

Производительность поршневого бетононасоса

A productivity of reciprocating concrete pump

к.т.н. доцент Комаринский Михаил Викторович

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

komarin@cef.spbstu.ru

Санкт-Петербург

Российская Федерация

Ph. D., Associate Professor Mikhail Viktorovich Komarinskiy

Saint-Petersburg State Polytechnical University

komarin@cef.spbstu.ru

Saint-Petersburg

Russian Federation

Ключевые слова: перекачка бетонной смеси, бетон, бетононасос, производительность.

В статье рассмотрен вопрос определения производительности поршневых бетононасосов. Даны рекомендации по учету степени заполнения транспортных цилиндров поршневых бетононасосов в зависимости от пластичных свойств бетонных смесей.

Key words: concrete mix, concrete, concrete pump, productivity.

The question of determination of piston concrete pumps' productivity is considered in this article. Furthermore, recommendations about the accounting of transport cylinders' filling extent of piston concrete pumps depending on plastic properties of concrete mixes are given.

Правильное определение эксплуатационной производительности бетононасосной техники, особенно на этапе проектирования, дает более точные сроки продолжительности и экономическую оценку работ. Особенно это важно при строительстве уникальных высотных и большепролетных зданий и сооружений [9], где использование такой техники нашло неоспоримую область применения.

Поршневой бетононасос с гидравлическим приводом

Среди современных бетононасосов наибольшую популярность завоевали поршневые бетононасосы с гидравлическим приводом [2, 15, 16].

Рассмотрим работу поршневого бетононасоса с гидравлическим приводом [13].

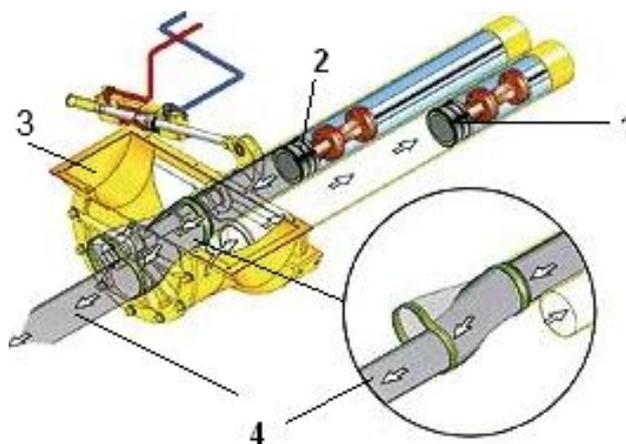


Рис.1. Схема поршневого гидропривода. Такт всасывания и нагнетания смеси
1, 2- поршни транспортного цилиндра; 3- приемный бункер бетононасоса; 4- бетоновод;

На рисунке 1 показан такт нагнетания в правом (по ходу движения смеси в бетоноводе 4) бетонотранспортном цилиндре и такт всасывания в левом. Поршень 1 всасывает бетонную смесь из приемного бункера в левый бетонотранспортный (такт всасывания), а поршень 1 синхронно выталкивает смесь из правого цилиндра в бетоновод 4 (такт нагнетания). При изменении направления движения поршней происходит переключение клапанно-распределительного устройства (КРУ) транспортных цилиндров, и такты меняются местами.

В нормативной литературе [3, 4] эксплуатационная производительность определяется как:

$$P_{см} = P^T K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 \text{ (м}^3\text{/смену)} \quad (1)$$

где: P^T - производительность бетононасоса, указанная в паспорте (техническая), м³/час;

K_1 - коэффициент, учитывающий снижение производительности автобетононасоса в зависимости от вида бетонируемой конструкции;

K_2 - коэффициент, учитывающий снижение производительности автобетононасоса в зависимости от длины прямолинейного горизонтального участка бетоновода при соответствующей величине давления в нем, возникающего при перекачивании бетонной смеси;

$K_3 = 0,93$ - коэффициент, учитывающий потери времени на ежедневный уход за автобетононасосом и его техническое обслуживание;

$K_4 = 0,90$ - коэффициент, учитывающий квалификацию машиниста (оператора) автобетононасоса;

K_5 - коэффициент, учитывающий снижение производительности автобетононасоса из-за различных организационно-технологических причин;

K_6 - продолжительность смены, час.

