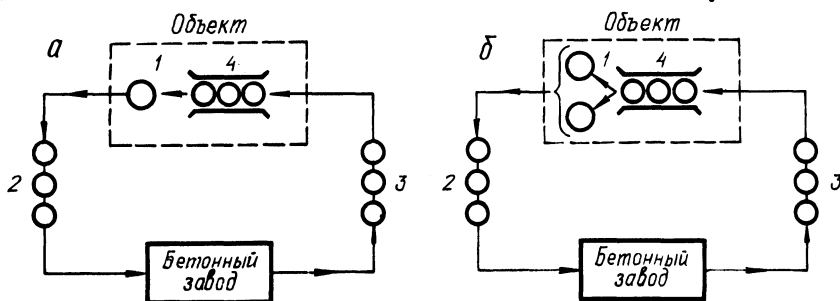


Рис. 1. Схема сетей массового обслуживания для моделирования работы бетононасоса и автобетоносмесителей; а – возможность загрузки автобетононасоса одним автобетоносмесителем; б – то же, двумя; 1 – бетононасос; 2 – движение порожних автобетоносмесителей; 3 – движение груженых автобетоносмесителей; 4 – очередь автобетоносмесителей, ожидающих разгрузки.

$k = 0$ - все N автобетоносмесителей в пути, бетононасос простаивает; $k = 1$ - один автобетоносмеситель разгружается, остальные $(N - 1)$ в пути; $k = 2$ - два автобетоносмесителя находятся у бетононасоса, один из них или оба разгружаются в зависимости от возможности приема бетонной смеси из одного или двух автобетоносмесителей, остальные $(N - 2)$ в пути и т.д. В соответствии с теорией массового обслуживания вероятность каждого из k состояний P_k определяется по формуле

$$P_k = \frac{N!}{n^{k-n} n! (N-k)!} \left(\frac{\lambda}{\gamma} \right)^k P_0, \quad (2)$$

где n - количество одновременно разгружающихся автобетоносмесителей; λ - среднее количество рейсов автобетоносмесителя за 1 ч работы; γ - среднее число автобетоносмесителей, разгрузившихся за 1 ч работы; P_0 - вероятность нахождения всех автобетоносмесителей в пути, равнозначно простою бетононасоса.

Вероятность простоя бетононасоса P_0 определяется суммированием вычисленных вероятностей всех состояний системы

$$P_0 = \frac{1}{\sum \frac{P_k}{P_0}}. \quad (3)$$

Вероятность простоя каждого автобетоносмесителя P_a в очереди при ожидании обслуживания определяется по формуле

$$P_a = \frac{\sum (k - n) P_k}{N}. \quad (4)$$

Многочисленные наблюдения, проведенные на базе треста "Оргстроймеханизация" Министерства промышленного строительства БССР, показали, что при работе автобетононасосов В 232А и АБН-60 и доставке бетонной смеси автобетоносмесителями С-1036 при расстоянии от завода товарного бетона, равном 14 км, продолжительность одного рейса в течение смены изменялась от 70 до 130 мин. Средняя продолжительность рейса составила 98,1 мин (1,63 ч), или $\lambda = 1/1,63 = 0,616$, а средняя продолжительность разгрузки автобетоносмесителя с учетом времени на смену у бетононасоса - 11,2 мин (0,187 ч), $\gamma = 1/0,187 = 5,34$. Одновременно

мог разгружаться только один автобетоносмеситель. Соответствие показательному закону распределения продолжительности рейсов автобетоносмесителей по критерию согласия Пирсона составило 0,992, что с вероятностью 99,2% подтверждает пуассоновский поток поступления автобетоносмесителей к бетононасосу.

При исследованных значениях продолжительности рейсов и времени разгрузки автобетоносмесителей для обеспечения непрерывной работы с бетононасосом надлежит работать 10 автобетоносмесителям в соответствии с формулой (1), производительность комплекта при этом должна составить 136 м³/см.

Однако, как было указано выше, на систему влияют вероятностные факторы. Вероятности состояния системы при обслуживании бетононасоса десятью автобетоносмесителями по выражению (2) представлены в табл. 1.

