

Л.А. Сиваченко,
д.т.н., проф.
Белорусско-Российский
университет



А.В. Балобешко,
заместитель
директора



Т.Л. Сиваченко,
заместитель директора
КБ «Промышленные
технологии и комплексы»



ПРЯМОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Аннотация

Описаны возможные варианты преобразования потоков ветра в различные виды энергии. Показано, что во многих случаях предпочтнее следует отдавать чисто механической трансформации энергии без преобразования ее в электричество. Обоснована идеология прямого использования энергии ветра в технологических процессах. Приведены примеры прямого использования энергии ветра для получения сжатого воздуха, помола различных материалов, подъема воды, распиловки древесины, пневмотранспорта сыпучих материалов, холодной сушки влажных материалов и осуществления ряда других процессов.

Abstract

The possible options for converting wind flow energy into various kinds of energy are described. It is shown that in many cases preference should be given to purely mechanical energy transformation without converting it into electricity. The ideology of the direct use of wind energy in industrial processes is grounded. Examples of direct use of wind energy to generate compressed air, grinding a variety of materials, rising water, sawing wood, pneumatic transport of bulk materials, cold drying wet materials and the implementation of a number of other processes are given.

Исходные положения

Ветер служит человеку с древних времен и первоначально использовался в качестве простейших двигателей: паруса, ветроколеса или ветряной мельницы. Так, в России в XIX веке миллионы таких мельниц молотили зерно, огромное их количество использовалось во многих странах например, для водоподъема, а с 30-х годов XX века – и для получения электроэнергии. Однако, послевоенный период, когда развитие получили мощные тепловые, гидравлические и атомные электрические станции, характеризовался спадом в развитии ветроэнергетики, по сути она была предана забвению, как это случилось в СССР.

В последние десятилетия ветроэнергетика как отрасль возобновляемой энергетики активно развивается во всем мире. Последние десятилетия характеризуются не только нарастающим интересом, но и большими практическими достижениями в использовании ветроэнергетики. Лидирующие позиции в мире в этом направлении занимают Германия, Дания, Нидерланды, США и ряд других стран. Современные ветроагрегаты создаются на основе новейших достижений в области аэродинамики, электропривода, систем управления.

Энергия движущихся воздушных потоков огромна и неисчерпаема, но ее широкое использование наталкивается на целый ряд трудностей. К их числу, в первую очередь, следует отнести непостоянство движения воздушных потоков по направлению, скорости и времени на разной высоте от по-

верхности земли, а также несовершенство конструкций ветродвигателей, которые обычно выполняются в виде ветроуловителей, турбин или других вращающихся конструкций [1].

Преобладающее большинство агрегатов создается для получения электроэнергии, но это далеко не всегда лучшее решение. Во-первых, преобразование воздушного потока в электроэнергию требуемых параметров приводит к значительным потерям энергии и усложнению конструкций агрегатов в целом, а во-вторых, во многих производствах нужна не электрическая, а механическая энергия, что требует еще одной стадии ее трансформации [1, 2]. Итоговая эффективность таких установок существенно снижается, повышаются стоимость оборудования и срок его окупаемости, возрастают эксплуатационные издержки, многие потенциальные потребители не могут подобрать подходящее под свои условия оборудование, а потенциальные инвесторы вкладывают свои средства в другие проекты.

Идеология прямого использования энергии ветра в технологических условиях

Работа, производимая на ряде современных производств, характеризуется выполнением следующих основных действий [3]:

– диспергирование – дробление, измельчение, резание, разрушение горных пород, распыление, расплавление, расщепление и др.,

– гомогенизация – усреднение, смешивание, тепло- и массообмен, обогащение, пропитка, 3D-процессы, сортировка и др.,
– компактирование – формование, пресование, спекание, гранулирование, уплотнение, окомкование, 3D-процессы и др.

Техническими средствами при этом выступают машины и агрегаты, основанные на соответствующих принципах действия. Морфологический анализ осуществляемых в промышленности процессов показывает, что в основу большинства из них заложено механическое воздействие на перерабатываемую среду, известное с древних времен и усовершенствованное в последние 150–200 лет, причем преимущественно в части привода, аппаратуростроения и управления. К таким процессам относятся: измельчение, смешивание, грохочение, уплотнение материалов, распиловка древесины, получение сжатого воздуха, пневмотранспорт, подъем шахтных клетей, подача воды, создание ударных механизмов и т.д.

