

УДК 666. 983

И.А. Емельянова, д-р техн. наук,
С.А. Гузенко

Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПНЕВМОТРАНСПОРТНОЙ УСТАНОВКИ НА КРУПНОЗЕРНИСТЫХ БЕТОННЫХ СМЕСЯХ В КОМПЛЕКТЕ МАЛОГАБАРИТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Показана целесообразность использования малогабаритного оборудования в условиях строительной площадки при работе на крупнозернистых бетонных смесях. Приведена зависимость для определения КПД пневмотранспортной установки, показана возможность ее эффективного использования.

The expediency of usage of the small-sized equipment in conditions of a building site is rotined by activity on coarse-grained concrete mixes. The relation for definition efficiency of the pneumotransport installation is adduced, the capability of its effective utilization is rotined.

Введение

Различные комплекты использования малогабаритного оборудования апробированы на мелкозернистых бетонных смесях на многих строительных объектах Украины [1]. Однако в условиях строительной площадки зачастую возникает необходимость в потреблении крупнозернистых бетонных смесей, подача которых осуществляется большими энергоемкими бетононасосами. Эти машины работают на подвижных бетонных смесях. В конечном итоге, это отражается на прочностных показателях укладываемых бетонов. Возможность в аналогичных условиях использования усовершенствованного малогабаритного оборудования на крупнозернистых малоподвижных смесях ($d_{\max} = 20 \text{ мм}$) представляет интерес, расширяет область использования таких машин и свидетельствует об их универсальности и эффективности.

Результаты исследований

На рис. 1 представлена технологическая схема транспортирования крупнозернистой бетонной смеси, которая также может быть использована для выполнения работ по шприц-бетонированию. В данную схему включена пневмотранспортная установка, в которую входят ячейковый питатель 6, эжектор 5 и камера смешения 9 крупного заполнителя с сжатым воздухом. В данной схеме используется двухпоршневой растворобетононасос 4 с принудительной загрузкой мелкозернистой бетонной смеси.

Данная технологическая схема успешно работает и с растворобетононасосами других конструктивных решений [1].

На рис. 2 показана структурная схема выполнения шприц-бетонирования при использовании малогабаритного оборудования, на которой показаны все участки рабочей трассы, требующие затрат энергии.

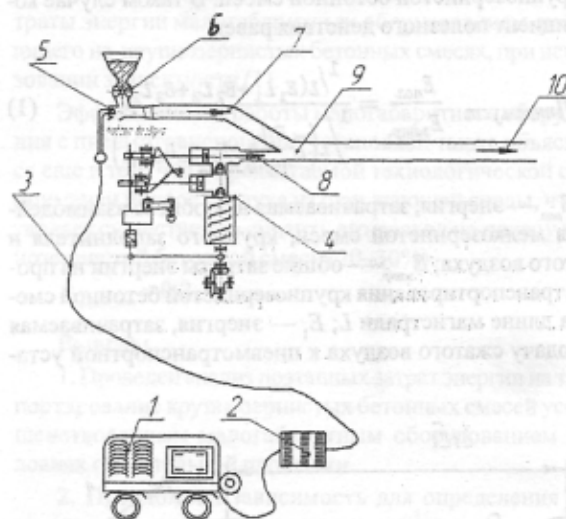


Рис. 1. Технологическая схема транспортирования крупнозернистой бетонной смеси.

1 — компрессор, 2 — воздушный фильтр, 3 — воздухопровод, 4 — растворобетононасос, 5 — эжектор, 6 — ячейковый питатель, 7 — магистраль подачи крупного заполнителя, 8 — магистраль подачи мелкозернистой бетонной смеси, 9 — камера смешения бетонной смеси и крупного заполнителя, 10 — магистраль транспортирования крупнозернистой бетонной смеси.

Структурная схема, представленная на рис. 2, иллюстрирует последовательность рабочих участков транспортирования как компонентов, так и воздушно-бетонной смеси, требующих определенных затрат энергии. Анализ затрат энергии отдельных этапов транспортирования смеси и ее компонентов произведен ранее [2, 3].

Оценка эффективности работы усовершенствованного малогабаритного оборудования с использованием дополнительной пневмотранспортной установки может быть произведена по качественным показателям процесса смешивания мелкозернистой бетонной смеси с крупным наполнителем.

