19. Eisenberg J. M., Batalov M. M., Murtazaev S-A. Y. Materials and construction for improving earthquake resistance of buildings and structures. -M: Comtech-Print, 2009–447p.
20. Bazhenov Yu. M. Materials and technologies for repair and reconstruction of buildings and structures. - M.: Komtekhn, 2011. – 233 p.

УДК 621.861

Кокоев М.Н., Федоров В.Т.

МОДУЛЬНАЯ ПЛОЩАДКА ДЛЯ МОНТАЖА ТЯЖЕЛОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Kokoev M.N., Fedorov V.T.

MODULAR STAGE FOR HEAVY MACHINERY ASSEMBLING AT THE INDUSTRIAL PLANTS

Аннотация. В статье рассмотрена модульная площадка для перемещения грузовой платформы на воздушной подушке. С помощью модульной площадки и грузовых платформ можно перемещать тяжелое оборудование с открытой территории предприятия внутрь цехов и монтировать его на подготовленные фундаменты. Рассмотрены две конструкции автоматических клапанов, используемых в модульной площадке. Приводятся сведения об испытании прототипа модульной площадки.

Ключевые слова: модульная площадка, грузовая платформа на воздушной подушке, промышленное оборудование, монтаж.

Abstract. This article proposes a design of the modular stage for the air-cushion service platforms. With the help of the modular stage and service platforms it is possible to carry heavy machinery from the outdoor territory of the plant into the workshops and mount it on the prepared basement. Two possible designs of automatic valves are suggested. Results of some tests of the prototype of the modular stage are included.

Key words: modular stage, air-cushion service platform, industrial equipment, assembly.

Введение. В предстоящие годы в Российской Федерации необходимо будет реконструировать и модернизировать сотни промышленных предприятий. Это связано с тем, что за четверть века на бывших предприятиях оборудование давно морально, а во многих отраслях и физически, устарело, разукomплектовано и пришло в негодность. В то же время капитальные здания и сооружения промышленных предприятий, в которых материализован труд предшествую-

щих поколений строителей, во многих случаях после ремонта можно использовать под новые технологии и оборудование.

При строительстве и реконструкции старых предприятий частая проблема – это извлечение оборудования из цехов на открытое пространство на территории завода, где можно использовать тяжелую подъемно-транспортную технику. Следом стоит обратная задача – перемещение новых станков, прессов и др. машин внутрь цехов на подготовленные фундаменты.

Использование для этих работ подручных средств и механизмов связано с о значительными затратами времени и небезопасно для работников.

За рубежом в последние 10-15 лет для перемещения тяжелого оборудования на предприятиях получило распространение использование плоских грузовых платформ на воздушной подушке с воздухоподачей от компрессора, стоящего отдельно от платформы.

Например, швейцарская фирма «LKS AG» (Luftkissensysteme AG) производит для этого плоские платформы [1]. Платформа выполнена в виде прочной панели, на нижней поверхности которой по периметру имеется уплотнение из пневматических трубчатых камер. Материал уплотнений – высокопрочный эластичный материал на основе армированной резины.

Тяжелое оборудование приподнимают над полом домкратами, заводят под него платформы – одну или несколько, что зависит от массы станка и его размеров. Опускают станок на платформы и по шлангам подают воздух от компрессора под платформу. Под платформой образуется воздушная подушка, которая приподнимает станок. Далее оборудование перемещают по горизонтали на другое место или к выходу из цеха. Одно из преимуществ платформ на воздушной подушке – возможность перемещения тяжелого оборудования и поворота его в любую сторону на месте в стесненных условиях цеха, сохранение оборудования и полов от повреждения. К сожалению, платформы типа «LKS AG» и подобные им могут работать только на ровных и гладких полах.

Расчеты показывают, что для работы такой платформы даже на гладком полу необходима подача воздуха достаточно большой мощности.

Например, для образования воздушного зазора высотой всего 2 мм между полом и платформой для перемещения оборудования массой, например, 5 тонн при давлении воздуха 10 кПа необходима воздухоподача мощностью около 45 кВт (это произведение расхода воздуха на давление с учетом общего КПД).