Кинематика движения рабочих органов и других элементов технологических машин, рассматриваемая для использования в них энергии движущихся воздушных масс, сводится к элементарным перемещениям – вращательному, возвратно-поступательному и вибрационному. Следовательно, очевидная инженерная задача состоит в том, чтобы простейшим образом преобразовать механическое движение ветродвигателя и передать его с минимальными потерями исполнительным органам технологических аппаратов.

Варианты прямого использования энергии ветра в технологических процессах

Представим для обсуждения несколько конкретных предложений, касающихся решения поставленных задач. В качестве ветродвигателей остановимся на осевой турбине и ветророторе, оси которых установлены горизонтально, а первичным передаточным механизмом является зубчатый мультипликатор. Такой выбор обусловлен, во-первых, простотой конструктивного исполнения базовых механизмов новых ветроагрегатов, а во-вторых, возможностью использования существующих ветродвигателей, которые широко применяются в составе ветроустановок. При этом энергопроводящими звеньями в предлагаемых установках служат сжатый воздух и стальной трос, работающий на подъем.

Холодная сушка влажных сырьевых материалов. Принципиальная схема агрегата для измельчения влажного сырья и удаления из него влаги потоком воздуха приведена на рисунке 1 [4, 5]. Для создания необходимого по интенсивности потока воздуха планируется использовать лопастный мачтовый ветроагрегат, в котором вместо генератора установлен центробежный компрессор. Устройство такого ветроагрегата будет рассмотрено ниже.

Агрегат для измельчения и удаления влаги из сырьевого материала включает корпус 1 с установленным на нем приемным бункером 2. В корпусе 1 размещен фрезерный измельчитель 3, осуществляющий разрушение крупных кусков и препятствующий образованию больших кусков слипающегося перерабатываемого материала, который измельчается цепным рыхлителем 4, связанным с приводом 5. Причем нижняя часть корпуса 1 совмещена с камерой для удаления влаги 6, снабженной патрубком для подачи газового агента 7. Более крупные куски измельченного и подсушенного материала осаждаются в воронке 8, в то время как более мелкие частицы вместе с газовым агентом и влагой попадают в циклон 9, в котором происходит осаждение этих частиц измельченного и подсушенного материала. Отработанный газовый агент вместе с влагой удаляется вытяжкой 10.

Главным аргументом в пользу предлагаемого способа осуществления процесса холодной сушки служит эффект срыва влаги с поверхности влажных частиц, который хорошо себя зарекомендовал на угольных частицах [6] и дает все основания считать, что значительную часть свободной влаги, содержащейся в таких широко применяемых в промышленности материалах, как мел, мергель, глина, торф и другие, можно достаточно эффективно «сдувать», понижая итоговую их влажность на 7–

