УДК 693.546.2

© С. Г. Османов, канд. техн. наук, доцент
(Донской государственный технический
университет)
E-mail: osmanov.tsp@yandex.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-2-128-134

© S. G. Osmanov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Don State Technical University)
E-mail: osmanov.tsp@yandex.ru

ЭФФЕКТИВНЫЕ РЕЖИМЫ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ ИНЕРЦИОННЫМ КОНВЕЙЕРОМ

EFFECTIVE REGIMES OF CONCRETE MIX TRANSPORTATION WITH INERTIA CONVEYOR

Показана практическая целесообразность, описана и обоснована методика выполненного теоретико-экспериментального исследования эффективности режимов процесса транспортирования готовой к употреблению бетонной смеси по авторской технологии инерционными конвейерами при бетонировании строительных конструкций. Приведены установленные закономерности влияния удобоукладываемости бетонной смеси на плотных заполнителях и угла наклона к горизонту рабочего органа конвейера на эффективную частоту его асимметричных колебаний при заданной их амплитуде и асимметрии формы. Даны рекомендации по применению полученных результатов, позволяющие не только интенсифицировать рассмотренный технологический процесс, но и обеспечить рациональное расходование энергии колебаний при его осуществлении.

Ключевые слова: бетонная смесь, инерционный конвейер, асимметричные колебания, частота, амплитуда, удобоукладываемость бетонной смеси, скорость транспортирования.

The article considers practical expediency and methodology of the theoretical and experimental research of the efficiency of ready-mix concrete transportation process regimes based on the technology with inertia conveyors offered by the author at concreting building structures. There is established dependency of the concrete mix workability on dense aggregates and the angle of inclination to the horizon of the conveyor working body on the effective frequency of its asymmetric oscillations at a given amplitude and shape asymmetry. Recommendations are given to the usage of the obtained results, allowing not only to intensify the analyzed the engineering process but also to provide at its implementation the vibratory energy conservation.

Keywords: concrete mix, inertia conveyor, asymmetric oscillations, frequency, amplitude, concrete workability, transportation speed.

Внутрипостроечное транспортирование готовой к употреблению бетонной смеси и, в частности, ее подача к месту укладки, как неоднократно отмечалось рядом исследователей [1–3], — одна из наиболее ресурсозатратных составляющих комплексного технологического процесса бетонирования строительных конструкций. Применение вибрационных конвейеров в качестве средств такого транспортирования, в том числе в комплексе с грузоподъемными кранами, в ряде случаев, например при устройстве фундаментов [4], возведении гидротехнических сооружений [5], а также производстве бетонных работ внутри строящихся и реконструируемых зданий [6], позволяет достичь суще-

ственной экономии материально-технических, трудовых и энергетических ресурсов в сравнении с прочими возможными вариантами механизации.

Рабочим органом таких конвейеров является колеблющийся (как правило, стальной) желоб, благодаря чему может быть обеспечена значительная толщина транспортируемого ими слоя смеси и, как следствие, их высокая производительность. При этом, поскольку силы инерции бетонной смеси являются единственными из приводящих ее в движение (движущих) сил, наличествующих при любых углах наклона желоба к горизонту (α), вибрационные конвейеры следует [7] считать разновидностью инерционных,

общие преимущества которых — простота конструкции и технического обслуживания, низкая материалоемкость и высокая надежность в эксплуатации [8].

Однако даже наиболее успешные типовые модификации таких устройств (так называемые «виброжелоба», например конструкции ЦНИИОМТП), оснащенные вибраторами круговых гармонических колебаний с амплитудой A и частотой f , соответственно составляющими 0,2...0,6 мм и 2800 мин⁻¹, тем не менее не находят широкого применения на практике, так как имеют значительные ограничения, в том числе как по показателям удобоукладываемости смеси, транспортируемой с обеспечением необходимого темпа бетонирования при тех или иных заданных значениях α , так и по дальности такого транспортирования в связи с существующим требованием прокладки конвейерных трасс с уклоном вниз при $\alpha \geq +5^\circ$ [9].

