

# СИСТЕМЫ ВАКУУМИРОВАНИЯ ПЕСЧАНЫХ ФОРМ В ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХАХ



В.С. Дорошенко

Литейное производство металлопродукции для машиностроения остро нуждается в технологическом использовании науки для модернизации отрасли. Производство машин находится в пропорциональной зависимости от объема литья, который в мире растет из года в год. Однако литейные цеха загрязняют экосистему отходами. В воздушной среде литейных цехов, кроме пыли, в больших количествах находятся оксиды углерода, углекислый и сернистый газы, азот и его окислы, водород, аэрозоли, насыщенные оксидами металлов, пары углеводородов и др. Применение органических связующих при изготовлении литейных форм приводит к выделению токсичных газов в процессе их сушки и при заливке металла. В зависимости от класса связующего в атмосферу цеха могут выделяться такие вредные вещества как аммиак, ацетон, акролеин, фенол, формальдегид, фурфурол и т. д.

Твёрдые отходы литейного производства содержат до 90% отра-

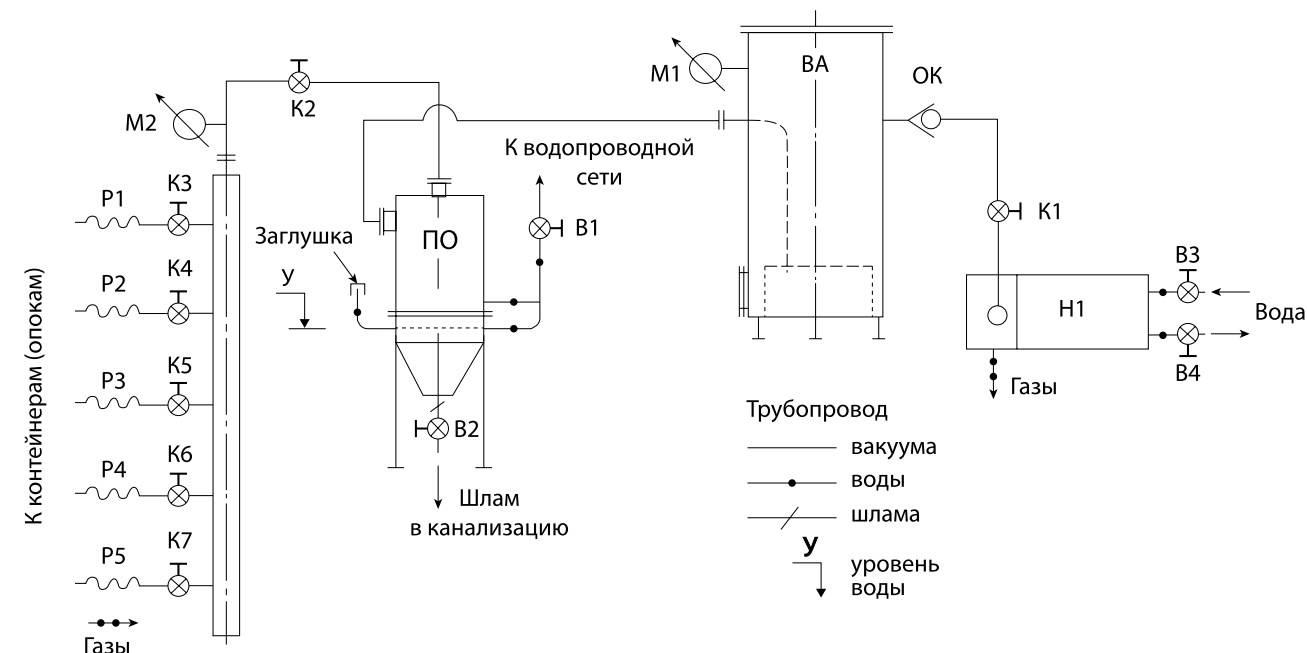
ботанных формовочных смесей. Количество фенолов в отвалных смесях превышает содержание других токсичных веществ. Фенолы и формальдегиды образуются в процессе деструкции формовочных смесей, в которых связующим являются синтетические смолы. Эти вещества хорошо растворимы в воде, что создает опасность попадания их в водоёмы при вымывании дождевыми или грунтовыми водами.

