

Е.Н. БАРЧАН, к.т.н., гл. констр. НТК ЧАО „АзовЭлектроСталь”, Мариуполь;
А.Г. ПРИЙМАКОВ, к.т.н., с.н.с., доц. Нац. ун-та гражданской защиты Украины, Харьков;
А.В. ТКАЧУК, к.т.н., с.н.с., с. н. сотр. каф. ТММиСАПР НТУ „ХПИ”;
Л.Н. БОНДАРЕНКО, вед. инж. каф. ТММиСАПР НТУ „ХПИ”;
А.В. ГРАБОВСКИЙ, к.т.н., н. сотр. каф. ТММиСАПР НТУ „ХПИ”

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ И УСЛОВИЙ НАГРУЖЕНИЯ ВИБРОУДАРНЫХ МАШИН ДЛЯ ВЫБИВКИ ЛИТЬЯ

У статті наведено огляд конструкцій та методів визначення навантажень віброударних машин для вибивки лиття.

Ключові слова: віброударна машина, навантаження, аналіз конструкцій, ливарне виробництво

В статье приведен обзор конструкций и методов определения нагрузок вибромашин на примере машин для выбивки литья.

Ключевые слова: виброударная машина, нагрузка, анализ конструкций, литейное производство

In the paper it's presented an overview of structures and methods for loading's determining on example of vibromachines for casting knockout.

Keywords: vibroshock machine, loading, analysis of constructions, casting production

Введение. При решении задачи совершенствования выбивной машины для оснащения уникальных автоматизированных линий крупного вагонного литья по критериям нагрузочной способности, долговечности, прочности и металлоемкости необходимо провести анализ существующих конструкционных решений, а также методов расчета параметров выбивных машин, описанных в литературе. В ходе анализа состояния делается упор на ряд публикаций [1-41].

Конструкции выбивных машин литейного производства. Выбивка литья является трудоемкой операцией, при выполнении которой необходимо решать целый ряд различных задач: отделение отливки от формы, дробление отделившейся формовочной смеси, уменьшение пылевыведения и ограничение шумового воздействия. При этом должна обеспечиваться надежность и долговечность работы выбивного оборудования. В технической и патентной литературе описано множество конструкций машин для выбивки литья, основанных на различных физических воздействиях на материал залитой металлом формы. В одном из способов разрушение формы достигается под воздействием вибрации, создаваемой переменным магнитным полем [6]. В результате взаимодействия поля с частотой колебаний, совпадающей с собственной частотой колебаний отливки, возникают резонансные колебания отливки. Из-за несовпадения собственной частоты колебаний формовочной смеси и отливки на границе «формовочная смесь – отливка» создаются нормальные и касательные на-

© Е.Н. Барчан, А.Г. Приймаков, А.В. Ткачук,

пряжения, приводящие к возникновению усилий разрушения. В другом техническом решении выбивка также осуществляется в две стадии: вначале при движении по виброжелобу, затем на выбивной решетке [7].

Фирма «Castings Ltd» (Великобритания) использует для выбивки отливок вращающийся барабан мод. TR1500. Диаметр барабана 1500мм, длина 7м. Внутри барабана расположены наклонные ребра, благодаря которым смесь и отливки движутся вдоль продольной оси. Частота вращения барабана составляет 1,7–3,0 об/мин [8, 9]. Другой способ выбивки литейных форм [10] предусматривает помещение формы в герметичную камеру и создание в ней декомпрессии до остаточного давления 100–300 ГПа. Перед этим поверхность формы пропитывают водой при 100–90°C в количестве 0.025–0.150 г/см².

Разработан также процесс вакуумного прошивания сырых песчаноглинистых форм при одностороннем вакуумировании формы, выбраны технологические и конструктивные параметры процесса. При этом процессе, как отмечает автор, газоотделение локализовано, шум отсутствует [11].

Согласно патентному решению [12] формовочную смесь с отливкой выбивают из опок ударной газовой или воздушной волной с помощью импульсной головки. В литературе приводятся конструкции и других типов выбивных установок, в том числе дробеметных и установок выбивки выдавливанием [13], [14]. Однако, несмотря на многообразие разработанных новых способов выбивки литья, до настоящего времени механические эксцентриковые и инерционные выбивные решетки являются наиболее распространенным видом оборудования для выбивки литейных форм, так как имеют относительно простую конструкцию.

В автоматических линиях литейного производства в качестве выбивных устройств применяют главным образом электромеханические выбивные решетки. В современных автоматических линиях выбивные решетки применяют чаще всего в сочетании с механизмом выдавливания кома, который установлен по технологической цепочке перед выбивной решеткой.

Назначение выбивных решеток автоматических линий – разрушение кома, который периодически поступает на приемную часть полотна решетки, отделение отливок от формовочной смеси, которая должна пройти сквозь щели полотна решетки на провал, и одновременное автоматическое транспортирование отливок от приемного торца решетки к разгрузочному.

