
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ КОНСОЛЬНОЙ МЕЛЬНИЦЫ



Р.В. Шалгинов,
E-mail: mamoru@list.ru.

О.З. Халимов,
E-mail: halimovoz@mail.ru

«Хакасский технический институт – филиал
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Сибирский федеральный университет»

Необходимость в проведении данной работы возникла в связи с обращением Заказчика по поводу появления повышенной вибрации фундамента под оборудование (мельница консольная марки МК-315) и трещин в нем. Экспертные работы проведены в соответствии с нормативными документами [1-11].

Объект расположен на участке переработки грейферного электролита внутри одноэтажного каркасного здания на территории промышленного предприятия в Республике Хакасия. Общий вид и схематичные чертежи мельницы МК-315 приведены на рис. 1 — 3.

Мельница состоит из постамента , барабана , вала , электродвигателя , редуктора основного привода , вспомогательного привода проворота барабана , рамы , верхнего и нижних кожухов с люками . Барабан состоит из двух половин, стягиваемых болтовыми соединениями и обвариваемыми между собой после сборки. Барабан закреплен консольно, через конические кольца на валу . Вращение барабана осуществляется от электродвигателя , через редуктор и вал . При вращении мельницы, осуществляется измельчение находящейся в мельнице среды (грейферный электролит), которая поступает через центральное отверстие $\varnothing 1$ м. Разгрузка

материала осуществляется через решетки в барабане и далее через бункер в кожухе . Для разгрузки внутреннего содержания мельницы, после ее остановки, в цилиндрической части барабана имеются два люка. Для подключения системы аэрации имеется два отверстия $\varnothing 0,3$ м в кожухе . Имеется система аэрации.



Рис. 1. Общий вид сбоку мельницы

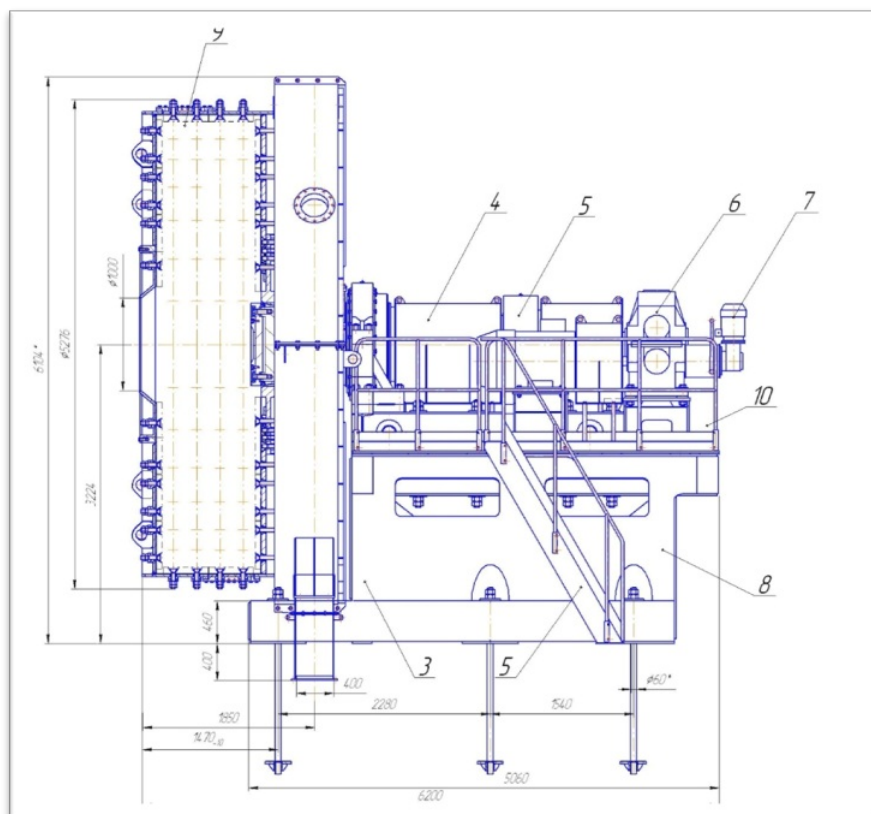


Рис. 2. Схематичный вид сбоку мельницы

стержней диаметром 16 мм класса А400 с шагом 300 мм.

Стены армированы двумя вертикальными сетками марки С2 из арматурных стержней диаметром 16 мм класса А400 с шагом 300 мм.

Арматурные сетки фундаментной плиты и стен соединены друг с другом при помощи арматурных выпусков диаметром 16 мм класса А400.