В данном случае принято условие, что площадь платформы должна быть примерно в 1,5 раза больше, чем это следует из простого расчета по закону Паскаля. Это связано с тем, что давление в воздушной подушке малой высоты под платформой распределяется неравномерно и сильно убывает от центра платформы к ее краям по мере увеличения скорости течения воздушного потока на периферии.

Указанный выше коэффициент может иметь интервал 1,2-1,8, что зависит от конструктивных факторов и условий эксплуатации платформы.

Однако на промышленных предприятиях часто есть необходимость перемещать оборудование массой до 30 тонн и более. Особенно это относится к

предприятиям машиностроения и промышленности строительных материалов. Кроме того, полы на предприятиях, которые построены 30-40 лет назад, имеют отклонения поверхности от плоскости и уступы до 10 и более сантиметров.

В случае, когда воздух для образования воздушной подушки под грузовой платформой подается снизу вверх из самой пустотелой модульной площадки, можно говорить о так называемой, инвертированной воздушной подушке. В свою очередь, воздух внутрь пустотелой площадки подается каким-либо внешним источником (вентилятором или компрессором).

Такой принцип, например, применяется в более простом виде в полиграфии для перемещения тяжелых пачек бумаги большого формата и картона на машинах для резки материала. Для этого используют стальной стол с полый столешницей.

В поверхность стола в большом количестве вмонтированы шариковые клапаны. Клапаны установлены так, что шарики частично выступают над поверхностью стола. Внутри полый столешницы подают сжатый воздух.

При прямом воздействии перемещаемого груза на шарик, он преодолевает действие пружины и сжатого воздуха и открывает выход воздуху в пространство между столом и грузом. Воздух вытекает из клапанов и создает тонкую воздушную подушку между грузом и столом. Благодаря этому рабочий может перемещать по столу груз массой до 300 кг. Аналогично устроены полы в некоторых зарубежных автофургонах и железнодорожных вагонах [2, 3]. Но для транспортировки тяжелого оборудования при монтажно-строительных работах на предприятиях эта техника не пригодна.

Постановка задачи. В 2004 г. в России разработана модульная площадка нового типа для перемещения грузовых платформ на инвертированной воздушной подушке [4, 5]. Модульная площадка позволяет использовать ее в паре с платформой для грузов различной массы, в том числе и весьма тяжелых. Площадка выполнена в виде однотипных прочных плоских модулей, внутри которых вмонтированы автоматические клапаны. Это позволяет собирать из модулей опорные поверхности в виде площадок необходимой ширины и протяженности для перемещения на платформах тяжелого оборудования.

Если на пути платформы поверхность неровная, с выбоинами и перепадами, то поверхность перед укладкой модулей выравнивают мелким щебнем фракцией 10-15 мм по всему маршруту движения платформы. Например, с открытой территории завода внутрь цеха на подготовленное для установки оборудования место.

Воздух для образования воздушной подушки под платформой, который подают внутрь модульной площадки с помощью вентилятора высокого давления, выходит из внутреннего пространства модулей через клапаны. Воздух попадает в клапаны через боковые окна в корпусе клапана (рис.1).

Клапан состоит из корпуса и подвижного поршня, который в верхнем положении своим телом перекрывает боковые окна в корпусе клапана. Под поршнем находится пружина, которая в закрытом состоянии клапана прижимает поршень вверх. Для того чтобы давление воздушной подушки могло открыть

клапан, полость под поршнем сообщается с атмосферой через отверстие в днище коробки модуля. Модуль лежит на слое щебня, который пропускает достаточное количество атмосферного воздуха в подпоршневое пространство клапана.

При монтаже площадки модули соединяют вместе так, что площадка образует общее внутреннее пространство. Внутри площадки центробежный вентилятор подает воздух под давлением от 5 до 15 кПа. Давление и расход воздуха зависят от массы груза и размеров грузовой платформы.

В каком бы месте площадки грузовая платформа не находилась, автоматические клапаны открываются под платформой под действием давления воздушной подушки на поршни клапанов. Как только грузовая платформа вместе с воздушной подушкой под ней переместится в сторону, клапаны тут же закрываются.