Выбивные решетки автоматических линий отличаются от обычных выбивных решеток функциональным назначением [11]. В обычных решетках, применяемых в единичном производстве, технологический процесс выбивки осуществляется обычно следующим образом. Залитая литейная форма, подлежащая выбивке, подается на полотно выбивной решетки, работающей непрерывно или же включаемой периодически после установки на нее очередной опоки. От соударений опоки с вибрирующим полотном решетки набивка формы разрушается, ком смеси с отливкой (отливками) выпадает на

полотно, распадается, отливки отделяются от смеси. По окончании процесса выбивки освобожденные отливки и пустая опока остаются на решетке, с которой затем и удаляются специальными толкателями. Таким образом, обычные решетки выполняют только функции выбивки, т.е. разрушение набивки формы и отделение отливок от смеси, без последующего автоматического транспортирования решеткой выбитых отливок по полотну.

Выбивные решетки, применяемые в автоматических линиях, в силу особенностей их назначения одновременно выполняют как функцию выбивки, так и автоматическое транспортирование выбитых отливок по полотну решетки для передачи их по дальнейшей технологической цепочке.

Указанные отличия функционального назначения накладывают особенности на конструкцию, а, значит, и на методы расчета тех и других решеток [1, 2]. Выбивные решетки с транспортированием выполняют только инерционными. В них применяют вибровозбудители как кругового, так и направленного действия.

Основные схемы выбивных инерционных решеток. Выбивные инерционные решетки (рис. 1), применяемые в автоматических линиях, состоят из корпуса 1, установленного на упругих пружинных (или резиновых) опорах 2, и вибровозбудителя 3, смонтированного в корпусе и приводимого во вращение электродвигателем (на схеме не показанным). В верхней части корпуса укреплено полотно 4 решетки, сквозь щели которого проваливается при выбивке отделяемая от отливок формовочная смесь. Полотно 4 выполняет также функции рабочего органа, по которому выбитые отливки транспортируются к разгрузочному концу решетки.

Конструктивно выбивные инерционные решетки отличаются типом вибровозбудителя, местом его установки и направлением колебаний полотна решетки. В выбивных решетках с транспортированием вибровозбудитель расположен несимметрично относительно опор, благодаря чему создаваемое усилие направлено под углом к полотну решетки, чем и достигается эффект транспортирования.

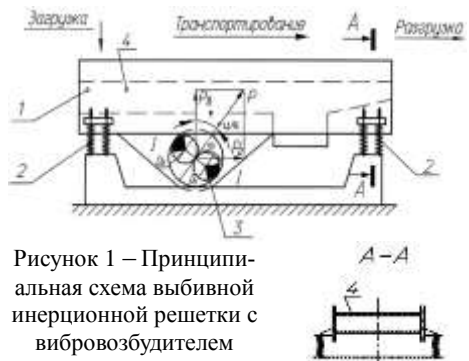


Рисунок 1 – Принципиальная схема выбивной инерционной решетки с вибровозбудителем направленного действия

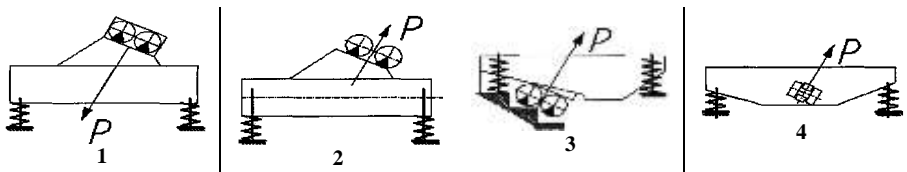


Рисунок 2 – Схемы выбивных инерционных решеток с транспортированием следующих фирм: 1-Gisag (ГДР); 2-Kuttner (ФРГ); 3-Centrozap (Польша); 4-BMD (ФРГ) [15]

На схемах 1-4 (рис. 2) показаны решетки с вибровозбудителями направленного действия, у которых возмущающее усилие вибровозбудителя P наклонено под углом γ к вертикали.

В вибровозбудителях направленного действия дебалансные валы также могут быть кинематически связанными между собой и приводиться во вращение от одного электродвигателя либо могут быть кинематически не связаны и приводиться во вращение отдельными электродвигателями.

Вибровозбудитель решетки изготовлен в виде дебалансных валов или в виде дебалансных секторов, причем по одному варианту вибровозбудитель установлен под полотном, по другому – над полотном. На схемах 1-4 (см. рис. 2) показаны решетки с вибровозбудителями, установленными под полотном и над ним. В этих вибровозбудителях применены дебалансные валы с отдельными самосинхронизирующимися электродвигателями. В отдельных случаях в качестве вибровозбудителя используют два независимых мотор-вибратора, представляющие собой специальный электродвигатель, на концах вала которого закреплены неуровновешенные массы.

Существует мнение [15], что для рациональной механизации и автоматизации процесс выбивки отливок должен быть расчленен на операции и переходы, определяемые технологией формовки и металлоемкостью формы. При этом схема выбивки крупных форм может быть выполнена в двух вариантах. Первый вариант предусматривает разрушение формы за одну операцию, второй вариант предусматривает разделение этой работы на две операции.