Перемычки армированы 12-ю продольными стержнями диаметром 16 мм класса А400 и хомутами с шагом 100 мм из проволоки диаметром 8 мм класса А240.

Тумбы армированы 12-ю продольными стержнями диаметром 16 мм класса А400 и хомутами с шагом 125 мм из проволоки диаметром 8 мм класса А240.

Для обследования фундамента был пройден один шурф размерами в плане 1,5×0,9 м, глубиной 2,4 м. Проходка шурфа позволила установить конструктивное решение фундамента, определить прочность бетона, отобрать три образца грунта из-под подошвы фундамента, установить конструкцию пола.

Относительная отметка пола помещения, равная 0,000 м, соответствует абсолютной отметке 307,15 м. Под фундаментной плитой выполнена бетонная подготовка толщиной 100 мм. Абсолютная отметка подошвы бетонной подготовки равна 305,250 м. Пол устроен из напольной плитки толщиной 25 мм по слою клея толщиной 80 мм на монолитном бетонном основании толщиной 160 мм и подушке из ГПС толщиной 100 мм. Обратная засыпка пазух фундамента представлена гравием с песком.

Установлено, что несущим слоем основания фундамента служит галечниковый грунт с песчаным заполнителем до 14-30 %. Плотность грунта определена в полевых условиях методом лунки и составила 2,03-2,39 г/см³. Установлены ближайшие к объекту скважины. Скважина 196 глубиной 10 м имеет абсолютную отметку устья 305,50 м. Скважина 197 глубиной 15 м имеет абсолютную отметку устья 305,49 м. На момент бурения скважин в

91/2

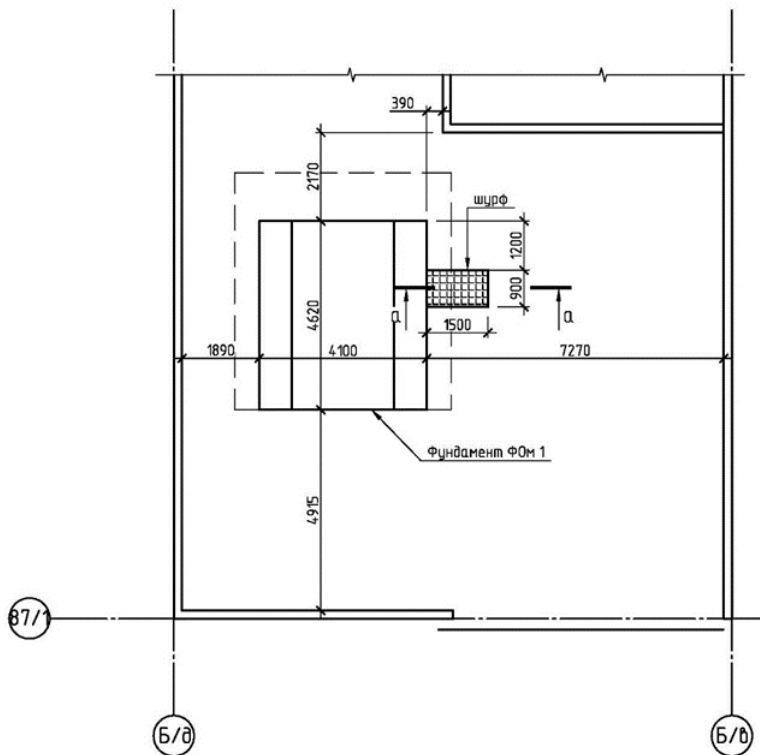


Рис. 4. Привязка фундамента ФОм 1 в плане к стенам здания (с расположением шурфа)