При уходе платформы давление над клапаном падает до атмосферного. Пружина в клапане поднимает поршень вверх до упора и клапан закрывается. Поэтому, при движении платформы в пределах площадки, под ней всегда существует воздушная подушка.

Методика испытаний. Как видно на рис. 1 каждый модуль состоит из небольшого количества однотипных деталей.

Изготовленные и испытанные прототипы модулей имеют форму квадрата в плане. Каждый модуль содержит 4 клапана. Для монтажных работ, в зависимости от поставленных задач, из модулей можно собрать временную площадку любой конфигурации и размеров. По завершении монтажных работ площадка разбирается на модули для перевозки к новому месту работ.

Испытания изготовленного прототипа площадки для платформ показали, что после ухода платформы клапан закрывается недостаточно быстро.

Замедленное закрытие клапана, иногда до 2-3 с, приводит к повышенному расходу воздуха и увеличивает затраты энергии на работу вентиляторов.

Причина работы клапана с задержкой в следующем.

Рисунок 1 – Принцип работы автоматического клапана модульной площадки для перемещения и монтажа тяжелого оборудования.

1 – поверхность модуля, над которой перемещается грузовая платформа 2.

3 – выравнивающий слой мелкого щебня под модулями площадки, 4 – направление перемещения грузовой платформы, 5 – корпус клапана, 6 – окна для входа воздуха внутрь клапана, 7 – окно для выхода воздуха из клапана, 8 – поршень, 9 – пружина, 10 – вход для воздуха в клапан закрыт, 11 – клапан открыт, воздух выходит через клапан под грузовую платформу 2.

При открытом клапане потоки воздуха с большой скоростью симметрично входят через окна внутрь клапана (см. рис. 2 слева).

Эти потоки сталкиваются в центре корпуса над поршнем. Далее воздушный поток поворачивает вверх и уходит из клапана в атмосферу над площадкой. В соответствии с законом Д. Бернулли, при падении скорости воздушного потока с постоянным расходом давление в нём увеличивается. В результате в открытом клапане непосредственно над поршнем, где тормозится воздушный поток, создается область повышенного давления. Это давление противодействует быстрому закрытию клапана. Вследствие этого непроизводительный расход воздуха увеличивается.

С другой стороны, повысить жесткость пружины для преодоления поршнем противодействия воздуха при закрытии клапана, нельзя. Увеличение жесткости пружины приведет к уменьшению хода поршня при открытии клапана и недостаточной подачи воздуха под платформу.

Для модульных площадок с целью перемещения платформ на воздушной подушке был разработан быстродействующий клапан. В новом клапане окна в боковой стенке корпуса выполнены с направляющими воздух лопатками, расположенными под углом 30 градусов к диаметральной секущим плоскостям корпуса клапана, проходящим через места крепления лопаток к корпусу (см. рис. 2 справа). Благодаря тому, что направляющие воздух лопатки у окон выполнены под углом, воздушные потоки входят в клапан тангенциально и закручиваются относительно продольной оси корпуса клапана. Вообще, угол между лопаткой и диаметральной секущей плоскостью может быть в интервале $\pm (15-45)$ градусов и задается в зависимости от других параметров клапана и рабочего давления воздуха.

Хотя технологически корпус клапана с наклонными лопатками требует использования несколько более сложной технологической оснастки, это, как показали испытания, было оправдано.

Рисунок 2 – Схема, поясняющая работу обычного и быстродействующего

клапана для подачи воздуха с целью образования воздушной подушки под платформой

На левом рисунке лопатки на окнах в корпусе обычного клапана расположены так, что направляют воздух к центру клапана. В центре клапана потоки сталкиваются, их скорость падает над поршнем, создается область высокого давления. Это давление противодействует быстрому закрытию клапана.

На правом рисунке лопатки расположены под углом к соответствующим радиусам. Поэтому воздушный поток входит в клапан тангенциально и образует циклон. Над поршнем образуется зона отрицательного давления. Это разрежение вместе с пружиной поднимают поршень вверх. Благодаря этому клапан закрывается много быстрее, чем обычный клапан, показанный на левом рисунке.