В каждом конкретном случае этот вопрос в зависимости от местных условий решается индивидуально.

Особенности конструкций выбивных машин. Конструкция механических решеток, несмотря на их простоту, не остается неизменной, а постоянно совершенствуется в направлении повышения эффективности их работы, плавности регулировки выбивающих усилий, снижения пыле- и шумовыделения, более полного размельчения выбитой формовочной смеси.

Значительная часть технических решений направлена на достижение оптимальных параметров работы выбивной решетки, снижение энергозатрат и повышение эффективности выбивки. Так, фирмой «Kinergy Corp» (США) используется вибратор типа неуровновешенного вала с приводом. Собственная частота колебаний пружин, на которых установлена рабочая рама, намного выше частоты вращения вала вибратора (при работе в холостом режиме). При подаче материала частота колебаний снижается, тем самым обеспечивается автоматическая регулировка мощности, которую развивает система в соответствии с нагрузкой [16].

Фирма «Acme Conveyors» (Великобритания) выпускает выбивные решетки с двумя вибрирующими массами. В этих установках вибрационный блок соединяется через пружинные амортизаторы с рабочим столом или корпусом, который в свою очередь, соединен через другие амортизаторы с неподвижной опорой [17].

Предлагаемая инерционная решетка [18] для выбивки крупных форм со-

держит установленную на раме подпружиненную решетку и дополнительную решетку, установленную над основной. С целью повышения производительности и эксплуатационной надежности дополнительная решетка установлена на основной шарнирно, посредством серьги, с возможностью смещения на половину просвета ячеек.

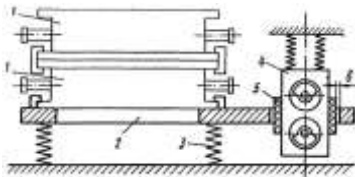


Рисунок 3 – Способ выбивки литейных форм [21]

Для выбивки прочных и особо прочных формовочных смесей рекомендуется применять инерционную выбивную решетку с вкладным полотном, хорошо зарекомендовавшую себя и описанную в [19, 20].

Способом выбивки литейных форм (рис. 3) [21] с целью повышения производительности процесса выбивки и снижения энергоемкости предусматривается закрепление формы на раме, после чего раму подвергают периодическим двусторонним ударным воздействиям с частотой ударов 15–30 Гц и удельной силой удара на 1 кг массы системы в пределах 0.3–0.4Н при ограничении частоты собственных колебаний системы в пределах 7–12 Гц. На рис. 3 изображены форма 1, рама 2, опоры-амортизаторы 3, вибропривод 4, резиновые ударники 5 вибропривода.

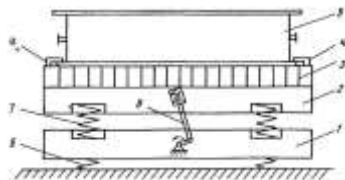


Рисунок 4 – Установка для выбивки форм [22]

Установка для выбивки форм (рис. 4) [22] содержит нижнюю раму 1 и верхнюю раму 2, которая выполнена заодно с решеткой 3, и к ней прикреплены с помощью устройства для крепления 4 форма 5. Нижняя рама 1 установлена на амортизаторах 6 в виде пружин, верхняя рама 2 установлена на амортизаторах 7 в виде пружин, которые укреплены на нижней раме 1, эксцентриковый механизм 8 соединяет нижнюю раму 1 и верхнюю раму 2.

С целью уменьшения потерь энергии при выбивке решетка снабжена устройством для крепления к ней форм, амортизаторы между верхней и нижней рамами выполнены в виде пружин, установленных с возможностью соударения рам между собой. Аналогичное техническое решение, предусматривающее скрепления опоки с рамой, имеется в других источниках [23, 24]. В другом техническом решении (рис. 5) предусмотрена выбивка форм

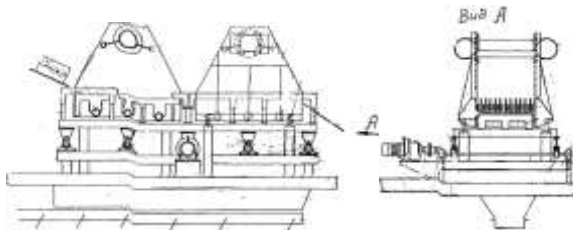


Рисунок 5 – Двухсекционная выбивная решетка [25]

мы при ее прохождении через две позиции установки для выбивки литья [25].

Ряд технических решений направлен на уменьшение динамического воздействия на конструкцию здания. Так, выбивная решетка (рис. 6) [26] содержит верхнюю подвижную раму 1 с полотном решетки, подшипниковые опоры 2, которые установлены на нижней раме 3, которая посредством виброизоляторов 4 опирается на промежуточную раму 5. Промежуточная рама 5 через виброизоляторы 6 установлена на конструкции 7 здания. Привод 8 установлен на нижнюю раму 3, на которой на резиновых виброизоляторах 9 установлена верхняя подвижная рама 1. С целью снижения металлоемкости и уменьшения динамического воздействия на конструкцию здания она снабжена промежуточной рамой, установленной между нижней рамой и конструкцией здания на виброизоляторах.