Одним из таких показателей является степень однородности полученной воздушно-бетонной крупнозернистой смеси. Экспериментальная проверка воздушно-бетонной смеси в конце магистрали транспортирования показала высокую степень однородности. Это свидетельствует о правильно выбранных параметрах рабочего процесса, начиная от участка длиной L_1 до участка длиной L_4 .

Оценить эффективность работы пневмотранспортной установки возможно, определив ее коэффициент полезного действия.

Для этой цели следует определить полезную энергию, которая затрачивается на взаимодействие мелкозернистой смеси с крупным наполнителем в камере смешивания и проанализировать общие затраты на процесс подачи крупнозернистой бетонной смеси. В таком случае коэффициент полезного действия равен

$$\eta_{\text{пневмуст}} = \frac{E_{\text{пол.}}}{E_{\text{затр.}}} = \frac{1/L(E_1 L_1 + E_2 L_2 + E_3 L_3)}{1/L(\sum E_i L_i - E_{\text{подс.}} L_{\text{патр.}})} \quad (1)$$

где $E_{\text{пол.}}$ — энергия, затрачиваемая на процесс взаимодействия мелкозернистой смеси, крупного наполнителя и сжатого воздуха; $E_{\text{затр.}}$ — общие затраты энергии на процесс транспортирования крупнозернистой бетонной смеси на длине магистрали L ; E_1 — энергия, затрачиваемая на подачу сжатого воздуха к пневмотранспортной уста-

новке (ПУ) от компрессорной установки (КУ); E_2 — энергия, затрачиваемая на транспортирование щебня в камеру смешивания (ПУ); E_3 — энергия, затрачиваемая на транспортирование мелкозернистой бетонной смеси от растворобетононасоса (РБН) до камеры смешивания; L_1, L_2, L_3 — соответствующие отрезки пути транспортирования; L — общая длина транспортной магистрали; $\sum E_i L_i$ — общая затрачиваемая энергия на транспортирование воздушно-бетонной крупнозернистой смеси:

$$\sum E_i L_i = [E_1 L_1 + (E_2 + E_{\text{тр.}}) L_2 + (E_4 + E_5 + E_6) L_4] + E_{\text{пит.}} L_4 \quad (2)$$

E_4 — энергия, затрачиваемая на транспортирование воздушно-бетонной крупнозернистой смеси; E_5 — энергия, затрачиваемая на преодоление сил внутреннего трения в смеси; E_6 — энергия, затрачиваемая на процесс перемешивания компонентов крупнозернистой бетонной смеси от камеры смешивания до рабочего сопла (выхода из гасителя); $E_{\text{пит.}}$ — энергия, затрачиваемая на работу питателя; L_4 — длина пути транспортирования крупнозернистой бетонной смеси от камеры смешивания до рабочего сопла; $E_{\text{подс.}}$ — энергия подсоса воздуха из окружающей среды в общую магистраль для транспортирования крупнозернистой бетонной смеси; $L_{\text{патр.}}$ — длина патрубка, через который осуществляется подсос воздуха; $\eta_{\text{прив.}}$ — КПД приводной части малогабаритного оборудования;

$$\eta_{\text{прив.}} = \eta_{\text{ку}} \cdot \eta_{\text{рбн}} \cdot \eta_{\text{пит.}} \quad (3)$$

$\eta_{\text{ку}}$ — КПД компрессорной установки; $\eta_{\text{рбн}}$ — КПД растворобетононасоса; $\eta_{\text{пит.}}$ — КПД питателя.

В каждом конкретном случае рассматриваются затраты энергии, приведенные к единице пути транспортирования.