Техническая производительность по (1) из теории [2] равна:

$$P^T = P^K K_3 = q_u \frac{3600}{t_u} K_3 \quad (2)$$

где: P^K - конструктивная (теоретическая) производительность при полной загрузке рабочего органа, м³/час;

K_3 - коэффициент загрузки рабочего органа в реальных условиях;

q_u - теоретический объем транспортного цилиндра, м³

t_u - время цикла при конкретных условиях работы, сек.

Часто в рекламных проспектах, справочниках, приводится не техническая, а конструктивная производительность бетононасоса. Например, в [1] дается максимальная теоретическая производительность, т.е. без учета коэффициента заполнения транспортных цилиндров.

А если приводится паспортная (техническая) производительность поршневого бетононасоса, то все равно в должной мере не учитывается K_3 - коэффициент заполнения транспортных цилиндров бетонной смесью (объемный КПД).

В ряде работ [7, 8] отмечается этот недостаток, и даются значения величин K_3 , но не в достаточном диапазоне характеристик бетонных смесей.

Автор статьи, используя аппаратуру с датчиками давления, провел натурные исследования автобетононасосов БН-80-20 и БА-1405 [5] по перекачке различных по составу и подвижностям бетонных смесей.

Полученные осциллограммы исследуемых бетононасосов качественно имели одну и ту же форму. Наиболее характерная осциллограмма изменения давления приведена на рис. 2 [14].

На осциллограмме рабочий цикл двухпоршневого бетононасоса представляет собою такт нагнетания бетонной смеси поршня насоса с переключением в конце хода поршня клапанно-распределительного устройства (КРУ). Поочередное нагнетание смеси в бетоновод с кратковременной остановкой на время переключения КРУ сопровождается сложными динамическими процессами, происходящими в бетонной смеси.

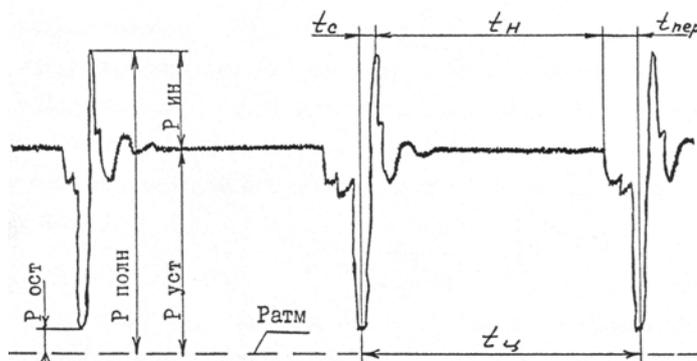


Рис. 2. Осциллограмма изменения давления в бетоноводе

Наиболее энергоемкое – такт нагнетания, который характеризуется временем цикла работы насоса за один ход поршня $t_{ц}$.

Цикл по осциллограмме состоит из следующих составляющих:

t_c - время роста давления от остаточного $P_{ост}$ до полного $P_{полн}$.

С началом движения поршня происходит сжатие воздуха вследствие неполного заполнения транспортного цилиндра смесью и сдвиг смеси при давлении $P_{полн}$.

t_n - время нагнетания порции бетонной смеси в бетоновод поршнем транспортного цилиндра.

За это время движение смеси приобретает установившийся режим с установившимся давлением $P_{уст}$;

$t_{пер}$ - время переключения КРУ, за которое происходит падение давления в бетоноводе от $P_{уст}$ до $P_{ост}$.