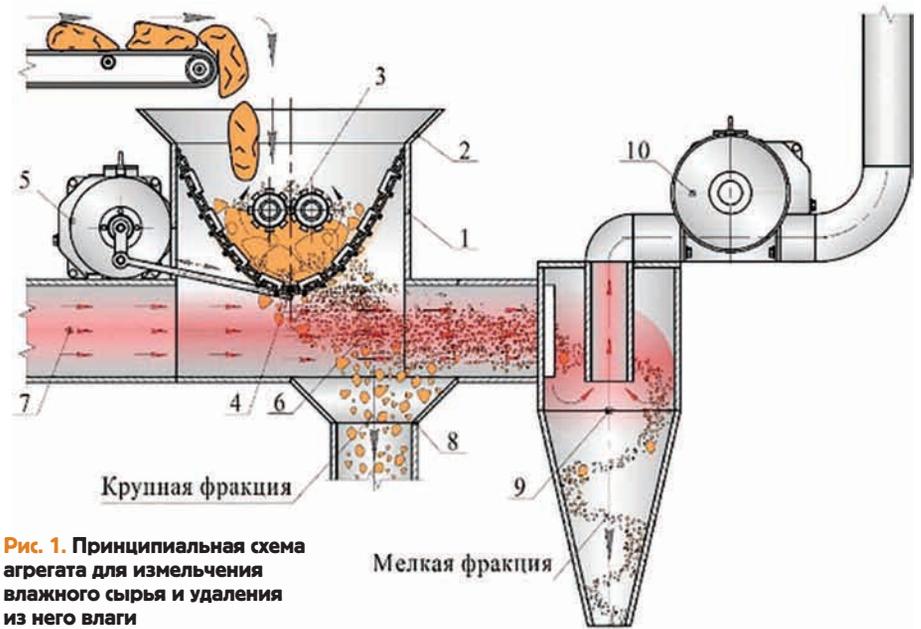


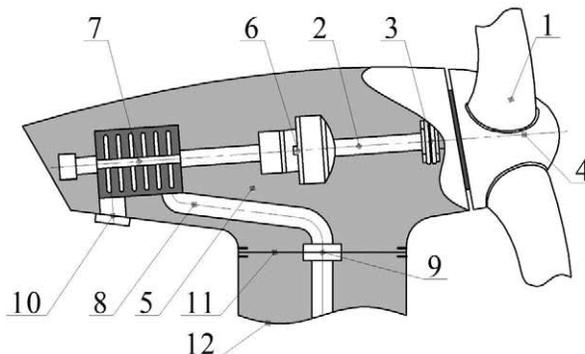
Рис. 1. Принципиальная схема агрегата для измельчения влажного сырья и удаления из него влаги

10%, т.е. отбирать до 20–30% их суммарной влаги. Исходным условием достижения такого результата следует считать раскрытие поверхности влажных материалов, т.е. измельчение до частиц определенного размера, что в представленном агрегате обеспечивается двухстадийным измельчением.

К ветроагрегату подобной конструкции проявляют интерес многие производители, в частности, представители кирпичных, известковых и цементных заводов сухого способа производства, но создание промышленной установки требует выполнения сложных и дорогостоящих НИОКР.

Ветроагрегат для получения сжатого воздуха. Конструкция непосредственно рабочей части ветроагрегата представлена на рисунке 2 [5]. Она включает в себя лопасти 1, смонтированные на главном валу 2 главного подшипника 3 ступицы 4. В гондole 5 соосно размещен повышающий редуктор 6, связанный с центробежным компрессором 7, который соединен с трубопроводом 8, имеющим подвижное уплотнение 9, и снабжен воздухозаборником 10. Гондola 5 смонтирована посредством поворотного устройства 11 на мачте 12.

Рис. 2. Ветроагрегат для получения сжатого воздуха



Принцип работы ветроагрегата данной конструкции, предложенной бывшим начальником Могилевского областного управления по надзору за рациональным использованием ТЭР А.И. Сазоновым, не требует дополнительных пояснений и отличается от известных решений включением в его состав центробежного компрессора 7, который через воздухозаборник 10 всасывает атмосферный воздух и нагнетает его в трубопровод 8. По трубопроводу под давлением 0,4–0,8 мПа воздух поступает на соответствующую технологию. При этом гондola 5 поворачивается относительно мачты 12 в поворотном устройстве 11, а трубопровод 8 имеет подвижное уплотнение 9.

Полученный таким образом сжатый воздух может быть использован для подачи в пневмосеть потребителя и выполнять различные технологические функции: помол, смешивание материалов, пневмотранспорт, классификация, сушка, барботаж, охлаждение, активизация процесса горения и т.д. Помимо описанной конструкции ветроагрегата для заданных задач могут быть использованы и другие ветродвигатели, например, лопастные с вертикальной осью, роторные, турбинные, ортогональные и др. [1].

Ветроагрегат для струйного измельчения [7]. Использование энергии ветра может кардинально изменить работу струйной мельницы. Ветроагрегат для струйного измельчения, изображенный на рисунке 3, содержит конфузур 1 для концентрации воздушного потока, в горловине которого в цилиндрическом корпусе 2 установлено турбинное колесо 3. Ротор 6 турбин-