Предложенная и запатентованная автором технология подачи бетонной смеси к месту укладки [10] делает возможным транспортирование смесей любых марок по осадке конуса ОК и жесткости Ж (по ГОСТ 7473–2010) с нормативной и большей производительностью инерционного конвейера не только при наклоне желоба вниз, но также по горизонтали (т. е. при $\alpha = 0^\circ$) и при некотором его наклоне вверх (например, для смесей с ОК = 15 см — до -10°). Это, в свою очередь, позволяет подавать смесь на значительно большие, чем ранее, расстояния при меньших затратах труда и материально-технических ресурсов на прокладку и обслуживание конвейерных трасс, тем самым расширяя спектр условий возможного эффективного применения инерционных конвейеров при бетонировании конструкций [11]. Достигнутая при этом интенсификация процесса транспортирования обусловлена, главным образом, осуществлением его в режимах низкочастотных продольных асимметричных колебаний с высокой амплитудой, которые разделяются кратковременными паузами и реализуются благодаря наличию кулачкового механизма в составе приводного блока конвейерной установки. Энергия таких колебаний расходуется преимущественно не на псевдооживление смеси, как ранее [12, 13], а на ее смещение по желобу в сторону выгрузки, что в концептуальном плане

явилось главной особенностью предложенного подхода.

К управляющим параметрам процесса инерционно-конвейерного транспортирования, т. е. к тем, от которых в основном зависит его скорость $\bar{v}$, в таком случае, помимо A и f , следует отнести в том числе и ряд безразмерных величин m_i , определяющих характер асимметрии колебаний желоба и определяемых отношениями фазовых углов $\varphi_{\Pi 01}$, $\varphi_{\Pi 02}$, $\varphi_{\Pi 2}$, φ_{B1} , φ_{B2} и $\varphi_{СП}$, заданных на профиле кулачка и устанавливающих для каждого из шести основных участков представленных кинематических диаграмм (рис. 1) соответствующую долю периода колебаний:

$$m_{СП} = \frac{\varphi_{СП}}{\varphi_{\Pi}}, \quad m_{\Pi} = \frac{\varphi_{\Pi}}{\varphi_{В}},$$

$$m_{\Pi} = \frac{\varphi_{\Pi 1}}{\varphi_{\Pi 2}}, \quad m_{В} = \frac{\varphi_{В 1}}{\varphi_{В 2}}, \quad m_{\Pi 1} = \frac{\varphi_{\Pi 01}}{\varphi_{\Pi 02}}. \quad (1)$$

Исследования показали, что изменение каждого из указанных управляющих параметров в направлении увеличения сил инерции смеси и, как следствие, динамических нагрузок на конструкцию конвейера приводит сначала к росту, а затем к стабилизации и уменьшению скорости транспортирования, причем происходит это с темпами, зависящими от заданных ОК (Ж) и α . В связи с этим для ряда сочетаний последних было бы весьма важно установить наиболее выгодные (эффективные) значения управляющих параметров, после достижения которых дальнейший рост $\bar{v}$ (в отличие от обозначенных нагрузок) если не отсутствовал вовсе, то был бы, по крайней мере, малозначимым. На практике это позволило бы обеспечивать не только высокие технико-экономические показатели процесса транспортирования смеси, но и наибольшую его энергоэффективность.

Данная задача была решена автором в два этапа. На первом — в отношении параметров асимметричности, описываемых выражениями (1): оптимизация проводилась последовательно, в «щадящем» частотном режиме, в порядке увеличения вклада каждого из них в формирование основных движущих сил. И так как ранее было установлено, что использование рациональных сочетаний значений m_i позволяет реализовать как бы «скрытые» резервы повышения $\bar{v}$ [14], т. е. без значимого увеличения энергопотребле-

Рис. 1. Характер асимметрии диаграмм перемещения S , аналогов скорости U и ускорения W желоба при его колебаниях по предложенной форме (φ — обобщенная координата, отождествляемая с текущим значением угла поворота кулачка)

ния конвейерной установки (!), этим удалось обеспечить возможность существования и в последующем выявления на втором этапе меньших (в среднем на 10 %) эффективных значений A и f , соответствующих меньшим удельным энергозатратам на транспортирование смеси, чем в случае решения поставленной оптимизационной задачи в обратной последовательности. Любопытно заметить, что наиболее выгодные значения m_i в последнем случае так и остались бы невыявленными, так как уже на этапе исследования частотного диапазона желобом были бы достигнуты критические ускорения $\ddot{a}_{\Pi 1, \max}$, при превышении которых наблюдалась бы неэффективность роста инерционных сил, в том числе из-за нарушения относительной равномерности и устойчивости движения смеси в сторону выгрузки непрерывным потоком.