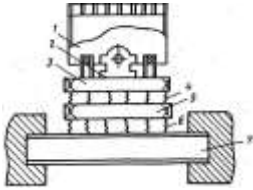


Рисунок 6 – Выбивная решетка [26]

С той же целью выбивная эксцентриковая решетка (рис. 7) [27] имеет верхнюю подвижную раму 1, которая подшипниковыми

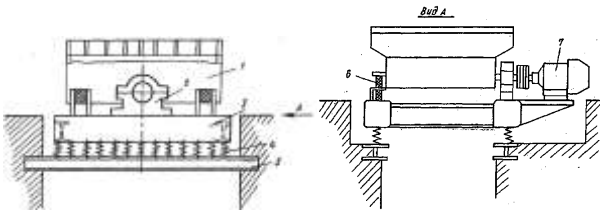


Рисунок 7 – Выбивная решетка [27]

опорами 2 эксцентрикового вала устанавливает на нижнюю опорную массивную раму 3. Последняя в свою очередь опирается через два ряда пружинных амортизаторов 4 на

строительную конструкцию 5. Между верхней и нижней рамами имеются резиновые амортизаторы 6. Привод 7 установлен на нижней раме 3. Динамические нагрузки от действующей решетки через резиновые амортизаторы 6 передаются нижней раме 3, вследствие чего нижняя рама 3 вместе с размещенной на ней верхней рамой 1 и приводом 7 совершает дополнительные колебания, вызванные упругостью пружинных амортизаторов 4.

Цель другого изобретения (рис. 8) [28] – создание инерционной решетки, амплитуда колебаний которой остается независимой от нагрузки и при этом облегчается переход через резонанс при пуске и остановке. Инерционная решетка состоит из неподвижной рамы 1 и подвижной рамы 2, между которыми расположена первая группа эластичных элементов (пружин)

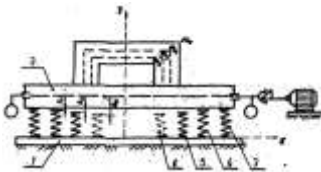


Рисунок 8 – Инерционная выбивная решетка [28]

3, вторая группа 4, третья 5 и т.д. с разными длинами и осадкой. При массе m_2 работает первая группа пружин, при m_4 – вторая, при m_5 – третья.

Часть технических решений по конструкциям решеток направлена на повышение сроков службы оборудования, облегчение прохода резонансных режимов и большей эффективности функционирования [28-31].

В ряде работ предпринята попытка на одном и том же оборудовании одновременно с процессом выбивки литья производить также дробление отработанной формовочной смеси. Так, в конструкции выбивной решетки [32] между поперечными балками решетки и продольными пластинами установлены выступающие под ними гибкие затворные элементы, расположенные под углом 70° к направлению транспортирования, что предотвращает прохождение земли над ними и, задерживая выход крупных комьев формовочной смеси, способствует их дроблению.

На другой установке [33] выбивка происходит на верхнем полотне 1, крупные комья смеси и частицы металла попадают через отверстия 0.50-75 мм на полотно 2, на котором производится дробление комьев смеси свободно лежащими на полотне шарами 3. Нераздробленные крупные комья и частицы металла удаляются с полотна 2 через отверстие 4. Мелкие комья и частицы подаются сквозь пазы полотна 2 на наклонное ситовое полотно 5, откуда раздробленная смесь сыпается на наклонное днище 6 и выдается по трубе 7. Нераздробленный материал поступает на плиту 8, где подвергается повторному дроблению шарами и удаляется по трубе 9 (рис. 9).

Согласно другому техническому решению [34] опоки со смесью устанавливают на плоскую горизонтальную решетку, переводят эту решетку в состояние вибрации до отделения отливки от земли, затем отливку удаляют, оставляя на ней комья смеси. Особенность способа состоит в том, что вслед за указанными операциями преобразуют плоскую горизонтальную поверхность в наклонные поверхности с возвышающимися по отношению к центру решетки краям и продолжают процесс в состоянии вибрации, что ускоряет процесс дробления (рис. 10).