Рис. 3. Ветроагрегат для струйного измельчения

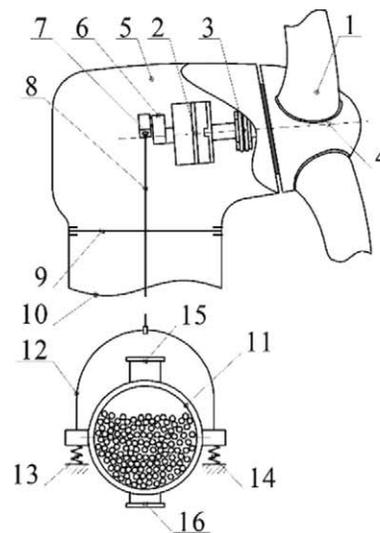
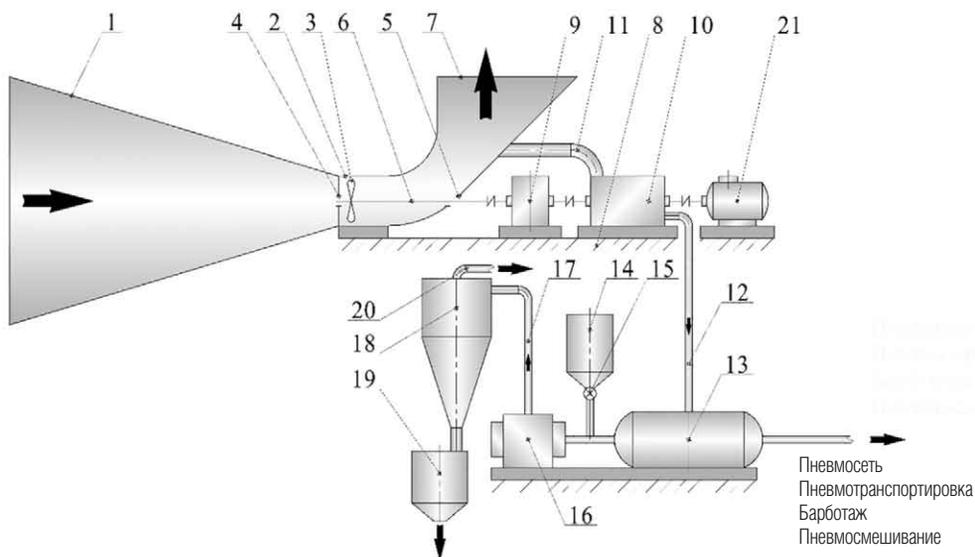


Рис. 4. Установка с тросовым приводом от ветроагрегата для вибропомола материалов

ного колеса 3 закреплен на опорах 4 и 5, а для выпуска отработанного воздуха предусмотрен патрубок 7. Вся ветроэнергетическая часть смонтирована на несущей конструкции 8, на которой установлены мультипликатор 9 и компрессор 10, кинематически соединенные с ротором 6 турбинного колеса 3. Забор воздуха в компрессор 10 и его подача под давлением в систему измельчения осуществляются соответственно через патрубок 11, соединенный с патрубком 7 для выпуска отработанного после турбинного колеса 3 воздуха, и через напорный трубопровод 12.

Технологическая цепь струйного измельчителя включает в себя ресивер 13, бункер 14 с исходным материалом, подлежащим измельчению, питатель 15, струйную мельницу 16, отводящий трубопровод 17, осадительную камеру 18, выходную трубу 20 для удаления отработанного газового агента. Встроенная в состав оборудования ветроагрегата обратимая электромашинка 21 обеспечивает устойчивую работу всей установки, выполняя функции электродвигателя привода компрессора при недостаточной скорости ветра и генератора электрического тока в случае повышенной скорости ветра или неполной загрузки струйной мельницы.

На наш взгляд, в качестве ветродвигателя в подобных конструкциях лучше всего использовать не турбинное колесо, а горизонтальный ветроротор, который удобно монтировать на промышленных объектах непосредственно в зоне проведения технологических процессов. При этом ряд аппаратов для тонкого и сверхтонкого помола, например, вибрационных, бисерных, пружинных, молотковых и других, можно непосредственно соединять с быстроходным валом. Наиболее целесообразно использовать подобный подход для работы мельниц с очень длительным циклом помола, которые мало чувствительны

к колебаниям потоков ветра. Лучше всего этим условиям соответствуют вибрационные мельницы. Если аппараты для помола располагать непосредственно на выходном валу ветродвигателя, то главным недостатком такого подхода следует считать установку мельницы на соответствующей высоте.

