

РАСЧЕТ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРУБОПРОВОДА И ВЫБОР МОЩНОСТЕЙ НАСОСОВ ДЛЯ ПОДАЧИ ВОДНО-ГЛИНИСТЫХ СУСПЕНЗИЙ

Н. А. Кидалов, А. С. Князева, М. А. Бокарев
Волгоградский государственный технический университет,
г. Волгоград, Россия

В работе проведен расчет гидродинамических параметров трубопровода в зависимости от характеристик перекачиваемых водно-глинистых суспензий, используемых в литейном производстве. Даны рекомендации по выбору насосов, необходимых для подачи суспензий, учитывающие рассчитанные мощности двигателей.

Ключевые слова: водно-глинистая суспензия, трубопровод, гидродинамика

CALCULATION OF THE HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF PIPELINES AND SELECTING OF PUMPS POWER FOR FEED OF WATER-CLAY SUSPENSIONS

N. A. Kidalov, A. S. Knyazeva, M. A. Bokarev
Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia

The article shows the calculation of hydrodynamic parameters of the pipeline, depending on the characteristics of water-clay suspensions used in the foundry industry. There are recommendations for choosing of pumps for feeding suspensions, which calculated taking into account the engine power.

Ключевые слова: water-clay suspension, pipeline, hydrodynamic

В литейном производстве используется множество различных связующих веществ. Глина является наиболее безопасным, дешевым, природным материалом, придающим формовочной смеси высокие технологические и физико-механические свойства, необходимые для получения качественного литья. При применении глины в виде водной суспензии не требуются сложные операции по подготовке материала, что улучшает санитарно-гигиенические условия работы в цехе и сокращает технологический цикл приготовления смеси.

В литейном производстве подача водно-глинистой суспензии к месту использования осуществляется по трубопроводу. Поскольку реологические характеристики суспензий зависят от их состава, концентрации, вида глины, расчет гидродинамики трубопроводов должен проводиться с учетом всех параметров используемых суспензий.

Прежде всего, необходимо определиться с ориентировочным диаметром трубопро-

вода для подачи суспензии к местам смеси-приготовления. Для этого нужно рассчитать, какое количество водно-глинистой суспензии необходимо для приготовления формовочной смеси в год, каков ее расход. Также нужно знать производительность оборудования. Выбор необходимого режима работы литейного цеха зависит от его производственной мощности, серийного производства, технологической сложности отливок, вида сплава для отливок, типа плавильных и термических агрегатов и других факторов.

При массовом производстве рекомендован параллельный режим работы, т. к. при этом режиме работы все технологические операции по изготовлению отливок выполняются одновременно на различных производственных участках и рабочих местах. Он имеет ряд существенных преимуществ: сокращается производственный цикл изготовления отливок, рациональней используются оборудование и площади цеха, улучшается каче-

ство и снижается себестоимость продукции, появляется возможность изолировать в отдельных помещениях и локализовать участки с вредными выделениями. Производственный процесс связан с непрерывной работой плавильного, термического и другого оборудования, возможна трехсменная работа.

Согласно [1] годовой фонд времени для работы оборудования линий автоматической формовки равен:

- 1 смена – 2030 часов;
- 2 смены – 3975 часов;
- 3 смены – 5900 часов.

В среднем, на 1 тонну годного литья в год требуется 4 – 10 тонн формовочной смеси. Для расчетов выбираем среднее значение – 7 тонн смеси. Согласно исследованиям [2] состав формовочной смеси следующий:

- 90 мас.ч. оборотная смесь;
- 10 мас. ч. освежение – песок;
- 6 мас.ч сверх 100 – водно-глинистая суспензия,

то есть водно-глинистая суспензия добавляется в формовочную смесь в количестве 0,6 %.

При условии, что мощность цеха равна 100 000 тонн в год, необходимо 700 000 тонн смеси. При этом необходимо $700\ 000 \cdot 0,06 = 42\ 000$ тонны водно-глинистой суспензии.

Необходимо выбрать оборудование для приготовления водно-глинистой суспензии.

Для этого необходимо рассчитать производительность оборудования, то есть, какое количество суспензии будет приготовлено за час работы при 1, 2, 3 сменном режиме работы.

Для этого используем формулу для определения массовой производительности:

$$q_m = \frac{\text{объем ВГС}}{\text{годовой фонд времени}}$$

или используем формулу для расчета объемной производительности q_v , которая учитывает плотность материала.

$$q_v = \frac{q_m}{\rho}$$

где q_m – массовый расход, т/ч;
 ρ – плотность материала.