С появлением в литейных цехах технологии литья металла в вакуумируемые формы из сухого кварцевого песка без связующего, обладающей бесспорными экологическими преимуществами, началось строительство таких участков и цехов. Для поддержания в песке вакуума песчаные литейные формы в рамочных или контейнерных опоках герметизируют покрытием поверхности песка синтетической пленкой, в толще песка помещают газопроницаемый фильтр, не пропускающий песок и сообщен-

ный трубопроводом с вакуум-насосом. Если раньше склеивали песчинки связующим, то при вакууме в песке и атмосферным давлением снаружи формы вместо химической связи между песчинками резко усилилось трение частиц песка и создало упругие сжимающие напряжения, удерживающие песок формы в монолитном неподвижном состоянии достаточном для стойкости от давления заливаемого металла в полость формы.

Включение вакуума в литейный процесс без связующего в форме дало следующие положительные результаты: 1) резко сократило загрязнение окружающей среды - на порядок и более уменьшило выбросы вредных газов в атмосферу цеха и значительно повысило культуру производства; 2) способствовало ресурсосбережению за счет многократного рециклинга не менее 95% песка без экологически вредных отходов; 3) повысило точность отливки за счет исключения прилипания к моделям смеси (снижены или устра-

Владимир Степанович Дорошенко, к.т.н., с.н.с., Физико-технологический институт металлов и сплавов Национальной академии наук Украины, Киев, Украина.



Н1 – насос ВВН; ОК – обратный клапан; ВА – вакуумный аккумулятор; М1, М2 – вакуумметр 0–1; ПО – пылесос; К1–К7 – краны шаровые; В1–В4 – вентили; Р1–Р5 – рукава.

**Рис. 1. Вакуумная система участков формовки-заливки  $Q \leq 12 \text{ м}^3/\text{мин}$ . Все стенки выполнять герметичными, падение давления в сети не более 0,05 атм (контроль по М1).**

нены уклоны и припуски на моделях) и 4) упростило уплотнение смеси без значительных силовых нагрузок, а только вибрацией сухого песка. Но с другой стороны, вакуумирование потребовало от литейщиков понимания сущности баланса газовых давлений на поверхности полости формы и способов поддержания песка в неподвижном состоянии, что часто связано с регулированием газопроницаемости стенок формы, а также степенью и способом вакуумирования, особенно важных в момент заливки и затвердевания отливки.

Слабое внедрение вакуумных песчаных форм в отечественное производство объясняется низкой осведомленностью литейщиков о достаточно простых принципах регулирования газового давления на границе металл - вакуумная форма, на весьма несложном, преимущественно отечественном, оборудовании для обеспечения форм вакуумом, которое часто комплектуют с системой очистки газового потока по законам газодинамики и гидравлики. Отсутствие у отечественных литейщиков таких знаний склоняет их к знакомой формовке со свя-