Отношение объема смеси в транспортном цилиндре к конструктивному объему цилиндра за один цикл нагнетания определяется через отношение времени нагнетания смеси t_n к времени цикла $t_{ц}$:

$$K_3 = \frac{t_n}{t_{ц}} \quad (3)$$

Это вытекает из следующих соображений. При средней скорости движения поршня в транспортном цилиндре I_{II} , объем транспортного цилиндра равен: $I_{II} \frac{\pi d^2}{4} t_{ц}$. Объем бетонной смеси в цилиндре составляет $I_{II} \frac{\pi d^2}{4} t_n$. Отсюда вытекает (3), что и использовано в вычислениях.

Объемный коэффициент заполнения можно также определить, как отношение перекаченного объема смеси $V_{см}$, соответствующего Σn - общему количеству ходов поршней к теоретически возможному объему, перекачиваемому за то же количество ходов:

$$K_3 = \frac{1}{V_{тр.цил}} \frac{V_{см}}{\Sigma n} = \frac{1}{V_{тр.цил}} \frac{V_{см} t_c}{t} \quad (4)$$

где t – период времени, сек, за который перекачивается объем $V_{см}$, м³.

Сравнение экспериментальных данных по объемному коэффициенту заполнения транспортного цилиндра бетононасоса смесью по зависимостям (3) и (4) приведено в таблице 1. Бетонная смесь класса В20₁₈₀ W8F300 имела состав на 1м³: цемент 355 кг, песок 927 кг, гравий фракции 5-20 мм 928 кг, вода 180 кг, добавка лигносульфоната ЛСТ 10,2 кг, подвижность 18 – 20 см по ОК.

Таблица 1. Сопоставление экспериментальных фактических данных и расчетных (по осциллограммам) K_3 бетононасоса

Производительность PK , м ³ /час	Фактический $V_{см}$, м ³	Количество ходов поршня, Σn	Теоретический объем $V_{тр.цил}$, м ³	Коэфф. заполнения K_3		Относительная погрешность, %
				Фактический	Расчетный	
34	3,0	93	3,55	0,845	0,85	-0,6
	3,0	92	3,51	0,855	0,84	+1,7
48	3,0	91	3,47	0,864	0,86	+0,5
	3,0	90	3,43	0,874	0,85	+2,7
64	3,0	94	3,59	0,836	0,83	+0,7
	3,0	93	3,55	0,845	0,83	+1,8

Сопоставление фактических данных и расчетных (по осциллограммам давления) показало их хорошее совпадение. Поэтому для исследования степени заполнения транспортных цилиндров насоса бетонной смесью использовались осциллограммы давления.

Степень заполнения транспортных цилиндров смесью рассчитывалась для разных составов, представленных в таблице 2. Использовалась схема с горизонтальной петлевой раскладкой бетоновода и перекачиванием смеси по замкнутому циклу (рис.3) [14]. При непрерывной перекачке бетонной смеси она со временем теряла свою подвижность по ОК.



Рис. 3. Экспериментальный участок с петлевой раскладкой бетоновода

Таблица 2. Исследуемые составы бетонных смесей для бетононасосного транспорта

Класс бетона	Параметры смеси				Расход материалов на 1 м3 смеси, кг					
	В/Ц	В/Вяж	Доля песка	ОК, см	Цемент	Зола	Песок	Гравий Фр. 5-20	Вода	Добавка ЛСТ
B15 ₁₈₀	0,52	-	0,42	9-12	320	-	805	1115	165	9,6
B15 ₁₈₀ W4F100	0,58	0,43	0,42	9-12	275	100	775	1075	160	11,55
B15 ₁₈₀ W8F300	0,5	-	0,38	9-12	320	-	735	1200	160	9,6
B30 ₂₈ W12	0,34	-	0,4	9-12	485	-	710	1070	165	14,55
B30 ₂₈ W12	0,37	0,3	0,4	9-12	430	100	690	1035	160	15,9
B20 ₂₈	0,4	-	0,42	9-12	415	-	770	1070	165	12,45
B20 ₂₈	0,44	0,35	0,42	9-12	360	100	745	1035	160	13,8
B15 ₁₈₀ W12F300	0,51	-	0,5	9-12	355	-	927	928	180	10,4
B15 ₁₈₀ W12	0,44	-	0,42	9-12	375	-	790	1030	165	11,25
B15 ₁₈₀ W12	0,47	0,36	0,42	9-12	340	100	740	1045	160	13,2
B15 ₁₈₀ W12	0,44	0,35	0,4	18-20	410	100	675	1010	180	15,3