Определение составляющих затрат энергии, представленных в числителе зависимости (1), осуществляется согласно нижеприведенным формулам:

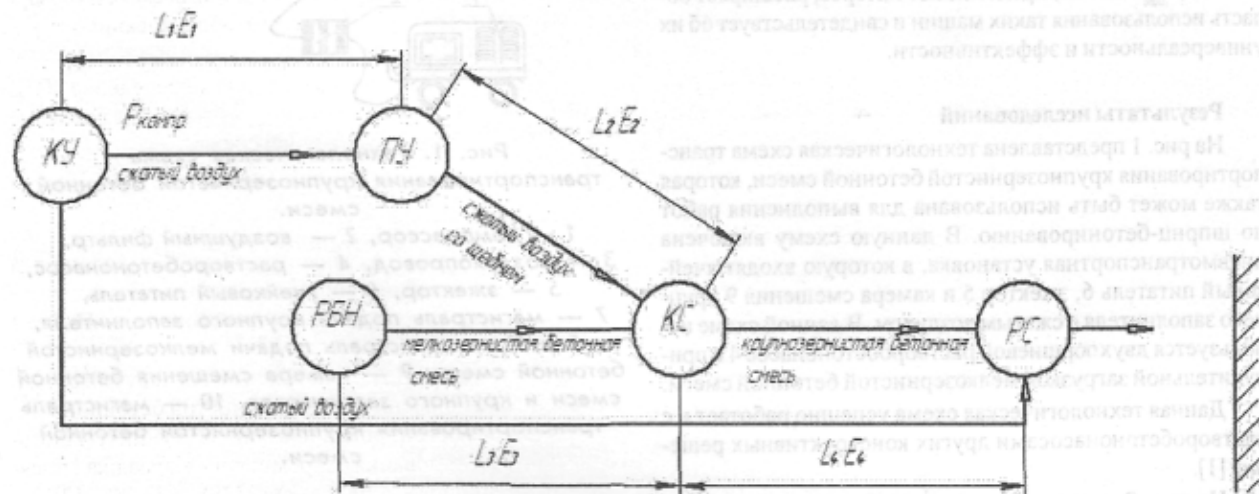


Рис. 2. Структурная схема выполнения торкрет работ (шприц-бетонирования) при использовании малогабаритного оборудования:

- КУ — передвижная компрессорная установка; ПУ — пневматическая установка;
- РБН — растворобетононасос; КС — камера смешивания; РС — рабочее сопло;
- L_1 — расстояние от компрессорной установки до эжектора; L_2 — расстояние от питателя до камеры смешивания; L_3 — расстояние от растворобетононасоса до камеры смешивания; L_4 — расстояние от камеры смешивания до рабочего торкрет-сопла.

$$E_1 = \left[\left(P_B + \frac{\rho v_B^2}{2} \right) v_B \left(S_B - \frac{\pi d^2}{2} \right) \right], \quad (4)$$

где P_B — давление воздуха в трубопроводе (L_1) перед поступлением в камеру смешивания; ρ — плотность воздуха при давлении P_B ; v_B — скорость воздуха в трубопроводе (L_1); S_B — площадь входного отверстия в камеру смешивания; d — диаметр частицы щебня, переносимого воздухом по трубопроводу в камеру смешивания;

$$E_2 = \frac{M_{щ}^* v_{щ}^2}{2} = \frac{M_{щ}^*}{2} \left[\frac{M_{щ}^* (z-2)}{\pi d^2 \rho_{щ}} \kappa_1 \right]^2, \quad (5)$$

где $M_{щ}^*$ — масса щебня, поступающая в камеру смешивания за 1 с; $M_{щ}^* (z-2)$ — масса щебня двух-трех частиц, поступающая в камеру смешивания за 1 с; $v_{щ}$ — скорость щебня в пневмотранспортной магистрали; $\rho_{щ}$ — средняя плотность щебня; κ_1 — коэффициент, корректирующий величину объема частиц щебня при отсутствии формы шара ($\kappa < 1$);

$$E_3 = \frac{M_{мбс}^* v_{мбс}^2}{2}, \quad (6)$$

где $M_{мбс}^*$ — масса мелкозернистой бетонной смеси, поступающей в камеру смешивания за 1 с; $v_{мбс}$ — скорость поступления мелкозернистой бетонной смеси в камеру смешивания;

$$E_4 = \frac{M_{сбс}^* v_{сбс}^2}{2} = \left[v_{сбс} \left(S_B - \frac{\pi d^2}{2} \right) + \frac{M_{сбс}^*}{\rho_{сбс}} \right] \cdot \left[v_B \left(S_{1мр} - \frac{\pi d^2}{2} \right) + \frac{M_{щ}^*}{\rho_{щ}} + \frac{M_{мбс}^*}{\rho_{мбс}} \right]^2 / 2, \quad (7)$$