В данном случае используется водно-глинистая суспензия, плотность которой равна 1,2 г/см³ (1,2 т/м³). Таким образом, получаем:

1 смена	$q_m = \frac{42000}{2030} = 20,7 \text{ т/ч}$
	$q_v = 20,7/1,2 = 17,25 \text{ м}^3/\text{ч}$
2 смены	$q_m = \frac{42000}{3975} = 10,57 \text{ т/ч}$
	$q_v = 10,57/1,2 = 8,8 \text{ м}^3/\text{ч}$
3 смены	$q_m = \frac{42000}{5900} = 7,12 \text{ т/ч}$
	$q_v = 7,12/1,2 = 5,93 \text{ м}^3/\text{ч}$

Данные расчетов производительности приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Производительность смешивающего оборудования

Производительность оборудования	1 смены	2 смена	3 смена
Массовая производительность, т/ч	20,7	10,57	7,12
Объемная производительность, м ³ /ч	17,25	8,8	5,93

Далее необходимо выбрать оборудование для приготовления водно-глинистой суспензии: строительные растворомешалки, миксеры, установки приготовления эмульсий и суспензий модели УПЭС для производственных цехов.

Затем для подачи водно-глинистой суспензии необходимо рассчитать необходимый диаметр трубопровода. В работе [3] рекомендуется использовать среднюю скорость потока в пределах (1÷2) м/с, так как при этом обеспечивается равномерное распределение нагрузок на стенки трубопровода, на мощность насоса, то для дальнейших расчетов выбираем среднюю скорость 1,5 м/с.

Расчет диаметра трубопровода проводим по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot q_v}{3600 \cdot \pi \cdot v}}$$

где d – диаметр трубопровода, м;
 q_v – объемный расход, м³/ч;
 v – средняя скорость, м/с.

Получаем, что диаметр трубопровода для:

1 смены	$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 17,25}{3600 \cdot 3,14 \cdot 1,5}} = 0,06 \text{ м};$
2 смены	$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,8}{3600 \cdot 3,14 \cdot 1,5}} = 0,05 \text{ м};$
3 смены	$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,93}{3600 \cdot 3,14 \cdot 1,5}} = 0,04 \text{ м}.$

В производстве в большинстве случаев размеры труб измеряются в дюймах, поэтому полученные необходимые радиусы трубопровода соответствуют следующим размерам труб. Данные приведены в таблице 2.

**РАСЧЕТ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРУБОПРОВОДА
И ВЫБОР МОЩНОСТЕЙ НАСОСОВ ДЛЯ ПОДАЧИ ВОДНО-ГЛИНИСТЫХ СУСПЕНЗИЙ**

Таблица 2 – Внутренний размер труб для подачи суспензий

Размер трубы	1 смена	2 смена	3 смена
диаметр	0,06	0,05	0,04
радиус	0,03	0,025	0,02
дюймы	2,5"	2"	1,5"

Таким образом, для каждой из смен соответствуют различные диаметры труб, но, поскольку трубопровод в цехе один, то для дальнейших расчетов выбираем максимальный размер трубы – 2,5".

Расходно-напорная характеристика трубопровода позволяет вычислить параметры перекачиваемой жидкости при её течении по

трубопроводу и даёт представление о возможностях используемого насоса.

Для вычислений задавались некоторыми параметрами: приведённая длина трубопровода l равнялась 500 м, касательное напряжение на стенке трубопровода τ_w , приводится в таблице 3, размер внутреннего радиуса прохода r_w – 0,03 м.

Таблица 3 – Значения касательных напряжений суспензий

Суспензия*	7(3)	10(4)	7(2)	12(4)	10(2)	7(0)	12(2)	15(4)	10(0)	15(2)	12(0)	15(0)
Напряжение сдвига τ_w , Н/м ²	4,5	4,5	5,5	11,5	16,5	18,5	20	36,5	44	44	83	257

* здесь и далее обозначения и составы используемых суспензий соответствуют суспензиям [4]

Для вычислений гидродинамических параметров использовались следующие формулы [5].

Давление p , возникающее в трубопроводе, вычисляется по формуле, атм:

$$p = \frac{2 \cdot l \cdot \tau_w}{r_w \cdot 98100}$$

где l – приведённая длина трубопровода, м;
 r_w – внутренний радиус трубопровода, м

Значения давления, возникающего при движении водно-глинистой суспензии по трубопроводу, приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения давлений в трубопроводе

Суспензия	7(3)	10(4)	7(2)	12(4)	10(2)	7(0)	12(2)	15(4)	10(0)	15(2)	12(0)	15(0)
Давление, атм	1,53	1,53	1,87	3,91	5,61	6,11	6,6	12,41	14,96	14,96	28,22	87,38

Учитывая давление p и расход жидкости в трубопроводе q_v , который индивидуален для каждого режима работы, рассчитывается необходимая мощность насоса N_n для перекачки суспензии, кВт:

$$N_n = 1,3 \cdot \frac{p \cdot q_v}{1000 \cdot 3600}$$

где 1,3 – коэффициент запаса мощности привода, учитывающий пусковой режим и к. п. д. привода;

p – давление, возникающее в трубопроводе, Па;

q_v – суммарный расход неньютоновских жидкостей, м³/ч.