Также для уменьшения шума предложена выбивная решетка (рис. 11) [35], которая имеет верхнее 1 и нижнее 2 полотна с соосными щелями 3. Полотна связаны между собой при помощи боковых планок

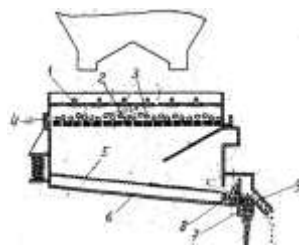


Рисунок 9 – Установка выбивки форм и дробления комьев отработанной смеси [33]

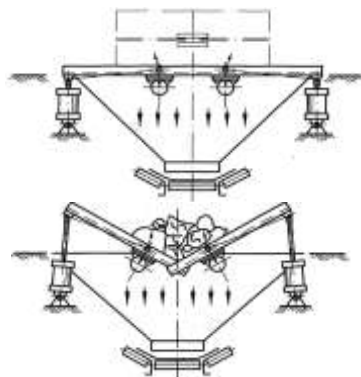


Рисунок 10 – Способ и устройство для выбивки формовочной смеси из опок и измельчения образующихся при этом комьев смеси [34]

4 винтами 5. Полотна изготавливаются из СЧ. Между полотнами 1 и 2 помещены демпфирующие средства 6, выполненные в виде медных труб 7, наполненных свинцовой дробью 8. Чтобы демпфирующие средства 6 не препятствовали свободному прохождению смеси через щели 3, сечения труб 7 выбирают незначительными. Сэндвич-полотно значительно поглощает колебания, гасит шум, возникающий при соударении отливок с решеткой.

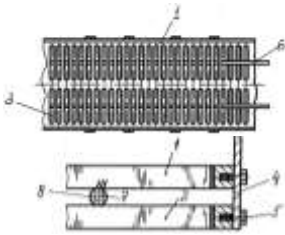


Рисунок 11 – Выбивная решетка с устройством для снижения уровня шума [35]

Сообщается также [36] о техническом решении для выбивки тяжелых форм массой до 10 т. Колебания решетки производятся двумя небалансовыми электродвигателями мощностью по 5 кВт. Диапазон колебаний решетки 5-8 мм с частотой 1500 об./мин. Решетка снабжена резиновыми амортизаторами. Под ней располагается бункер, снабженный вибротранспортером для отвода выбитой смеси.

Как на один из важных факторов снижения нагруженности вибрационных машин можно указать на технические решения с применением регулируемого дебалансного привода [37].

Описание большого разнообразия конструкций выбивных машин можно найти в диссертации [1].

Основываясь на рассмотрении широкого круга исследуемых конструкций, следует отметить их основные сложные черты: направленность на создание в технологическом грузе (выбиваемое из земляного кома литье) значительных инерционных нагрузок вследствие действия серии ударов об элементы вибромашины; несмотря на значительные и разнообразные конструктивные мероприятия по снижению нагрузок, передаваемых на корпуса вибромашин, данные усилия все равно остаются значительными.

Таким образом, можно сделать вывод о высокой вибронагруженности металлоконструкций выбивных машин, что влечет при их проектировании необходимость расчета динамического напряженно-деформированного состояния (НДС) от технологических ударных нагрузок.

Нагрузки, действующие на выбивные вибромашины. Определению нагрузок, действующих на элементы выбивных машин, посвящены как широко известные [11], так и новые работы [1, 2, 4, 5]. Рассмотрим эти подходы. Так, в [11] отмечается, что исследованию кинематики и динамики вибрационных машин уделяется внимание во многих исследованиях. Основными вопросами при этом являются создание адекватных математических моделей вибрационных процессов, выявление основных закономерностей исследуемых динамических процессов в технологических машинах, совершенствование конструкций этих машин и оптимизация их конструктивных, технологических и эксплуатационных параметров по критериям нагрузочной работоспособности, долговечности и минимальной материалоемкости.

В работах [1, 2, 11] авторы рассматривают математические модели, в ко-

торых эффективность выбивки определяется соударениями решетки и разрушаемой формы, что обеспечивается определенным значением так называемой удельной энергии удара e_0 (приходящейся на 1 кгс веса формы) (рис. 12). Удельная энергия удара связана с изменением скорости формы за время удара соотношением:

$$e_0 = m \cdot (u_2 - u_1)^2 / 2 \cdot G_\phi = (u_2 - u_1)^2 / 2 \cdot g, \quad (1)$$

где m , G_ϕ – масса и вес формы; u_1 , u_2 – вертикальные составляющие скорости формы после и до соударения с решеткой.

Величина e_0 измеряется в единицах длины и пропорциональна высоте, с которой необходимо сбросить опоку на неподвижную плиту, чтобы в момент соударения получить относительную скорость $u_{\text{отн}} = u_2 - u_1$. Именно этим способом экспериментально определяли конкретные значения e_0 , необходимые для обеспечения заданной производительности выбивки [11, 38, 39]. Последняя, как известно, зависит от степени уплотнения и степени предварительной подсушки форм (сырые, с поверхностной сушкой, сухие), состава формовочной смеси (обычные, жидкостекольные), а также от размеров формы. В соответствии с этим величина e_0 должна быть различной при выбивке различных форм. Практика показывает, что для наиболее легко выбиваемых сырых форм средней плотности с размерами опок (или ячеек крестовин) более 400×500 мм достаточна удельная энергия удара 15–20 мм.