Результаты эксперимента и их обсуждение.

Проведенные испытания макетного образца на опытной модульной площадке для платформ на воздушной подушке и расчеты показали следующее.

Частота вращения воздушного потока в корпусе клапана в открытом состоянии при оптимальных размерах очень велика и превышает 50 1/с.

Вследствие быстрого вращения воздушного потока над поршнем образуется зона низкого давления, в которой давление воздуха существенно ниже атмосферного.

В результате быстрое закрытие клапана происходит под действием двух сил: силы сжатой пружины и разрежения над поршнем за счет вращения воздушного потока. Большое разрежение над поршнем возникает в случае, когда расход воздуха через клапан максимален. Это соответствует тому моменту, когда платформа уходит в сторону от клапана, и воздух может свободно истекать в атмосферу через отверстия в крышке клапана (рис. 1).

Когда платформа находится непосредственно над клапаном, то его закрытие под действием разрежения не происходит, поскольку скорость истечения воздуха через клапан под платформу много меньше, чем при отсутствии над клапаном платформы. При уходе платформы в сторону, давление над клапаном падает до атмосферного. Вследствие этого скорость потока через клапан резко возрастает, соответственно увеличивается разрежение над клапаном и он быстро закрывается.

Испытания опытного образца клапана показали, что разработанный клапан при одинаковом рабочем давлении воздуха закрывается за время около 0,2 с, что на порядок быстрее прототипа.

Вывод. При эксплуатации модульных площадок, нужно иметь в виду, что трение между грузовой платформой на воздушной подушке и площадкой, практически отсутствует. Это большое преимущество перед любыми другими средствами механизации монтажных работ, особенно в стесненных внутрицеховых условиях. С другой стороны, применение грузовых платформ на воздушной подушке требует учета того, что при отсутствии горизонтальных креплений и страховок платформа легко сползает к краю площадки даже при очень малых

уклонах. Поэтому монтажникам нужно применять соответствующие страховочные меры для исключения самопроизвольного перемещения платформы с оборудованием.

Библиографический список:

1. Проспект монтажного оборудования швейцарской фирмы «LKS AG» Luftkissensysteme AG. URL: <http://www.lks.ch> (дата обращения 21.08.2013).
2. Патент US 3108698 A (США); опубл. 29.10.1963.
3. Патент GB N 1021040 A (Великобритания); опубл. 23.02.1966.
4. Патент RU 2271290 C2, МПК B60V 1/100; B60V 3/04. Опора с несущей поверхностью для перемещения платформы на воздушной подушке / Федоров В.Т.; приоритет 20.04.2004.
5. European patent N 1747157 C2, МПК B60V 1/100; Auflager mit Tragflaeche zum Bewegen einer Plattform auf einem Luftkissen / Fedorov V.T.; Airglide Technologies AG (CH); 03.09.2008.

References:

1. The prospect of mounting equipment of the Swiss company "LKS AG Luftkissensysteme AG. URL: <http://www.lks.ch> (accessed 21.08.2013).
2. Patent, US 3108698 (USA); publ. 29.10.1963.
3. The patent GB N 1021040 A (UK); publ. 23.02.1966.
4. Patent RU 2271290 C2, IPC B60V 1/100; B60V 3/04. Bearing with carrier in the surface to move the air cushion platform, Fedorov V. T.; priority 20.04.2004.
5. European patent N 1747157 C2, IPC B60V 1/100; Tragflaeche mit Auflager zum Bewegen einer Plattform auf einem Luftkissen, Fedorov V. T.; Airglide Technologies AG (CH); 03.09.2008.

УДК 621.22

Курбанова З.А.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТОВ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ВОДОСЛИВНОГО ФРОНТА ПЛОТИНЫ НА НЕСКАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ

Kurbanova Z.A.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR THE CALCULATION OF THE OPTIMUM PROFILE OF THE WATER DRAIN FRONT OF THE DAM ON OF NON-ROCK FOUNDATION

***Аннотация.** Одной из основных задач, решаемых при проектировании низконапорных водосливных плотин на скальных основаниях, является проектирование оптимального профиля водосливного фронта, имеющего мини-*