Наши предки широко использовали энергию ветра непосредственно для совершения нужной работы, в частности, для помола зерна. В промышленности строительных материалов можно найти целый ряд других применений энергии ветра без ее промежуточных трансформаций. Так, откачка воды в карьерах вполне по силам вертикальным роторным ветроагрегатам, а замена напорных вентиляторов – скоростным осевым турбинам. Не лишним будет в дальнейшем обратить внимание и на тепловые насосы в составе рассматриваемых ветроагрегатов. Подобный список можно продолжить, но важнейшим должен являться тот неоспоримый факт, что ветроустановка выступает в этих примерах значимым и доступным для реального потребителя возобновляемым источником энергии.

Многоцелевой ветроагрегат с тросовым приводом рабочего оборудования. В качестве одного из вариантов использования такого оборудования представим установку для вибрационного помола материалов (см. рисунок 4), которая состоит из лопастей 1, мультипликатора 2, главного подшипника 3, ступицы 4 и гондолы 5. На выходном валу мультипликатора 2 закреплен эксцентрик 6 с шарнирно смонтированной на нем серьгой 7 с тросом 8, который своим нижним концом связан с подвесом 12

вибромельницы 11. Гондола 5 установлена на поворотном устройстве 9 мачты 10, а вибромельница 11 опирается на амортизаторы 13–14 и имеет устройства 15–16 соответственно для загрузки и выгрузки материала.

Принцип действия установки сводится к приданию тросу 8 возвратно-поступательных перемещений за счет вращающегося эксцентрика 6. В качестве возвратного механизма в процессе работы вибромельницы 11 выступают пружинные амортизаторы 13–14. Процесс измельчения материала происходит в рабочей камере мельницы посредством многократных воздействий мелющих тел на

частицы исходного продукта. Характер этих колебаний – вертикальные, направленного действия, частота их равна частоте вращения выходного вала мультипликатора, а амплитуда – двойной величине эксцентриситета оси эксцентрика относительно оси выходного вала мультипликатора.

Выбор вибромельницы в качестве объекта использования тросового привода для передачи энергии от ветродвигателя на рабочее оборудование обусловлен тем, что такие машины предназначены для тонкого и сверхтонкого помола, в том числе для получения значительной доли наночастиц, имеют длительный период времени от загрузки до выгрузки материала, а управление их работой удобно автоматизировать, например, по счетчику интенсивности процесса виброколебаний.

В ряде случаев, исходя из требований кинематики движения, целесообразно использовать двухтросовый привод. Пример его использования иллюстрируется рисунком 5, на котором показано, что крутящий момент от главного вала 1 передается на мульти-

При правильном выборе объекта для внедрения разработанного оборудования можно ожидать, что это позволит получить достаточно значимый экономический эффект.



Рис. 5. Схема механизма для двухтросового привода рабочего оборудования

пликатор (редуктор) 2, выходной вал 3 которого имеет два рабочих конца с закрепленными на них эксцентриками 4–5 и шарнирно подвешенными тягами 6–7. Установка эксцентриков 4–5 в противофазах вращения позволяет исключить из конструкции возвратные механизмы, улучшить условия работы агрегата в целом и повысить его энергетическую эффективность.

Ветроагрегаты с тросовым приводом, по нашему мнению, могут быть использованы для распиловки древесины, подъема воды, например, при ее откачке из карьеров, для перемешивания суспензий взамен барботаж в вертикальных емкостях и на многих других направлениях. Компрессорная генерация энергии может иметь очень широкое применение, но в ней много нерешенных проблем, в том числе главная – сам компрессор, который должен быть разработан под новые условия функционирования.

Заключение

Разработанные варианты прямого использования энергии ветра в технологических процессах охватывают только некоторую часть из возможных направлений практического использования этого важного направления энергосбережения. При правильном выборе объекта для внедрения разработанного оборудования можно ожидать, что это позволит получить достаточно значимый экономический эффект.

Нельзя обойти стороной ряд сложных задач, которые при этом следует решить. Первой из них нужно считать привязку технологического объекта внедрения к стационарному ветроагрегату. Второй по важности является задача привязки характеристик реальных потоков ветра к технологическим условиям производства, использующего новый ветроагрегат. Кроме того, потребуются спроектировать надежные конструкции ветроагрегатов, создать системы управления и скоординировать их совместную работу в составе технологических комплексов.

