

УДК 666.9.83

*И.А. Емельянова, д-р техн. наук, профессор ХГТУСА,
А.Н. Баранов, канд. техн. наук, доцент УИПА,
Д.В. Никонов, аспирант ХГТУСА*

ВЫЯВЛЕНИЕ УСЛОВИЙ УСРЕДНЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ЧАСТИЦ ВОЗДУШНО-БЕТОННОГО ПОТОКА ПРИ КОМПОЗИЦИОННОМ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ

Невозможность транспортирования растворобетона насосами и пневмонагнетателями малоподвижных строительных смесей на значительные расстояния привела к разработке способа композиционного транспортирования [1]. Применение композиционного транспортирования позволяет обеспечить подачу малоподвижных бетонных смесей на расстояния, которые традиционными методами транспортирования обеспечиваются только при перекачивании бетонных смесей повышенной подвижности.

Композиционный способ транспортирования предусматривает последовательное транспортирование смеси на первом этапе поршневым насосом, а на втором этапе - сжатым воздухом. Установка композиционного транспортирования включает в себя двухпоршневой насос, компрессорную установку, пневмокамеру (камеру смешения бетонной смеси с воздухом) и гаситель. В камеру смешения растворобетона насосом подается бетонная смесь, а от передвижной компрессорной установки поступает сжатый воздух. В камере происходит разрушение сплошного потока бетонной смеси и в дальнейшем уже наблюдается движение воздушно-бетонного потока, в котором смесь представлена отдельно летящими частицами. Во время транспортирования смеси потоком сжатого воздуха свободная вода диспергируется и в конце транспортирования частично удаляется вместе с воздухом из бетонной смеси в гасителе, конструкция которого позволяет регулировать количество удаляемой влаги [2]. Возможность удаления свободной воды при композиционном транспортировании позволяет снизить в конце транспортирования первоначальную влажность бетонной смеси и, соответственно, ее подвижность. Поэтому, заведомо зная, что в конце транспортирования по трубопроводу снижается подвижность бетонной смеси, появляется возможность увеличения дальности ее перекачивания насосом за счет повышения первоначального водоцементного отношения.

При пневмотранспорте рекомендуется 5% массовая концентрация воздуха в потоке, что соответствует 99% объемной концентрации при нормальных условиях. Объемная концентрация воздуха будет меняться в процессе транспортирования в зависимости от давления в пределах 92,5-99%. Поэтому воздушно-бетонный поток в трубопроводе моделируется как движущаяся сплошная среда, в которой происходит случайное столкновение шарообразных дискретных частиц различного диаметра. Осредненная скорость воздуха (сплошной среды) в трубопроводе в различных участках меняется в пределах 30-45 м/с. Скорости витания частиц не превышают 10 м/с. Учитывая вышеуказанный диапазон скоростей несущей среды, продольная составляющая скорости частиц в трубопроводе будет не менее 20 м/с.

Частицы бетонной смеси в зависимости от их диаметра осуществляют движение по различным законам. Так, в результате взаимодействия в камере смешения бетонной смеси с воздухом [3], каждая частица приобретает скорость, отличающуюся от скорости воздуха на величину скорости витания. Разница скоростей частиц в воздушно-бетонном потоке на выходе из камеры смешения равна разнице скоростей их витания. При движении воздушно-бетонного потока по трубопроводу в результате соударения частиц различного диаметра скорости частиц выравниваются и на некотором расстоянии от камеры смешения движение воздушно-бетонного потока переходит в автомобильный режим. Таким образом, расслоения бетонной смеси в результате композиционного транспортирования наблюдаться не будет.

Механизм выравнивания скоростей частиц смеси заключается в том, что в процессе их движения по трубопроводу и взаимодействия происходит передача кинетической энергии от

частиц, летящих с большей скоростью, частицам, движущимся с меньшей скоростью. Осредненная скорость движения воздушно-бетонного потока в 4-50 раз превышает скорости витания частиц различного диаметра. В таком случае, можно утверждать, что в результате удара частиц их продольная составляющая не будет менять направления, а по величине будет приближаться к осредненной скорости. Кроме того, в воздушно-бетонном потоке при контакте частиц растворной составляющей с частицами крупного заполнителя практически не наблюдается упругий удар.