Выводы

Полученные результаты по определению коэффициента заполнения показывают, что K_3 в первую очередь зависит от вязкопластичных свойств смесей и при одинаковой подвижности зависит от расхода вяжущего на 1м3 бетонной смеси и с увеличением последнего, вследствие повышения вязкости, K_3 уменьшается. Для БН-80-20 и его аналогам, в результате исследований, при максимальной скорости перекачки, фактические значения приводятся в таблице 3. Причем при одинаковой подвижности для смесей с расходом цемента Ц=400 кг/м³ принимается меньшее значение K_3 , для Ц=300 кг/м³ – соответственно большее. Зола, также как и цемент увеличивает вязкопластичные свойства смеси.

Полученные значения, в результате исследований в таблице 3, K_3 несколько ниже, чем в [7] и представлены в более широком диапазоне.

Таблица 3. Значения коэффициентов заполнения K_3

Подвижность бетонной смеси по ОК, см	Коэффициент заполнения транспортных цилиндров K_3
5-10	0,7 - 0,75
10-15	0,75 - 0,8
Более 15	0,8 - 0,85

Литература

1. Строительная техника и оборудование. Каталог-справочник. 2009. С.105-106.
2. Галузин В. М., Комаринский М. В., Телешев В. И. Выбор машин и оборудования для производства бетонных работ. Учебное пособие. СПб. 1997. 78 с.