Для эффективной выбивки наиболее прочных форм, изготовленных прессованием, под высоким давлением, а также форм из химически твердеющих жидкостекольных смесей необходима $e_0 = 35 \div 40$ мм. Таким образом, для обеспечения оптимального с точки зрения производительности и экономичности режима выбивки необходимо так подобрать параметры системы, чтобы при соударениях формы и решетки удельная энергия удара достигала технологически необходимой величины, для чего скорость формы за время удара в соответствии с (1) должна изменяться на величину: $u_{\text{отн}} = u_2 - u_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot e_0}$.

Для описания рабочего процесса выбивки выбивная решетка вместе с полезной нагрузкой представляется двухмассовой виброударной колебательной системой (см. рис. 12), в которой масса m_p представляет собой массу подвижных частей решетки, точечная масса m_c – массу полезного груза, жесткость C упругой связи равна суммарной жесткости упругих опор корпуса решетки, и для учета затухания колебаний введено упруговязкое сопротивление, величина которого характеризуется коэффици-

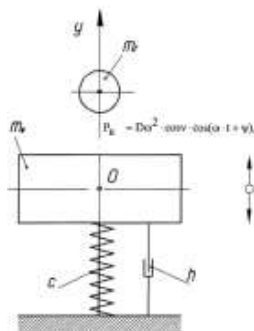


Рисунок 12 – Расчетная схема выбивной инерционной решетки

ентом демпфирования h . Воздействие вибровозбудителя на корпус решетки заменено периодической силой [39]: $P_{\sigma} = P_{\sigma, \max} \cdot \cos(\omega \cdot t + \psi)$, где $P_{\sigma, \max}$ – максимальное значение вертикальной составляющей возмущающей силы вибровозбудителя: $P_{\sigma, \max} = D \cdot \omega^2 \cdot \cos \nu$. Принятая расчетная схема выбивной решетки рассматривается при следующих условиях: а) величину точечного груза m_{σ} (полезная нагрузка, состоящая из комьев смеси и отливок, распределенных по полотну решетки случайным образом, и изменяющаяся по мере просеивания смеси сквозь щели полотна и при сходе с него отливок) принимаем постоянной и равной ее начальному значению; б) процесс соударения указанного точечного груза (массы m_{σ}) и полотна решетки (массы m_p) рассматриваем как прямой центральный удар двух тел; в) считаем, что ось вибровозбудителя совмещена с центром тяжести подвижных частей решетки.

В работе [1] для определения усилий, действующих на корпус вибромашины, привлекаются данные экспериментальных исследований ее опытного образца. В работе [2] эта задача поставлена в форме идентификаций выражения для вычисления силы ударного взаимодействия машины с технологическим грузом как функции фазовых переменных. Предполагаемый подход нацелен на получение более общих зависимостей, которые можно распространить на широкий класс конструкций. При этом ударные нагрузки получаются в виде результатов численного интегрирования уравнений движения исследуемой системы [2, 4, 5, 40, 41]. Их уровень может достичь более 1 МН [2].

Заключение. Проведенный анализ конструкций и усилий нагружений позволяет сделать следующие выводы:

1. В автоматических линиях литейного производства в качестве выбивных устройств, в основном, применяют инерционные выбивные решетки в сочетании с механизмом выдавливания кома. На выбивных решетках происходит разрушение кома, отделение отливок от формовочной смеси, прохождение отделенной смеси сквозь щели полотна на провал и одновременное автоматическое транспортирование отливок к разгрузочному торцу решетки.

2. Описание рабочего процесса выбивной инерционной решетки связано со значительными математическими трудностями из-за многообразия факторов, его определяющих и зависящих от конструктивных параметров решетки, от особенностей вибрационного режима, от вида нагрузки, являющейся сыпучей средой, неоднородной по составу и свойствам.

Расчет рабочих параметров решетки основан на рассмотрении уравнений движения масс решетки M_p и груза M_{σ} (т.е. кома смеси с отливками) в промежуток между двумя соударениями, причем их взаимодействие рассматривается как прямой центральный удар двух тел. При этом в построенных математических моделях предполагается также, что полезная масса M_{σ} представляет собой точечный груз, постоянный по массе и месторасположению. Фактически комья смеси распределяются по площади полотна случайным образом и масса кома

смеси при перемещении непрерывно убывает. Поэтому вышеуказанное допущение не дает возможности описать реальный процесс выбивки кома с отливкой.

3. Для достижения технологически необходимого эффекта выбивки требуется, чтобы при соударениях решетки и подлежащей разрушению формы было обеспечено определенное значение так называемой энергии удара e_0 , приходящейся на 1 кгс формы. При этом отмечается, что опыты по определению требуемой удельной энергии удара, необходимой для разрушения кома и отделения от смеси отливок на выбивных решетках автоматических линий, не проводилось. Рекомендуется предварительно принимать $e_0 = 25 - 40$ мм.

4. Разработанные в ряде работ подходы к расчетно-экспериментальной идентификации сил ударного взаимодействия технологического груза с корпусом вибромашины дают возможность более корректно ставить и решать задачу определения динамического НДС корпусов проектируемых машин и обоснования их рациональных параметров.