Пользуясь суммарными данными таблицы, получаем, что общий простой бетононасоса, согласно выражению (3), составляет: $P = 1/6,355 = 0,157$. Следовательно, при данном количестве автобетоносмесителей бетононасос простаивает 15,7% рабочего времени (1ч 15 мин при восьмичасовом рабочем дне). Время простоя каждого автобетоносмесителя в очереди на основе выражения (4) составляет $P = 1,744/10 = 0,1744$, т.е. 17,44% рабочего времени (1ч 24^а мин в смену). Произво-

Таблица 1. Вероятность состояния системы

k	k-1	P_k / P_0	P_k	$P_k (k-1)$
0	0	1,000	0,157	-
1	0	1,140	0,179	-
2	1	1,170	0,184	0,184
3	2	1,080	0,170	0,340
4	3	0,857	0,135	0,405
5	4	0,605	0,095	0,380
6	5	0,302	0,047	0,235
7	6	0,157	0,025	0,150
8	7	0,036	0,006	0,042
9	8	0,008	0,001	0,008
10	9	-	-	-
		6,355	0,999	1,744

дительность данного комплекта машин Π в м³/см с учетом вероятностных факторов, вычисленная по формуле

$$\Pi = 8NV(1-P_a)\lambda, \quad (5)$$

где V – емкость барабана автобетоносмесителя, м³, составит всего 112 м³/см. Таким образом, определение необходимого количества автобетоносмесителей без учета вероятностных факторов приведет к недогрузке бетононасоса, срыву намеченного темпа бетонных работ.

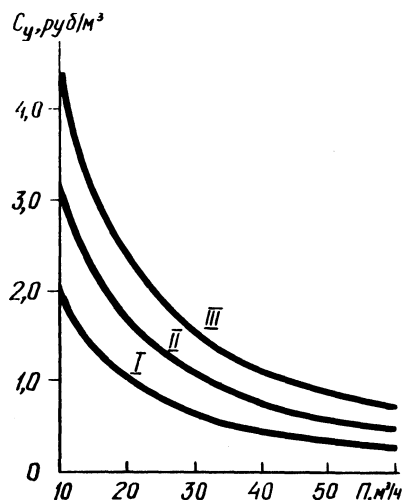
Учитывая, что комплект машин обслуживает звено или бригаду бетонщиков, что бетонные работы выполняются в определенном соответствии с арматурными, опалубочными и последующими работами, основной задачей организации транспортных работ является не достижение высокой сменной интенсивности перевозок или их наименьшей стоимости, а обеспечение в необходимом количестве точно по графику поступления бетонной смеси на строительную площадку и к месту укладки, т.е. обеспечение планируемой производительности при наименьших затратах. Условие эффективности комплекта машин будет следующим:

$$\frac{C_b + NC_a}{\Pi} \rightarrow \min, \quad (6)$$

где C_b – стоимость машино-смены бетононасоса, руб.; C_a – стоимость машино-смены автобетоносмесителя. Значения удельных затрат при различной производительности комплекта машин для автобетононасоса АБН-60 и автобетоносмесителей С-1036 приведены на рис. 2.

Имитационная модель работы комплекта автобетоносмесителей, обслуживающих бетононасос, и определение их производительности с использованием теории массового обслуживания, как видно из проведенного выше анализа, или методов Монте-Карло, для практического применения чересчур сложна и требует трудоемких расчетов при малейшем изменении условий. Для изучения совместного влияния количества обслуживающих автобетоносмесителей, времени укладки 1 м³ бетонной смеси и средней продолжительности рейса на производительность всего комплекта машин с учетом вероятностных производственных факторов был поставлен эксперимент по плану Бокса-Бенкина. Кодированные переменные факторы изменялись в пределах от -1 до +1, а в натуральных величинах соответственно: X_1 – ко-

Рис. 2. Зависимость значений удельных затрат C_y на укладку 1 м³ бетонной смеси от обеспечиваемой производительности P : I – комплект из 5 автобетоносмесителей; II – то же, из 10; III – то же, из 15 автобетоносмесителей.