По проведенным расчетам получили результаты вычислений параметров расходно-напорной характеристики для наиболее типичных суспензий при различном диаметре трубопровода. Значения мощности насосов приводятся в таблице 5.

Таблица 5 – Значения мощности насосов

Суспензия	Режим работы		
	1 смена	2 смены	3 смены
	Объемный расход жидкости, м ³ /ч		
	17,25	8,8	5,93
7(3)	0,93	0,48	0,32
10(4)	0,93	0,48	0,32
7(2)	1,14	0,58	0,39
12(4)	2,39	1,22	0,82
10(2)	3,43	1,75	1,18
7(0)	3,84	1,96	1,32
12(2)	4,15	2,12	1,43
15(4)	7,58	3,87	2,61
10(0)	9,14	4,66	3,14
15(2)	9,14	4,66	3,14
12(0)	17,24	8,80	5,93
15(0)	53,38	27,24	18,36

Мощности двигателей насосов и соответствующие им наиболее подходящие насосы можно сгруппировать следующим образом:

Таблица 6 – Мощности двигателей насосов для подачи суспензий и соответствующие им марки насосов

Диапазон мощностей двигателей насосов, кВт	Транспортируемые суспензии	Соответствующие марки насосов
до 5	7(3) 10(4) 7(2) 12(4) 10(2) 7(0) 12(2) 15(4) 10(0) 15(2)	НЦС-3 С-885
5-10	10(0) 15(2) 12(0)	С-856 НЦС-1 НЦС-2 НЦС-4
10-25	12(0)	ШН-150
25-35	15(0)	НД 0,4/100К14А(В)
свыше 35	15(0)	1К100-65-250а 1К100-65-250б 1К100-65-250 1К100-65-250м 9М-ГР 11-ГР

Таким образом, на основании таблицы 6 можно составить рекомендации по выбору насосов, необходимых для подачи водно-глинистых суспензий к местам использования. Например, наиболее используемые в

литейном производстве суспензии попадают в первую группу мощностей двигателей насосов до 5 кВт, следовательно, рекомендуемые марки насосов в этой группе – это НЦС-3 и С-885.

РАСЧЕТ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРУБОПРОВОДА И ВЫБОР МОЩНОСТЕЙ НАСОСОВ ДЛЯ ПОДАЧИ ВОДНО-ГЛИНИСТЫХ СУСПЕНЗИЙ

Список литературы

1. Кнорре, Б.В. Основы проектирования литейных цехов и заводов: Учебник для вузов по специальностям «Машины и технология литейного производства» и «Литейное производство черных и цветных металлов» / Л. И. Фанталов, Б. В. Кнорре, С. И. Четверухин и др. Под ред. Б. В. Кнорре; 2-е изд., перераб. — М.: Машиностроение, 1979. — 376 с.
2. Кидалов, Н. А. Влияние углещелочного реагента на свойства формовочных смесей с применением высококонцентрированных водно-глинистых суспензий / Н. А. Кидалов, Н. А. Осипова, А. С. Князева, А. А. Сахарова // Литейное производство. — 2014. — № 1. — С. 21-23.
3. Касаткин, Л. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / Л. Г. Касаткин; М.: ООО ИД «Альянс», 2008. — 753 с.
4. Кидалов, Н. А. Влияние углещелочного реагента на вязкость водно-глинистых суспензий для песчано-глинистых смесей / Н. А. Кидалов [и др.] // Литейное производство. - 2013. - № 9. — С. 27-29.
5. Голованчиков, А. Б. Повышение точности при аппроксимации табличных зависимостей по равновесию бинарных смесей / А. Б. Голованчиков, Е. В. Васильева, А. С. Остроухова, А. А. Решетников // Известия ВолгГТУ. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. Вып. 12 :межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. — Волгоград, 2011. — № 11. — С. 9–11.

Кидалов Николай Алексеевич – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Машины и технология литейного производства»

Князева Анна Сергеевна – к. т. н., старший преподаватель кафедры «Машины и технология литейного производства»

Бокарев Михаил Алексеевич – магистрант

ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ)
г. Волгоград, Россия