Вероятность удара ($P_{1,2}$) частицы диаметром d_1 , движущейся со скоростью V_1 , о частицу диаметром d_2 , движущейся со скоростью V_2 , равна вероятности появления второй частицы на пути следования первой. При этом, $V_1 > V_2$. Вероятность появления второй частицы равна отношению ее площади поперечного сечения к площади поперечного сечения трубопровода. Задаваясь вероятностью удара частицы диаметром d_1 о частицу диаметром d_2 на уровне $P_{1,2}=0,95$, можно рассчитать необходимое количество частиц (n_2) диаметром d_2 на пути следования частицы диаметром d_1 по формуле:

$$n_2 = \frac{\ln(1 - P_{1,2})}{\ln\left(1 - \frac{d_2^2}{D_{тр}^2}\right)}; \quad n_2 = \frac{\ln 0,05}{\ln\left(1 - \frac{d_2^2}{D_{тр}^2}\right)},$$

где $D_{тр}$ - диаметр трубопровода.

Зная фракционный состав бетонной смеси, можно найти объем, в котором находится n_2 частиц диаметром d_2 . Объем воздушно-бетонного потока в $(C \cdot \rho_{б.с.} / \rho_{возд.})$ раз больше, чем объем бетонной смеси ($\rho_{б.с.}$ и $\rho_{возд.}$ плотности бетонной смеси и воздуха, C - массовая концентрация воздуха в воздушно-бетонном потоке). По объему воздушно-бетонного потока (при заданном диаметре известна длина трубопровода) и разнице скоростей частиц находится время, через которое с вероятностью P произойдет соударение частицы диаметром d_1 о частицу диаметром d_2 . Средняя скорость движения воздушно-бетонного потока и найденное время определяют длину участка трубопровода, на котором 100P% частиц диаметром d_1 приобретут скорость одинаковую с частицами диаметром d_2 . Если поставить задачу об определении длины участка трубопровода, на котором все частицы бетонной смеси приобретут одинаковую скорость, то в качестве d_2 необходимо выбрать максимальный диаметр крупного заполнителя. Тогда формула для определения длины участка трубопровода (L), на котором с вероятностью P произойдет усреднение скорости всех частиц бетонной смеси, приобретет вид:

$$L = \frac{0,4 \cdot G_{б.с.} \cdot \left(1 + \frac{C \cdot \rho_{б.с.}}{\rho_{возд.}}\right) \cdot d_{\max}^3 \cdot \rho_{кр.з.} \cdot \rho_{б.с.}}{3 \cdot \pi \cdot D_{тр}^4 \cdot V_{вит} \cdot \rho_{возд.} \cdot m_{кр.зап.}} \cdot \frac{\ln(1 - P)}{\ln\left(1 - \frac{d_{\max}^2}{D_{тр}^2}\right)} \quad (1)$$

где $G_{б.с.}$ - производительность установки, м³/с; C - массовая концентрация воздуха в воздушно-бетонном потоке; $\rho_{б.с.}$ - плотность бетонной смеси, кг/м³; $\rho_{кр.з.}$ - плотность крупного заполнителя, кг/м³; $\rho_{возд.}$ - плотность воздуха в пневмокамере, кг/м³; d_{\max} - максимальный диаметр крупного заполнителя, м; $V_{вит}$ - скорость витания частиц крупного заполнителя максимального диаметра, м/с; $m_{кр.зап.}$ - масса крупного заполнителя максимального диаметра в 1 кубическом метре бетонной смеси, кг/м³; P - вероятность усреднения.