В экспериментах по выявлению эффективных частотных режимов транспортирования и границ соответствующего амплитудного диапазона использовались бетонные смеси того же, что и ранее, состава — 1 : 2,25 : 3,25 на портландцементе ЦЕМ I 42,5Н (ЗАО «Осколцемент»), гранитном щебне крупностью 5...20 мм (ОАО «Павловскгранит») и кварцевом песке из р. Дон с модулем крупности 2,1; разброс значений В/Ц в испытывавшихся подвижных ($OK = 1...25$ см) и жестких ($Ж = 20...100$ с) смесях в сумме со-

ставлял 0,35...0,74. При этом смесь с текущей удобоукладываемостью, назначавшейся с шагом 5 см (20 с), подвергалась транспортированию на экспериментальном инерционном конвейере с полипропиленовым желобом длиной 3 м при установленных ранее соответствующих эффективных значениях m_i и заданной амплитуде колебаний (25, 35, 55 и 85 мм), одновременно с чем для дальнейшего определения скорости транспортирования последовательно при каждом опытным значении α (+10, +5, 0, -5, -10 и -15°) проводилась серия фиксаций выходной информации, выполнявшихся с шагом $\Delta f = 15$ мин⁻¹, который контролировался тахометром часового типа СК-Т2. Диаметр днища желоба составлял 150 мм, высота его вертикальных бортов — 50 мм, а максимальная толщина транспортируемого слоя смеси — 10 см.

Фиксировавшаяся информация, помимо прочего, включала сведения о времени прохождения помещенной на поверхность движущейся смеси меченой частицей (покрытым светоотражающей эмалью пенополистирольным шариком диаметром 10 мм) расстояния (50 см) между двумя срабатывающими на рассеянное отражение фотоэлектрическими датчиками Omron серии ЕЗТ, установленными над желобом и подключенными к совместимому с ПК цифровому осциллографу GDS-71022 GW Instek, работавшему в режиме

самописца. Конкретные же значения $\bar{v}$ определялись путем обработки соответствующих файлов осциллограмм.

В качестве критерия эффективности частотных режимов принималось достижение максимума Ψ — коэффициента передачи скорости от желоба (V) бетонной смеси:

$$\Psi \rightarrow \Psi_{\max} = \max \left(\frac{\bar{v}}{V_{\max}} \right) = \max \left(\frac{\bar{v}}{2\pi f U_{\max}} \right), \quad (2)$$

что свидетельствовало об одинаковости темпов роста скорости транспортирования (уменьшающегося) и частоты колебаний (постоянного), а также превышении первого вторым при $\Psi > \Psi_{\max}$. Поэтому дальнейшее увеличение последней приводило бы не столько к интенсификации исследуемого технологического процесса, сколько к интенсивному наращиванию сил инерции в конструкции конвейерной установки и возникновению вследствие этого весьма высоких динамических нагрузок на нее, в связи с чем являлось бы нецелесообразным, а соответствующий рост $\bar{v}$ — не только малозначимым, но и неэффективным.

В ходе фильтрации результатов экспериментов по условию (2) значения $U_{\max}$ вычислялись по полученному автором ранее уравнению кусочной функции $U(\varphi)$ на участке $[\varphi_3; \varphi_4]$, причем с целью контроля замкнутости высшей кинематической пары и, как следствие, соблюдения принятого модифицированного (с учетом представленного выше характера асимметрии) синусоидального закона движения желоба результаты вычислений коэффициента Ψ проверялись по величине соответствующих фактических значений $V_{\max}$, определявшихся путем пересчета по заранее заготовленной шкале зафиксированных на осциллограммах пиков напряжения постоянного тока, вырабатывавшегося подключенным к желобу универсальным преобразующим датчиком (тахогенератором).

На основе множества экспериментально полученных «рабочих» графиков, отображающих зависимость $\bar{v}(f)$ в исследованном спектре условий, были сформированы «целевые» графики, показывающие, как эффективная частота (f_{Ψ}) зависит от назначаемой амплитуды колебаний. Примеры первых представлены на рис. 2 (звездчатыми маркерами обозначено достижение $\Psi_{\max}$), вторых — на рис. 3. Любопытно, что общий диа-

пазон значений f_{Ψ} как для подвижных смесей, так и для жестких оказался примерно одинаковым и составил 90...255 мин⁻¹.