Прямое использование энергии ветра в современных технологических процессах имеет крайне малое применение. Здесь огромный простор не только для творчества, но и для широкой практической реализации многих идей. В народном хозяйстве Республики Беларусь имеется множество направлений технологического применения энергии ветра. Надеемся, что наши публикации помогут активизировать работы по созданию отечественных ветроагрегатов, основанных на новых технических решениях и обеспечивающих повышение энергоэффективности производственной сферы.

Литература

1. Русан В.И. Возобновляемая энергетика и энергетическая безопасность / В.И. Русан, Ю.С. Почанин, В.П. Нистюк / Под ред. Русана В.И. – Минск: Энергопресс, 2014. – 646 с.
2. Сиваченко Л.А. Использование энергии ветра в технологиях производства строительных материалов / Л.А. Сиваченко, Ю.К. Добровольский. – Энергоэффективность. – 2014. – №8. – с. 29–31.
3. Севостьянов В.С. Научные создания и расчет технологических комплексов для производства строительных материалов и изделий / В.С. Севостьянов, А.Е. Качаев, М.В. Севостьянов. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – 190 с.
4. Инновационный патент на изобретение Республики Казахстан №29108 «Способ подготовки и проведения сушки влажных материалов». Заявка №2013/1214.1 от 17.09.2013. Опубл. 17.11.2014, бюл. № 11. Авторы Унаспеков Б.А., Сиваченко Л.А., Сиваченко К.Л., Голбан Е.Г.
5. Сиваченко Л.А. Технологические переделы с максимальным потенциалом энергосбережения / Л.А. Сиваченко, У.К. Кусебаев, И.А. Реутский, А.М. Ровский. – Энергоэффективность. – 2015. – № 11. – С. 24–30.
6. Филиппов В.А. Технология сушки и термоаэроклассификации углей / В.А. Филиппов. – М.: Недра, 1987. – 287 с.
7. Инновационный патент на изобретение Республики Казахстан №28146 «Турбинный ветроагрегат для струйного измельчения». Заявка №2013/0485.1 от 05.04.2013. Опубл. 21.01.2014, бюл. №1. Авторы Унаспеков Б.А., Сиваченко Л.А., Голбан Е.Г. ■

Статья поступила в редакцию 29.11.2016

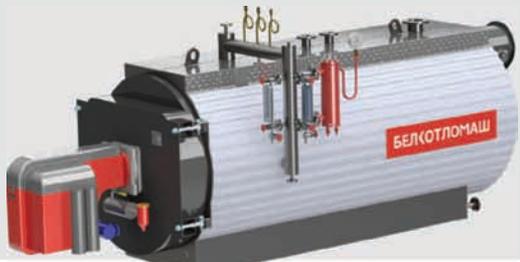


БЕЛКОТЛОМАШ
научно-производственное предприятие

НПП «Белкотломаш» ООО
211361, Беларусь, Бешенковичи, ул. Строителей, 10
sale@belboiler.by
+375 (33) 398-08-08
+375 (29) 398-08-08

Производство котлов и котельного оборудования

- > котлы на газовом и жидком топливе мощностью от 0,1 до 15 МВт
- > котлы на твердом топливе мощностью от 0,1 до 10 МВт
- > блочно-модульные котельные производительностью от 0,1 до 30 МВт



«Иста Митеринг Сервис» • 220034, г. Минск, ул. 3. Бядуи, 12
тел.: (017)294-3311, 293-6849, 283-6858; факс: (017)293-0569
e-mail: minsk@ista.by • http://www.ista.by
отдел расчетов: (017)290-5667 (-68) • e-mail: billing@ista.by



- Система индивидуального (поквартирного) учета тепловой энергии на базе распределителей тепла «Экземпер», «Доприно III радио»: от монтажа приборов до абонентских расчетов для десятков тысяч потребителей.
- Энергосберегающее оборудование «Данфосс», «Заутер», «Петтинароли»: радиаторные термостаты, системы автоматического регулирования отопления зданий, арматура.
- Приборы учета тепловой энергии «Сенсоник II» с расходом теплоносителя от 0,6 до 2,5 м³/ч с возможностью удаленного сбора информации.
- Запорно-регулирующая арматура: шаровые краны, радиаторные вентили, задвижки, фильтры, компенсаторы, обратные клапаны и т.д.
- Насосное оборудование «Грундфос», «Вортекс».