личество автобетоносмесителей типа С-1036 – от 5 до 15; X_2 – фактическое время выгрузки из автобетоносмесителя 1 м³ бетонной смеси – от 6 до 2 мин; X_3 – средняя продолжительность рейса автобетоносмесителя – от 20 до 100 мин.

По результатам экспериментов выведены уравнения регрессии в кодированных переменных:

при возможности разгрузки одного автобетоносмесителя

$$Y = 16,50 + 3,54x_1 + 6,47x_2 - 3,06x_3 + 3,54x_1x_2 - 3,12x_2x_3; \quad (7)$$

при возможности разгрузки одновременно двух автобетоносмесителей

$$Y = 25,70 + 7,51x_1 + 8,11x_2 - 9,88x_3 + 5,06x_1x_2 - 8,50x_2x_3. \quad (8)$$

Данные уравнения при оценке по критерию Фишера оказались адекватными. Проверочные испытания показали, что полученная модель позволяет с достаточной точностью определять количество автобетоносмесителей для обеспечения заданного темпа работ. Чтобы облегчить работу по расчету определения производительности комплекта бетонотранспортных машин в зависимости от фактически сложившегося состояния, кафедрой "Технология строительного производства" Белорусского политехнического института составлены номограммы для различного числа автобетоносмесителей с полезной вместимостью барабана смесителя, равной 3,2 м³ (рис. 3). Например, при темпе бетонных работ 20 м³/ч, продолжительности рейса и времени разгрузки автобетоносмесителя соответственно 70 и 4

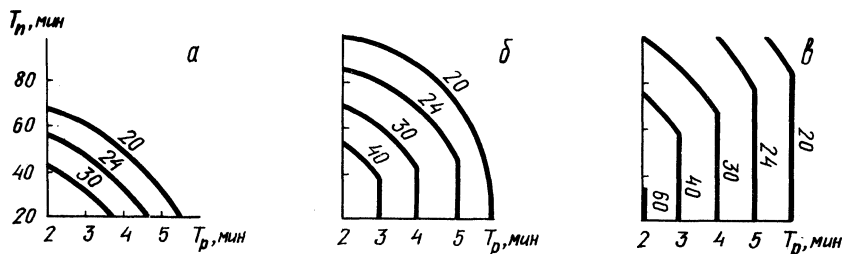


Рис. 3. Номограммы для определения производительности комплекта автобетоносмесителей в зависимости от продолжительности одного рейса T_p и времени выгрузки 1 м^3 бетонной смеси T_p с одновременной разгрузкой не более двух машин: а, б, в — комплект из 5, 10, и 15 автобетоносмесителей.

мин по номограмме определяем, что с бетононасосом должен работать комплект из 5 автобетоносмесителей, при этом необходимо обеспечить возможность выгрузки одновременно двух автобетоносмесителей (рис. 3, а).

Применение номограмм при организации производства бетонных работ с применением бетононасосов обеспечивает уменьшение простоев машин и бригад, правильное планирование работ. Пользуясь номограммами и сравнив стоимостные показатели (рис. 2), можно установить оптимальный комплект машин для определенного сложившегося состояния.

Выводы. 1. Использование приведенной математической модели и номограмм для определения оптимального числа автобетоносмесителей к бетононасосу и действительной эксплуатационной производительности комплекта машин помогает установить наименьшие затраты на транспортирование и укладку бетонной смеси, осуществить точное планирование выработки машин, сроков работ и нормирование труда рабочих, занятых на обслуживании машин и сопутствующих работах.

2. С целью сокращения времени простоев при организации производства бетонных работ с применением бетононасосов и составлении технологической документации необходимо предусматривать обеспечение подъезда и обслуживания бетононасосом одновременно двух автобетоносмесителей, сокращать продолжительность рейсов и время укладки бетонной смеси.

3. С увеличением парка бетононасосов и автобетоносмесителей появляется возможность обслуживания автобетоносмесителями нескольких бетононасосов. В связи с этим необходимо в дальнейшем провести исследования по моделированию совместной работы автобетоносмесителей и нескольких бетононасосов с целью разработки рекомендаций по их эффективному использованию.