Внимательный покadroвый анализ материалов выполнявшейся в ходе исследования скоростной видеосъемки движущейся в желобе смеси позволил утверждать, что упоминавшиеся ранее его критические ускорения (как раз таки ввиду наличия сопровождающих их превышение неблагоприятных структурных явлений в ее потоке) можно отождествлять с имеющими место при соблюдении условия (2). Последние же удалось установить путем математической обработки данных, полученных по результатам экспериментов. При этом особый интерес вызывает то, что найденные значения $\bar{a}_{\Pi, \max}$ (см. таблицу) являются константными по отношению к рассматриваемым управляющим параметрам и потому, по сути, дополняют известные представления о технологических свойствах смесей тяжелого бетона.

Как впоследствии оказалось, представленные выше ускорения могут быть использованы для вычисления эффективной частоты колебаний желоба при любой изначально заданной их амплитуде по аналитически полученной автором формуле следующего вида:

$$f_{\Psi} = 0,5\pi^{-1,5} \left(\Phi_{\text{opt}} A^{-1} \bar{a}_{\Pi, \max} \right)^{0,5}, \quad (3)$$

где Φ_{opt} — оптимальное для данных α и ОК (Ж) значение обобщенного параметра асимметричности:

$$\begin{aligned} \Phi = & 39,44 \left(1 - m_{\text{СП}} (1 + m_{\text{СП}})^{-1} \right)^2 \times \\ & \times \left(m_{\Pi}^{-2} (3,27 m_{\Pi} + 1,27) + \right. \\ & \left. + 0,73 m_{\Pi} + 1,36 + (1 + m_{\Pi}^{-1}) (1 + m_{\Pi}^{-1})^2 (1 + m_{\Pi}) \right) \times \\ & \times \left(\left((1 + m_{\Pi}^{-1}) (1 + m_{\Pi}^{-1}) (1 + m_{\Pi}^{-1}) \right)^2 \times \right)^{-1} \times \\ & \times (1 + m_{\Pi}) (1 + m_{\Pi}), \end{aligned} \quad (4)$$

которое должно находить лишь путем подстановки в выражение (4) эффективных значений частных параметров m , соответствующих рассматриваемым производственным условиям. Сходимость результатов вычислений по выражению (3) с данными экспериментов (рис. 3) составляет около 95 %.

Рис. 2. Зависимость скорости транспортирования смесей с ОК = 15 см (а) и Ж = 60 с (б) от частоты колебаний желоба при $A = 55$ мм и α , равном $+10$ (1), $+5$ (2), 0 (3), -5 (4), -10 (5) и -15° (6)

Устойчивое (см. примеч. к таблице) транспортирование бетонной смеси согласно принятому автором допущению характеризуется достижением $\bar{v} \geq 3,5$ см/с, что является тем минимумом, который, в принципе, может представлять практический интерес при проектировании процесса бетонирования конструкций. Соответствующий указанному значению $\bar{v}$ максимальный наклон желоба вверх существенно зависит от амплитуды его колебаний и при эффективных значениях прочих управляющих параметров, как было установлено, достигает -20° в случае транспортирования жестких смесей, причем практически

независимо от Ж, и -15° в случае транспортирования подвижных, обнаруживая противоположную по аналогии тенденцию. При этом выявленные по критерию, в сущности, схожему с представленным ранее, нижняя и верхняя границы амплитудного диапазона, в пределах которого наблюдается интенсивный рост $\bar{v}_{\text{opt}}$ — скорости транспортирования, соответствующей полученным ранее эффективным значениям m_i и f , соответственно составили 25 и 95 мм.