3. Инструкция по транспортировке и укладке бетонной смеси в монолитные конструкции с помощью автобетоносмесителей и автобетононасосов. [электронный ресурс] URL: http://snipov.net/c_4646_snip_106285.html (дата обращения: 05.06.2013)
4. Рекомендации по бетонированию конструкций с помощью автобетононасоса при транспортировке бетонной смеси автобетоносмесителями. [электронный ресурс] URL: http://www.znaytovar.ru/gost/2/Rekomendacii_10204_Rekomendaci.html (дата обращения: 05.06.2013)
5. Комаринский М.В. [и др.] Исследования и опыт применения бетононасосного транспорта на строительстве Шульбинской ГЭС // Гидротехническое строительство. 1990. № 10. С. 38-43.
6. Очистка сточных вод узлов мойки бетоносмесительного и бетонотранспортного оборудования / Ватин Н. И., Чечевичкин В. Н., Чечевичкин А. В., Шилова Е. С. // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 2. С. 16-23.
7. Руководство по укладке бетонных смесей бетононасосными установками [электронный ресурс] URL: http://www.tyumfair.ru/stroitelnye_raboty/beton/ukladka_betononasosnymi_ustanovkami2/ (дата обращения: 05.06.2013).
8. A test rig and numerical model for investigating truck mounted concrete pumps / Cazzulani G., Ghielmetti C., Giberti N., Resta F., Ripamonti F. // Automation in Construction. 2011. Vol. 20. Issue 8. Pp. 1133-1142.
9. Речинский А. В., Стрелец К. И. Повышение квалификации по проектированию и строительству особо опасных, технически сложных и уникальных объектов // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. № 1. С. 73-75.
10. Малиновская Л. В. Об основных принципах обеспечения качества строительства. Международный опыт // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 1. С. 55-56
11. Кобелева С. А. Технологическое сопровождение системы обеспечения качества монолитного бетона и железобетона при возведении зданий и сооружений: Дисс. на соиск. учен. степ. к. т. н.: Спец. 05.23.08. М., 2001. 129 с.
12. Дронов В. Г., Зуев В. П. Строительные машины и оборудование // Механизация строительства. 2007. № 6. С. 24-25.
13. Мир транспорта. [электронный ресурс] URL: http://mirtransporta.ru/uploads/posts/2012-06/1340196288_03_pump.jpg (дата обращения: 05.05. 2013)
14. Комаринский М. В. Возведение ж/б гидротехнических сооружений с применением бетононасосной технологии. Автореф. на соиск. учен. степ. к. т. н.: Спец. 05.23.07, 05.23.08. СПб., 1989. 16 с.
15. Concrete Pumping // Contract Journal. 1980. Vol. 294. 46 p.
16. Beitzel H. Systemspezifische Bewertung bei Schieberbauarten fur Betonpumpen // Bamaschiene+Bautechnik. 1983. N 4. S. 169-174.
17. Mathewa G., Mathews M. Paul Mix design methodology for laterized self compacting concrete and its behaviour at elevated temperature // Construction and Building Materials. 2012. Vol. 36. Pp. 104–109.
18. Nepomucenoa M., Oliveiraa L., Lopesb S. M. R. Methodology for mix design of the mortar phase of self-compacting concrete using different mineral additions in binary blends of powders // Construction and Building Materials. 2012. Vol. 26. Issue 1. Pp. 317-326.
19. Manzi S., Mazzotti C., Bignozzi M. C. Short and long-term behavior of structural concrete with recycled concrete aggregate // Cement and Concrete Composites. 2013. Vol. 37. Pp. 312-318.
20. Jean-Christophe Mindeguia, Izabela Hager, Pierre Pimienta, Hélène Carr e, Christian La Borderie Parametrical study of transient thermal strain of ordinary and high performance concrete // Cement and Concrete Research, Volume 48, June 2013, Pp. 40-52.
21. Thomas A. New world record in long distance concrete conveying // World Pumps. 1997. Vol. 1997. Issue 369. Pp. 39-42.
22. Lubrication layer properties during concrete pumping / Myoungsung Choi, Nicolas Roussel, Youngjin Kim, Jinkeun Kim // Cement and Concrete Research. 2013. Vol. 45. Pp. 69-78.
23. Proverbs D. G., Olomolaiye P. O., Harris F. C. An evaluation of transportation systems for high rise concrete construction // Building and Environment. 1996. Vol. 31. Issue 4. Pp. 363-374.

References

1. *Stroitel'naja tehnika i oborudovanie. Katalog-spravochnik. 2009. S.105-106. (rus)*
2. *Galuzin V. M., Komarinskij M. V., Teleshev V. I. Vybora mashin i oborudovaniya dlja proizvodstva betonnyh rabot. Uchebnoe posobie. SPb. 1997. 78 s. (rus)*