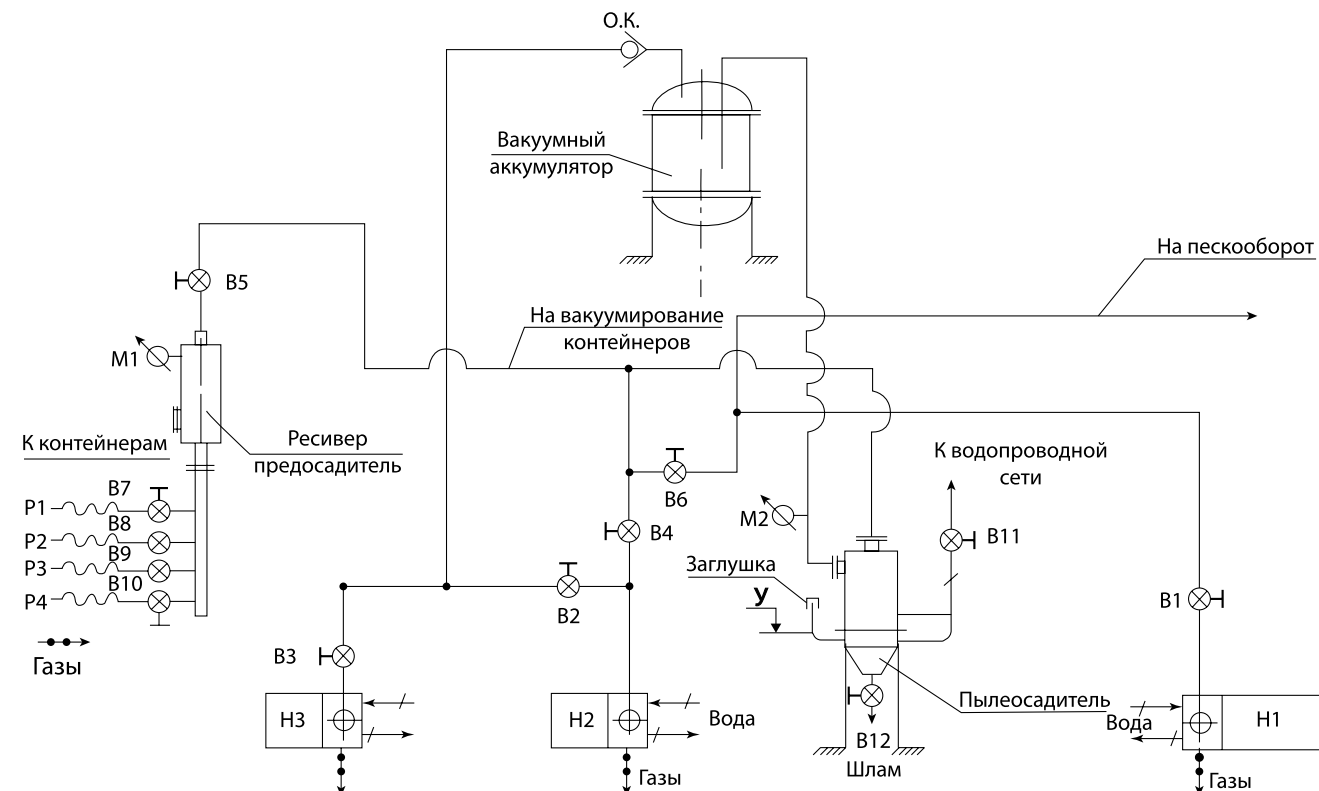
зующим при выборе технологий для своего цеха. Тем более, что имеется обильная реклама «химизации» формовки импортерами оборудования и реагентов для изготовления песчаных смесей, называемых холодно-твердеющими смесями или ХТС, со связующим, замешанным в песок. Расширение применения ХТС сопровождается усугублением неблагоприятной экологии литейного цеха, что привело, например, к тенденции вытеснения литейного производства из Западной в Восточную Европу, если его не перевести на новый экологический уровень.

Применение вакуума в форме при литье по газифицируемым моделям (ЛГМ) позволило отработать режим вакуума в песке, позволяющего откачать из формы все газы-продукты газификации пенопластовой модели при замещении ее металлом отливки, стабильно высокого качества.

Рассмотрим условия для конструирования вакуумных систем песчаных форм и основы методики расчета параметров такого оборудования на примере ЛГМ-процесса. Степень разрежения (вакуума) в литейной форме зависит от вида заливаемого металла

и обычно колеблется от 200 до 460 мм рт. ст. (0,25...0,6 атм или 25...60 кПа). При расчете вакуумной системы цеха ЛГМ, прежде всего, определяют ее функциональное назначение, будет ли она использоваться для формовки и заливки металлом, пневмотранспорта отработанного песка, обеспечения работы модельных полуавтоматов; т.е. будет отдельной для всех технологических площадок, или общей. Порядок и правила расчета пневмотранспорта всасывающего типа (вакуумно-транспортная система) определяют по справочникам грузоподъемных и транспортирующих машин [1], а для оценочных расчетов вакуумных систем формовочно-заливочного участка ЛГМ можно использовать эту статью, основанную на учебниках и обзорах по расчету вакуумных систем [2–4].

При многократном обороте песка песчинки покрываются углеводородными и сажистыми пленками, очистку от которых выполняют в установках терморегенерации песка, а в вакуумных системах обычно применяют жидкостные песко- и пыле-отделители для очистки газов, что увеличивает срок службы насосов. Основным критерием



Н1-Н3 – водокольцевые вакуумные насосы; М1, М2 – манометры; Р1-Р4 – рукава; В1-В12 – вентили; ОК – обратный клапан.

Рис. 2. Вакуумная система участков формовки-заливки и пескооборота  $Q \leq 50 \text{ м}^3/\text{мин}$

выбора вакуумного насоса является требуемая производительность и величина вакуума на выходе из литейной формы с учетом одновременного вакуумирования нескольких форм.