Если же в целом оценивать результаты выполненного исследования, то следует отметить, что инерционно-конвейерное транспортирова-

Рис. 3. Зависимость эффективной частоты колебаний желоба от их амплитуды при горизонтальном транспортировании: а — подвижных смесей с ОК, равной 1 (1), 5 (2), 10 (3), 15 (4), 20 (5) и 25 см (6); б — жестких смесей с Ж, равной 20 (1), 40 (2), 60 (3), 80 (4) и 100 с (5)

Условия эффективного транспортирования подвижных и жестких бетонных смесей

Угол наклона желоба α , град	Критическое ускорение желоба $\ddot{a}_{\text{пл, max}}$, м/с ² , при показателях удобоукладываемости бетонной смеси										
	Осадка конуса ОК, см						Жесткость Ж, с				
	1	5	10	15	20	25	20	40	60	80	100
+10	19,28	16,71	14,42	12,29	10,61	8,86	26,14	24,65	23,30	22,58	22,26
+5	16,72	14,58	12,64	10,77	9,15	7,64	22,70	21,17	20,08	19,28	18,83
0	14,09	12,08	10,38	8,90	7,44	6,14	18,99	17,76	16,66	15,75	15,26
–5	11,30	9,41	7,52	6,00	4,82	3,71	15,77	14,42	13,55	12,73	12,18
–10	8,54	6,94	5,30	4,09	—	—	12,89	11,74	10,93	10,25	9,75
–15	6,37	5,06	—	—	—	—	10,41	9,44	8,69	8,07	7,59

Примечание. Знаком «—» обозначена невозможность устойчивого транспортирования смеси инерционным конвейером.

ние бетонных смесей в установленных режимах происходит со скоростями в среднем до 2–6 раз большими, чем при использовании различных вибрационных конвейеров. Ровно настолько же при этом ниже и производительность последних по сравнению с инерционными, изготовленными по авторскому патенту. Данные обстоятельства с учетом доказанного [15] отсутствия негативного влияния предложенной технологии на физико-механические свойства бетона в конструкциях позволяют рекомендовать ее к применению в строительном производстве.

Библиографический список

1. Лысов В. П. Формирование ресурсосберегающих технологических процессов возведения конструкций из монолитного бетона: дис. ... д-ра техн. наук. Минск, 1984. 364 с.
2. Жадановский Б. В. Повышение технического уровня производства бетонных работ // Механизация строительства. 2003. № 11. С. 21–25.
3. Османов С. Г. Внутривозвращающие транспортные процессы при бетонировании конструкций // Известия Ростовского государственного строительного университета. 2011. № 15. С. 368–369.
4. Розенбойм Л. С. Малая механизация бетонных работ. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1984. 85 с.
5. Непорожний П. С. Возведение крупных бетонных и железобетонных гидротехнических сооружений (основы рациональной технологии). Киев: Госстройиздат УССР, 1958. 702 с.
6. Афанасьев А. А. Возведение зданий и сооружений из монолитного железобетона. М.: Стройиздат, 1990. 380 с.
7. Зенков Р. Л., Ивашков И. И., Колобов Л. Н. Машины непрерывного транспорта. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1987. 432 с.
8. Спиваковский А. О., Дьячков В. К. Транспортирующие машины. 3-е изд., перераб. М.: Машиностроение, 1983. 487 с.
9. Савалов И. Г., Могилевский Я. Г. Механизация бетонных работ при возведении монолитных конструкций. М.: Стройиздат, 1977. 152 с.
10. Патент РФ № 2012107056/03, 10.08.2013. Османов С. Г., Жолобов А. Л. Способ транспортирования бетонной смеси и устройство для его осуществления // Патент России № 2489556 РФ. 2012. Бюл. № 22.
11. Османов С. Г. Предложения по совершенствованию технологии бетонирования монолитных столбчатых фундаментов // Научное обозрение. 2014. № 10, ч. 2. С. 370–374.
12. Савалов И. Г., Шендерович И. А. О вибрационном транспорте бетонных смесей // Бетон и железобетон. 1967. № 5. С. 19–21.
13. Лишанский Б. А., Михайлов Н. В. Структурно-механические свойства бетонных смесей при вибро-транспортировании // Бетон и железобетон. 1970. № 3. С. 35–37.
14. Османов С. Г. Анализ параметров асимметричности движения рабочего органа усовершенствованного инерционного конвейера для транспортирования бетонной смеси // Перспективы развития строительного комплекса: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. Астрахань: АИСИ, 2012. Т. 2. С. 3–9.
15. Osmanov S. G. Influence of concrete mix transportation with inertia conveyor on concrete properties // Solid State Phenomena. 2017. Vol. 265. Pp. 97–102.