В ходе дальнейших исследований планируется провести анализ динамических процессов и НДС элементов вибромашин в условиях действия эксплуатационных нагрузок.

Список литературы: 1. Барчан С. М. Удосконалення методів розрахунку та конструкції вибвнної транспортуючої машини для формувальних ліній крупного литва : дис. канд. техн. наук : 05.02.02 / Барчан Євген Миколайович. – Маріуполь. – 2008. – 178 с. 2. Грабовский А. В. Ударное взаимодействие и динамические процессы в виброударных машинах с частичным разрушением технологического груза: дис. кандидата техн. наук: 05.02.09 / Грабовский Андрей Владимирович. – Харьков, 2010. – 181 с. 3. Грабовский А. В., Барчан Е. Н. Исследование динамического поведения и напряженно-деформированного состояния в элементах вибвнної машини при динамических быстроизменяющихся процессах // Вісник НТУ „ХПІ”. Тем. вип.: Машинознавство та САПР, 2008, №9. – С. 29–35. 4. Барчан Е. Н., Артемьев И. В., Грабовский А. В. Удосконалення методів розрахунку та конструкції вибвнної транспортуючої машини для формувальних ліній крупного литва // Вісник НТУ „ХПІ”. Тем. вип.: „Машинознавство та САПР”. – 2010, №19, с.18-34. 5. Грабовський А. В., Костенко Ю. В., Артемьмов І. В. Ударна взаємодія та динамічні процеси у віброударних машинах з частковим руйнуванням технологічного вантажу: задачі, методи, моделі // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вип.: Машиноведение и САПР. – 2011. – № 22. – С. 24-39. 6. Мысковский и др. Способ выбивки литейных форм. А. С. СССР № 1154036, В22D 29/00, БИ 1965, №17. 7. Штокаленко В. П. Механизм процесса вакуумного прошивания и определение рациональных параметров вибвнної установки. Автореферат канд. диссертации, Московский Государственный технический университет «МАМИ». Москва, 1999 г. 8. Nicklisch Paul Verfahren und Vorrichtung zum Ausleeren von Formkasten. Boettcher Rudiger; VEB Schwermaschinenbau Lauchhammerwert, пат. ГДР № 275598 МКИ В22D 29/00, 22.06.88. 9. Knight E.S. Separating sand and castings /British Foundryman/ 1979, 72, №6, p. 206-213. 10. А. С. СССР № 561620 В22D 29/00. / Коржун Н. В. и др./ Установка для выбивки литейных форм. опубл. 12.07.1977 г. 11. Горский А. И. Расчет машин и механизмов автоматических линий литейного производства. – М. Машиностроение, 1978. – 552 с. 12. Пономарев Н. Г., Кузин А. В. Рациональные схемы выбивных устройств //Литейное производство. – 1979. – № 4. – с. 28-29. 13. One simple «Common», Drive for Foundry Vibrating Equipment, Dumbaugh G.D., /Trans. Amer. Foundrymen's soc. – Vol 94. – Proc. 90-th Annu Meet, May 11-15, 1986. 14. The evolution of the foundry shakeout Little S.D. /Britist Foundryman/ 1986. – № 7. 15. Пономарев Н. Г., Кузин А. В. Особенности выбивки отливок из прочных форм //Литейное производство. –1981. – № 10. – С. 15. 16. Михеев А. С., Пономарев Н. Г., Смирнов А. В. Инерционная вибвнная решетка. Авт. св. СССР № 311701 МКИ В22D 29/02 Б.И. 1971, № 25. 17. Тавелинский И. А., Дестярь Р. М. Способ выбивки литейных форм, Авт. св. СССР № 1100044, кл. В22D 29/02, Б.И. 1984, № 24. 18. Ерохин Н. И., Мельниченко Е. Ф., Корнилов Ю. В., Шелпакин А. И. Установка для выбивки форм, Авт. св. СССР № 904886, кл. В22D29/02, Б.И., 1982 №6. 19. George W. Behnke, Russel G Westcott, Jackson A. Richmond, Apparatus for shaking out foundry flasks, Pat. USA № 3162910, Filed June 26, 1961, Ser. № 119722. 20. Mori Kuniyasu. Shake - out machine, Pat. Jp № 59019065, Publication date 1984-01-31. 21. Люкузович Л. Ф., Шохомовский С. С., Новиков А. В. и др. Устройство для выбивки и дробления комьев формовочных и стержневых смесей, Авт. св. СССР № 1068226 кл. В22D29/02, Б.И. 1984,