Для расчета объема отсасываемых газов исходят из законов сохранения массы и энергии, термо- и гидрогазовой динамики, тепломассопереноса. Взаимосвязь объема газа  $V$ , давления  $P$  и температуры  $T$  выражается формулой [2]:

$$P \cdot V = nRT, \quad (1)$$

где  $n$  – число молей в объеме  $V$  при температуре  $T$  и давлении  $P$ ;  $R = k \cdot N$ , где  $k$  – коэффициент – постоянная Больцмана,  $N$  – число молекул в 1 грамм-молекуле. Исходя из этого, можно использовать формулу:

$$\frac{P \cdot V}{T} = \text{const.} \quad (\text{закон Бойля-Мариотта}). \quad (2)$$

Зная температуру заливаемого металла, массу ППС модели и используя вышеприведенные температуры при ЛГМ, определяют объем газов  $V$

на выходе из литейной формы с последующим расчетом всей вакуумной системы по формулам из справочников по вакуумной технике [1, 2, 5].

Выбор вакуумного насоса и элементов вакуумной системы. Исходя из предназначения вакуумной системы – раздельной по технологическим площадкам или общей на весь производственный цех ЛГМ, производится расчет показателей потребного насоса или насосов. Наиболее оптимальным по экономическим, пожарно-санитарным и эксплуатационным характеристикам является применение сухих кольцевых или водокольцевых вакуумных насосов серии ВВН или НРВ (Корея, Hwahghae Electric). Применение сухих вакуум-насосов требует меньше площадей без наличия системы водоподготовки и водооборота, но плохо стыкуется с системой утилизации откачиваемых газов с продуктами деструкции пенопласта. Содержание частиц формовочного материала (песка) во входящем в насос газе должно быть предельно минимальным,

что требует усложнения элементов пылеулавливания вакуумной системы, однако, в целом, применение сухих насосов, как при монтаже, так и при эксплуатации, менее затратно.

Водокольцевые вакуумные насосы (ВВН) для своей работы используют системы водоснабжения. Наибольшая эффективность у них достигается при использовании воды с температурой ниже  $+30^\circ\text{C}$ . С целью экономии создают закрытые замкнутые системы водоснабжения, заполненные водой. Обязательным элементом вакуумной системы формовочно-заливочного участка (ФЗУ) является вакуумный аккумулятор (ВА). Конструкции аккумуляторов, разработанные во ФТИМС, емкостью 1–3  $\text{м}^3$  имеют защитные элементы в виде предохранительных пластин и обратных клапанов, что позволяет легко производить работы по их очистке. Определение толщины стенки ВА производится по формуле [2]:

$$S = 0,47 \frac{D}{100} \left( \frac{P_p}{10^{-6} \cdot E^t} \cdot \frac{1}{D} \right)^{0,4} + C, \quad (3)$$



Рис. 3. Типичные примеры отливок и пенопластовых моделей, получаемых в современных литейных цехах при литье в вакуумируемые песчаные формы

где:  $D$  – внутренний диаметр обечайки, см;  $P_p$  – давление расчетное,  $\text{кг}/\text{см}^2$ ;  $E^t$  – модуль продольной упругости материала при  $20^\circ\text{C}$ ,  $\text{кг}/\text{см}^2$ ;  $C$  – поправочный коэффициент (учитывает утонение стенки при эксплуатации);  $l$  – длина обечайки, см. Основное назначение ВА – обеспечение плавности работы вакуумного насоса и стабилизация величины вакуума на выходе из формы.

Конструкции водного пылеосадителя известны [6], как и примеры расположения оборудования на планировке цеха [7]. Трубопроводы по диаметру согласуют с диаметром всасывающего отверстия насоса и изготавливают максимально короткими. Но для заливочных участков соблюдение этого принципа не всегда оправдано, т.к. отсасываемые газы имеют большую температуру и нагревают как элементы вакуумной

системы, так и воду, тем самым, снижая производительность ВВН. Пропускную способность трубопровода определяют по формуле [2]:

$$U_T = 12,1 \frac{d^3}{l}, \quad \text{л/с}, \quad (4)$$

где:  $d$  – диаметр трубопровода, см;  $l$  – длина трубопровода, см. Необходимо стремиться, чтобы трубопровод соответствовал произво-



дительности насоса и имел меньше изгибов.