где $M_{сбс}^*$ — масса воздушно-бетонной смеси, транспортируемой за 1 с; $M_{сбс}^*$ — масса крупнозернистой бетонной смеси, транспортируемой к рабочему соплу (гасителю) за 1 с; $\rho_{сбс}$ — средняя плотность крупнозернистой бетонной смеси; $\rho_{мбс}$ — средняя плотность мелкозернистой бетонной смеси; $S_{1мр}$ — площадь поперечного сечения участка трубопровода L_2 , по которому транспортируется крупнозернистая бетонная смесь; $v_{сбс}$ — средняя скорость движения смеси по трубопроводу;

$$E_5 = A = \int_0^R \int_0^{2\pi} \mu \cdot 2v_{ср} \cdot \frac{2r}{R^2} \cdot 2v_{ср} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) r dr d\varphi, \quad (8)$$

где r — текущая координата, отстоящая от оси трубопровода.

В конечном итоге

$$E_5 = \frac{2.133 \cdot \mu \cdot v_{ср} \cdot Q}{D_{1мр}}, \quad (9)$$

где μ — динамическая вязкость крупнозернистой бетонной смеси; $D_{1мр}$ — диаметр трубопровода на участке L_4 .

$$E_6 = \kappa_2 \frac{(M_{щ}^* + M_{сбс}^*) \cdot v_{ср}^2}{2}, \quad (10)$$

где κ_2 — коэффициент, учитывающий затраты энергии на процесс перемешивания мелкозернистой бетонной смеси с крупным заполнителем (щебнем); $E_{мш}$ — энергия, затрачиваемая на работу ячейкового питателя.

$$E_{мш} = \frac{M_{щ} v_{щ}^2}{2}, \quad (11)$$

где $M_{щ}$ — масса щебня, подаваемая ячейковым питателем; $v_{щ}$ — скорость подачи щебня питателем.

Согласно результатам проведенных экспериментальных исследований, затраты мощности на работу питателя составляют $\approx 3\%$ от общих энергозатрат на транспортирование крупнозернистой бетонной смеси.

Энергия дополнительного потока воздуха $E_{мдс}$, которая поступает через патрубок длиной $L_{мдс}$ из окружающей среды, как показали результаты теоретических и экспериментальных исследований, позволяет снизить затраты сжатого воздуха на работу пневматической установки в пределах 20% [3].

Таким образом, проанализированы поэтапно все затраты энергии малогабаритным оборудованием, работающего на крупнозернистых бетонных смесях, при использовании зависимости (1).

Эффективность работы малогабаритного оборудования с пневмотранспортной установкой также объясняется еще и тем, что в предлагаемой технологической схеме применен подсос воздуха из окружающей среды, что позволяет существенно снизить его расход на подачу крупнозернистой бетонной смеси (20–30%).

$$\eta_{мшмш,уст} \approx 0,2.$$

Выводы

1. Проведен анализ поэтапных затрат энергии на транспортирование крупнозернистых бетонных смесей усовершенствованным малогабаритным оборудованием в условиях строительной площадки.

2. Предложена зависимость для определения КПД пневмотранспортной установки, учитывающая явление подсоса воздуха из окружающей среды.

Литература

1. Емельянова, И.А. Малогабаритные обладнання для умов виконання торкрет-робіт і транспортування будівельних сумішей в умовах будівельного майданчика. — П: ФОП Рибалка Д.Л., 2009. — 84 с.
2. Емельянова, И.А., Задорожный, А.А., Гузенко, С.А. Особенности движения крупнозернистой бетонной смеси при шприц-бетонировании с использованием малогабаритного оборудования // Промислова гідравліка і пневматика. — Вінниця. — 2009. — № 2 (38). — С. 11–13.
3. Емельянова, И.А., Задорожный, А.А., Гузенко, С.А. К вопросу определения эффективности использования малогабаритного оборудования для работы на крупнозернистых бетонных смесях // Науковий вісник будівництва. — Харків: ХДТУБА. — Вип. 51. — С. 201–205.

Надійшла 28.09.2010 р.