При заданных значениях:

$G_{б.с.} = 0,0012 \text{ м}^3/\text{с}$; $C = 0,05$; $\rho_{б.с.} = 2100 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\rho_{кр.з.} = 2400 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\rho_{возд.} = 5,16 \text{ кг}/\text{м}^3$ (при давлении в пневмокамере 0,4 МПа); $d_{\max} = 0,01 \text{ м}$; $V_{вит} = 10 \text{ м}/\text{с}$; $m_{кр.зап.} = 120 \text{ кг}/\text{м}^3$; $D_{тр} = 0,05 \text{ м}$ с вероятностью 0,95 можно утверждать, что движение воздушно-бетонного потока на расстоянии 11,3 м от пневмокамеры перейдет в автомобильный режим, а на расстоянии 17,3 это утверждение имеет вероятность выше 0,99.

Разработанная модель усреднения скоростей частиц воздушно-бетонного потока в трубопроводе совместно с моделями [1-3] изменения влагосодержания бетонной смеси в гасителе, движения бетонной смеси и взаимодействия потоков бетонной смеси и сжатого воздуха позволяет определить влияние конструктивных параметров оборудования композиционного транспортирования строительных смесей на процесс транспортирования бетонных смесей. Для конкретных условий производства комплекс моделей обеспечивает выбор оптимальных параметров оборудования.

Список литературы

1. Емельянова И.А., Баранов А.Н., Задорожный А.А., Никонов Д.В., Лихолёт М.А. Изучение возможностей двухпоршневых прямооточных растворобетонасосов для транспортирования бетонных смесей // Научный вісник будівництва. - Харків: Харківське обл. територ. відділ. Академії буд. України. - 1999. - Вып. № 8. - С. 149-154.
2. Емельянова И.А., Баранов А.Н., Никонов Д.В. Особенности композиционного транспортирования строительных смесей // Вестник ХГАДТУ. - Харьков: Транспорт. Академия Украины. ХГАДТУ. - 2000. - Вып. №12-13. - С. 131-135.
3. Емельянова И.А., Баранов А.Н., Никонов Д.В. Теоретические основы взаимодействия потоков бетонной смеси и сжатого воздуха при композиционном транспортировании // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). - Полтава: ПДТУ - 2000. - Вып. № 6, ч.1. - С. 34-37.

УДК 539.3:537

Ю.В. Човнюк, канд. техн. наук, профессор Высшей школы экономики и деловой администрации "АЖИО-КОЛЛЕДЖ"

ИНФОРМАЦИОННЫЙ И СПЕКТРАЛЬНЫЙ (ФУРЬЕ) АНАЛИЗЫ УДАРНО-ВИБРАЦИОННО-ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ, ПОЛЕЙ, ТЕХНОЛОГИЙ В МОДЕЛИРОВАНИИ, ДИАГНОСТИКЕ СОСТОЯНИЯ, АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ (ЭРГАТИЧЕСКИХ) СИСТЕМ. ЧАСТЬ I.

Целью настоящей работы является разработка:

– подходов, основанных на методах современного информационного и спектрального (Фурье) анализов, которые позволяют систематизировать и эффективно (с достаточно высокой степенью точности и наглядности) изучить ударно-вибрационно-волновые процессы, поля, технологии, широко используемые в современных строительных машинах, эргатических системах, строительной индустрии;

– критериев адаптивного управления и автоматизации проектирования объектов исследования, основанных на единстве информационных энергетических и материальных потоков, циркулирующих в рассматриваемых системах, влияющих на их динамику и определяющих их моментное состояние (решение задач диагностики, прогнозирования надежности и ресурса строительных машин).

Современное строительное производство, технологии, сложные строительные человеко-машинные комплексы (называемые эргатическими) характеризуются наличием чрезвычайно большого разнообразия в подходах, оценке, диагностике, методах автоматизации управления, проектирования, моделирования, взаимодействия рабочих органов с обрабатываемой средой, человека-оператора с машинным агрегатом. Повышение эффективности функционирования указанных систем с точки зрения энерго-мощностных и экономических критериев (показателей) требует применения самых современных технологий строительного производства. К таковым