Опыт эксплуатации запорно-регулирующей арматуры показал, что наиболее надежны и дешевы шаровые краны. Они массово выпускаются с проходными диаметрами от 1/4" до 4" и их легко монтировать. Как упоминалось выше, откачиваемые газы с продуктами деградации пенопласта или синтетической пленки должны перед выбросом в атмосферу очищаться в специальных установках. Для предварительного осаждения частиц формовочного материала рекомендуются серийно выпускаемые циклоны разработки ЦАГИ и «Союзэлеватор». С целью экономии производственных расходов и надежности работы вакуумной системы целесообразно вместо одного водного насоса требующей производительности установить два насоса меньшей производительности и подключить их параллельно.

В качестве примера ниже приведены две схемы вакуумной системы участков ЛГМ, на рис. 1 – система предназначена только для формовки

и заливки, на рис. 2 – для формовки, заливки, обеспечения работы системы подготовки и пневмотранспорта песка. Производительность вакуумных систем обеспечивается указанными на рисунках насосами. Также на рис. 3 показаны типичные примеры отливок, полученные в вакуумных песчаных формах способом ЛГМ.

Таким образом, в статье отмечены значительные экологические преимущества формовочных процессов с применением вакуума в литейном производстве, рассмотрены основы конструирования и расчета вакуумных систем формовочных участков с учетом факторов, принятых во внимание при определении производительности насосов, пропускной способности очистных и трубопроводных элементов. Такая информация будет полезна при организации современных литейных участков, которые обладают возможностями обеспечить выпуск высокоточных отливок из различных сплавов и поднять экологическую культуру производства.

### Литература

1. Иванченко Ф.К. и др. Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин. К.: Вища школа. - 1978. - 576 с.
2. Овсянников К.М. Основы расчета вакуумных систем, применяемых в литейном производстве. М.: Машиностроение. - 1971. - 80 с.
3. Минаев А.А. и др. Вакуумная формовка. М.: Машиностроение, 1984. - 216 с.
4. Васильев В.А. Физико-химические основы литейного производства. М.: Интермет Инжиниринг. - 2001. - 336 с.
5. Фролов Е.С. и др. Вакуумная техника. Справочник. М.: Машиностроение, 1992. - 471 с.
6. Дорошенко В.С., Бердыев К.Х. Оборудование непрерывного действия для переработки сыпучих материалов в литейном производстве // Станочный парк. - 2009. - № 7-8. - С. 27-29.
7. Дорошенко В.С., Бердыев К.Х. Структура цеха литья по газифицируемым моделям и особенности его проектирования // Метал и литье Украины. - 2010. - № 4. - С. 8-16.

11-й международный форум по управлению отходами, природоохранным технологиям и возобновляемой энергетике

Организатор  
Reed Exhibitions®

ВэйстТэк 2019  
WasteTech 2019

4-6 ИЮНЯ 2019

МОСКВА, КРОКУС ЭКСПО, ПАВИЛЬОН 2, ЗАЛ 8

[www.waste-tech.ru](http://www.waste-tech.ru)

### ГЛАВНОЕ СОБЫТИЕ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПРИРОДООХРАННОГО И КОММУНАЛЬНОГО СЕКТОРОВ

Ведущий форум России и стран ближнего зарубежья по управлению отходами, природоохранным технологиям и возобновляемой энергетике

Один раз в два года собирая на своей площадке российских и зарубежных производителей и поставщиков готовых решений, технологий и услуг и специалистов коммунального и природоохранный секторов, ВэйстТэк создает уникальную площадку для установления новых контактов, развития деловых связей и расширения бизнеса.

Деловая программа форума — эффективная платформа для встреч и обсуждения институциональных вопросов охраны окружающей среды, различных аспектов обращения с отходами, очистки сточных вод и газовоздушных выбросов.

ТБС

Генеральный информационный партнер

Информационный партнер

Экология  
Производства

23-28  
ИЮНЯ 2019  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

[www.flf-russia.com](http://www.flf-russia.com)

ПЛАТИНОВЫЙ СПОНСОР

компания  
РусСнефть

ЗОЛОТЫЕ СПОНСОРЫ

ЛУКОЙЛ  
TATNEFT

СПОНСОР

НОВАТЭК

FUTURE  
LEADERS  
FORUM 2019

6-й ФОРУМ БУДУЩИХ ЛИДЕРОВ  
МИРОВОГО НЕФТЯНОГО СОВЕТА