№3. **22.** Жмуденко А.С., Лют Г.М. Эксцентриковая выбивная решетка. Автор. СССР № 1144765, кл. В22D29/02, Б.И. 1985, №10. **23.** Цалик А.М., Гуральник И.И. Эксцентриковая выбивная решетка. Автор. СССР № 703236, кл. В22D29/02, Б.И. 1979, №46. **24.** Курочкин Л.В. Выбивная инерционная транспортирующая решетка. Автор. СССР № 1697978, кл. В22D29/02, Б.И. 1991, №46. **25.** Шифрин Л.М., Кружи И.И., Евласов Л.Н. и др. Устройство для выбивки форм. Автор. СССР № 1171201, кл. В22D29/00, Б.И. 1985, №29. **26.** Козулькевич М.Р., Э Королев Е.А., Ткаченко П.М., Федорук П.А. Инерционная решетка для выбивки форм. Автор. СССР № 799911, кл. В22D29/02, Б.И. 1981, №4. **27.** Тьмнев С.К., Драмов Б.Т., Стефанов С.В. и др. Инерционная стрыскваща решетка. Автор. Болгария № 30050, кл. В22D29/02, Б.И. 1981, №4. **28.** Картов Ю.И., Карпова Е.Ю. Выбивная транспортирующая решетка. Автор. СССР № 1488123, кл. С22D29/00, Б.И. 1989, №23. **29.** Горский А.И., Титов А.А., Бережанов И.П., Шапорин Д.И. Выбивная инерционная транспортирующая решетка. Автор. СССР № 840093, кл. В22D29/02, Б.И. 1981, №26. **30.** Ткаченко П.М. Инерционная транспортирующая решетка для выбивки форм. Автор. СССР № 1002090, кл. В22D29/00, Б.И. 1983, №9. **31.** Шифрин Л.М. и др. Выбивная инерционная решетка. Автор. СССР № 1235650, кл. В22D29/00, Б.И. 1986, №21. **32.** Милых Г.В. Вибрационная решетка. Автор. СССР № 1258605, Б.И. 1986 № 35 В22D 29/00. **33.** Deve Yagn. Shakeout and crasnings apparatus, Pat. USA, 241-7F/BD2C 17/02 №3897910. **34.** Jacob Herman Verfahren und Formasten und Zerklanera der dabei entsehenden Sandklollen, патент Германии, В22D 29/02 № 2522940, опубл. 9.09.76г. **35.** Musschoff Albert Vibratory conveyor with sound deadening means. Pat. USA, 198-220 BA(B656 27/00) №3770097 опубл. 6.11.1973г. **36.** Huspackrost for schwere GuBteile «Ind-Ans», 1978, 100, №28, 50. **37.** Сердюк Л.И. Основы теории, расчёт и конструирование управляемых вибрационных машин с дебалансными возбудителями. Дис. д-ра техн. наук: 05.02.02.01.02.06 / Харьков. Ордена Ленина и Ордена Октябр. рев-ии пол-ий ин-т им. В.И. Ленина. – X: 1991. **38.** Установка для охлаждения и выбивки залитых форм. Заявка 59-1062. Япония, МКИ В22D 29/02, опубл. 06.01.84. **39.** Improved sand and casting separation at Casting Limited /Foundry Trade j/ 1981, 151, №3228, 964. **40.** Костенко Ю.В., Ткачук Н.А., Грабовский А.В., Ткачук Н.Н. Численный анализ влияния модели для определения силы ударного взаимодействия на характер динамических процессов в виброударных системах // Механіка та машинобудування. – 2012. – №2. – С. 34-48. **41.** Деляк Т.М., Нісонський В.П., Шона В.М. Дослідження динамічного режиму роботи віброграпки з урахуванням сил в язгою опорю // Вісник НТУ «ХПІ». Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2011. – №22. – С.40-46.

Поступила в редколлегию 16.10.2012

УДК 623.438

С.П. БІСІК, к. т. н., нач. наук.-досл. лаб. Центральний наук.-досл. ін-та озброєння та військової техніки Збройних сил України (ЦНДІ ОВТ ЗСУ), Київ;
В.А. ГОЛУБ, к. т. н., с. н. с., нач. наук.-досл. від. ЦНДІ ОВТ ЗСУ, Київ;
О.Ю. ЛАРІН, к. т. н., докт. ЦНДІ ОВТ ЗСУ, Київ;
О.Л. ЧЕЧЕНКОВА, с. н. с. наук.-досл. від. ЦНДІ ОВТ ЗСУ, Київ

ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИБУХОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ МОДУЛЬНИХ СОТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ БОЙОВИХ БРОНЬОВАНИХ МАШИН

У роботі представлені результати математичного моделювання процесу підриву корпусу бойової броньованої машини на фугасних зарядах вибухової речовини. Проведена оцінка ефективності застосування енергопоглинаючих сотових конструкцій для підвищення рівня протимінної стійкості бойових броньованих машин за рахунок зменшення загальних прискорень корпусу та внутрішнього обладнання, що є основними уражаючими факторами вибуху при мінному підриві.

Ключові слова: бойова броньована машина, фугасний заряд, енергопоглинаюча сотова конструкція, уражаючий фактор

В работе представлены результаты математического моделирования процесса подрыва корпуса боевой бронированной машины на фугасных зарядах взрывчатого вещества. Проведена оценка