3. *Instrukcija po transportirovke i ukladke betonnoj smesi v monolitnye konstrukcii s pomoshh'ju avtobetonosmesitelej i avtobetonososov.* [web source] URL: http://snipov.net/c_4646_snip_106285.html (date of reference: 05.06.2013) (rus)
4. *Rekomendacii po betonirovaniju konstrukcij s pomoshh'ju avtobetonososa pri transportirovke betonnoj smesi avtobetonosmesiteljami.* [web source] URL: http://www.znaytovar.ru/gost/2/Rekomendacii_10204_Rekomendaci.html (date of reference: 05.06.2013) (rus)
5. *Komarinskij M.V. [i dr.] Issledovaniya i opyt primeneniya betononasosnogo transporta na stroitel'stve Shul'binskoj GJeS // Power technology and engineering.* 1990. No. 10. Pp. 38-43. (rus)
6. *Ochistka stochnyh vod uzlov mojki betonosmesitel'nogo i betonotransportnogo oborudovanija / Vatin N. I., Chechevichkin V. N., Chechevichkin A. V., Shilova E. S. // Magazine of civil engineering.* 2011. No. 2. Pp. 16-23. (rus)
7. *Rukovodstvo po ukladke betonnyh smesey betononasosnymi ustanovkami* [web source] URL: http://www.tyumfair.ru/stroitelnye_raboty/beton/ukladka_betononasosnymi_ustanovkami2/ (date of reference: 05.06.2013) (rus)
8. A test rig and numerical model for investigating truck mounted concrete pumps / Cazzulani G., Ghielmetti C., Giberti H., Resta F., Ripamonti F. // *Automation in Construction.* 2011. Vol. 20. Issue 8. Pp. 1133-1142.
9. Rechinskij A. V., Strelets K. I. Professional development for design and construction of especially dangerous, technically difficult and unique objects // *Construction of unique buildings and structures.* 2012. No. 1. Pp. 73-75. (rus)
10. *Malinovskaja L. V. Ob osnovnyh principah obespechenija kachestva stroitel'stva. Mezhdunarodnyj opyt // Magazine of civil engineering.* 2009. No. 1. Pp. 55-56. (rus)
11. *Kobeleva S. A. Tehnologicheskoe soprovozhdenie sistemy obespechenija kachestva monolitnogo betona i zhelezobetona pri vozvedenii zdaniy i sooruzhenij: Diss. na soisk. uchen .step. k. t. n.: Spec. 05.23.08. M., 2001. 129 s.* (rus)
12. *Dronov V. G., Zuev V. P. Stroitel'nye mashiny i oborudovanie // Mehanizacija stroitel'stva.* 2007. № 6. S. 24-25. (rus)
13. The world of transport. [web source] URL: http://mirtransporta.ru/uploads/posts/2012-06/1340196288_03_pump.jpg (date of reference: 05.05. 2013) (rus)
14. *Komarinskij M. V. Vozvedenie zh/b gidrotehnicheskikh sooruzhenij s primeneniem betononasosnoj tehnologii. Avtoref. na soisk. uchen .step. k. t. n.: Spec. 05.23.07, 05.23.08. SPb., 1989. 16 s.* (rus)
15. *Concrete Pumping // Contract Journal.* 1980. Vol. 294. 46 p.
16. *Beitzel H. Systemspezifische Bewertung bei Schieberbauarten fur Betonpumpen // Bamaschiene+Bautechnik.* 1983. N 4. S. 169-174.
17. *Mathewa G., Mathews M. Paul Mix design methodology for laterized self compacting concrete and its behaviour at elevated temperature // Construction and Building Materials.* 2012. Vol. 36. Pp. 104–109.
18. *Nepomucenoa M., Oliveiraa L., Lopesb S. M. R. Methodology for mix design of the mortar phase of self-compacting concrete using different mineral additions in binary blends of powders // Construction and Building Materials.* 2012. Vol. 26. Issue 1. Pp. 317-326.
19. *Manzi S., Mazzotti C., Bignozzi M. C. Short and long-term behavior of structural concrete with recycled concrete aggregate // Cement and Concrete Composites.* 2013. Vol. 37. Pp. 312-318.
20. *Jean-Christophe Mindeguia, Izabela Hager, Pierre Pimienta, Hélène Carr e, Christian La Borderie Parametrical study of transient thermal strain of ordinary and high performance concrete // Cement and Concrete Research, Volume 48, June 2013, Pp. 40-52.*
21. *Thomas A. New world record in long distance concrete conveying // World Pumps.* 1997. Vol. 1997. Issue 369. Pp. 39-42.
22. *Lubrication layer properties during concrete pumping / Myoungsung Choi, Nicolas Roussel, Youngjin Kim, Jinkeun Kim // Cement and Concrete Research.* 2013. Vol. 45. Pp. 69-78.
23. *Proverbs D. G., Olomolaiye P. O., Harris F. C. An evaluation of transportation systems for high rise concrete construction // Building and Environment.* 1996. Vol. 31. Issue 4. Pp. 363-374.