References

1. Lysov V. P. *Formirovanie resursosberegayushchikh tekhnologicheskikh protsessov vozvedeniya konstruktsiy iz monolitnogo betona*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Formation

of resource-saving technological processes of building designs from monolithic concrete. Dr. Sci. Tech. diss.]. Minsk, 1984, 364 p.

2. Zhadanovskiy B. V. *Povyshenie tekhnicheskogo urovnya proizvodstva betonnykh rabot* [Increasing the technological level of concrete work production]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva – Construction Mechanization*, 2003, no. 11, pp. 21–25.

3. Osmanov S. G. *Vnutripostroechnye transportnye protsessy pri betonirovanii konstruktsiy* [Transport processes within the construction limits at concreting designs]. *Izvestiya Rostovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta – Bulletin of the Rostov State Construction University*, 2011, no. 15, pp. 368–369.

4. Rozenboym L. S. *Malaya mekhanizatsiya betonnykh rabot* [Small-scale mechanization of concrete works]. 2-nd ed., revised and added. Moscow, Stroyizdat Publ., 1984, 85 p.

5. Neporozhniy P. S. *Vozvedenie krupnykh betonnykh i zhelezobetonnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy (osnovy ratsional'noy tekhnologii)* [Construction of large concrete and reinforced concrete hydraulic engineering structures (basics of rational technology)]. Kiev, Gosstroyizdat USSR Publ., 1958, 702 p.

6. Afanas'ev A. A. *Vozvedenie zdaniy i sooruzheniy iz monolitnogo zhelezobetona* [Construction of buildings and structures from monolithic reinforced concrete]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1990, 380 p.

7. Zenkov R. L., Ivashkov I. I., Kolobov L. N. *Mashiny nepreryvnogo transporta* [Vehicles of continuous transport]. 2-nd ed., revised and added. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987, 432 p.

8. Spivakovskiy A. O., D'yachkov V. K. *Transportiruyushchie mashiny* [Transporting machines]. 3-rd. ed., revised. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983, 487 p.

9. Sovalov I. G., Mogilevskiy Ya. G. *Mekhanizatsiya betonnykh rabot pri vozvedenii monolitnykh konstruktsiy*

[Mechanization of concrete works at construction of monolithic designs]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1977, 152 p.

10. Osmanov S. G., Zholobov A. L. *Sposob transportirovaniya betonnoy smesi i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Technique of transporting concrete mix and the its implementation]. Patent RF, no. 2489556, Bull. no. 22, 2012.

11. Osmanov S. G. *Predlozheniya po sovershenstvovaniyu tekhnologii betonirovaniya monolitnykh stolbchatykh fundamentov* [Suggestions for improving the technology of concreting of the monolithic column bases]. *Nauchnoe obozrenie – Scientific Review*, 2014, no. 10, pt. 2, pp. 370–374.

12. Sovalov I. G., Shenderovich I. A. *O vibratsionnom transporte betonnykh smesey* [About vibration transport for transporting concrete mixes]. *Beton i zhelezobeton – Concrete and Reinforced Concrete*, 1967, no. 5, pp. 19–21.

13. Lishanskiy B. A., Mikhaylov N. V. *Strukturno-mekhanicheskie svoystva betonnykh smesey pri vibrotransportirovanii* [Structural and mechanical properties of concrete mixes at vibration transportation]. *Beton i zhelezobeton – Concrete and Reinforced Concrete*, 1970, no. 3, pp. 35–37.

14. Osmanov S. G. *Analiz parametrov asimmetrichnosti dvizheniya rabocheho organa usovershenstvovannogo inertsiionnogo konveyera dlya transportirovaniya betonnoy smesi* [Analysis of parameters of asymmetry of the movement of working body of the advanced inertial conveyor for concrete mix transportation]. *Trudy VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Perspektivy razvitiya stroitel'nogo kompleksa»* [Proc. of the VI Int. sci.-pract. conf. "Prospect of development of construction complex"]. Astrakhan, AISI Publ., 2012, vol. 2, pp. 3–9.

15. Osmanov S. G. *Influence of concrete mix transportation with inertia conveyor on concrete properties*. *Solid State Phenomena*, 2017, vol. 265, pp. 97–102.