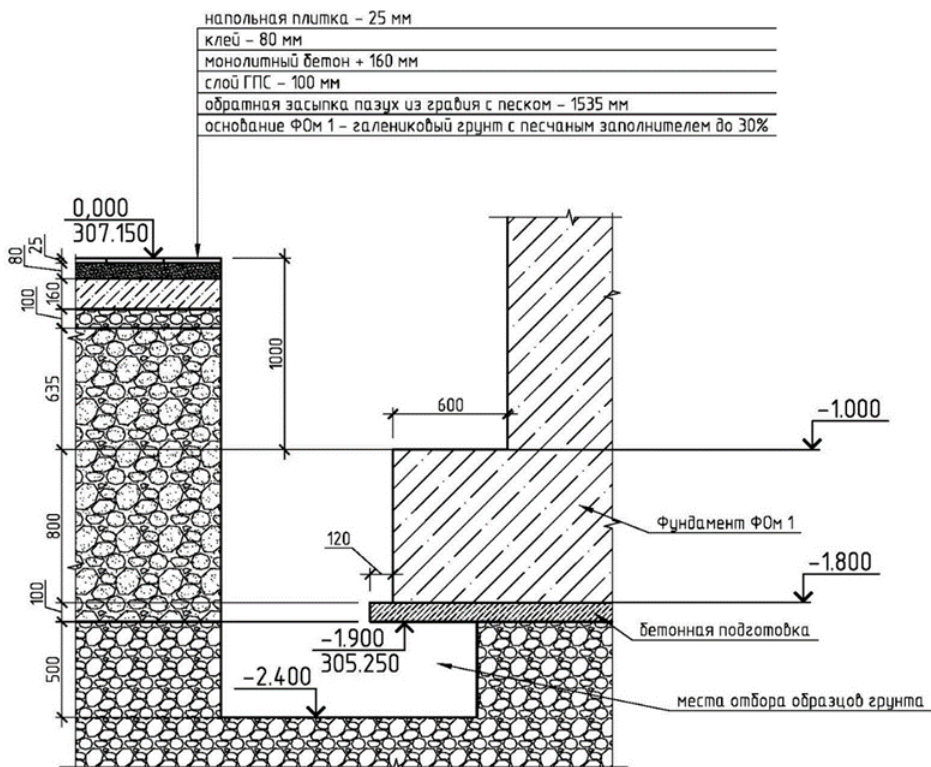


Рис. 5. Разрез а-а (по шурфу)

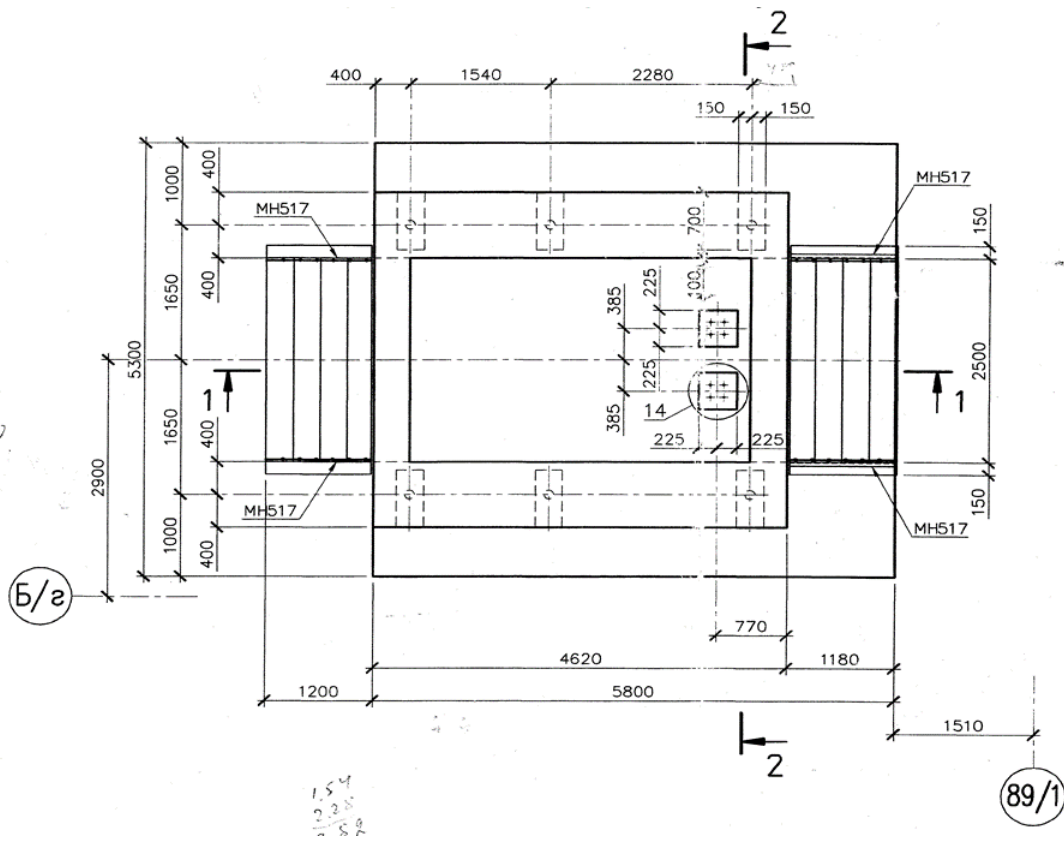


Рис. 6. План фундамента ФОм 1

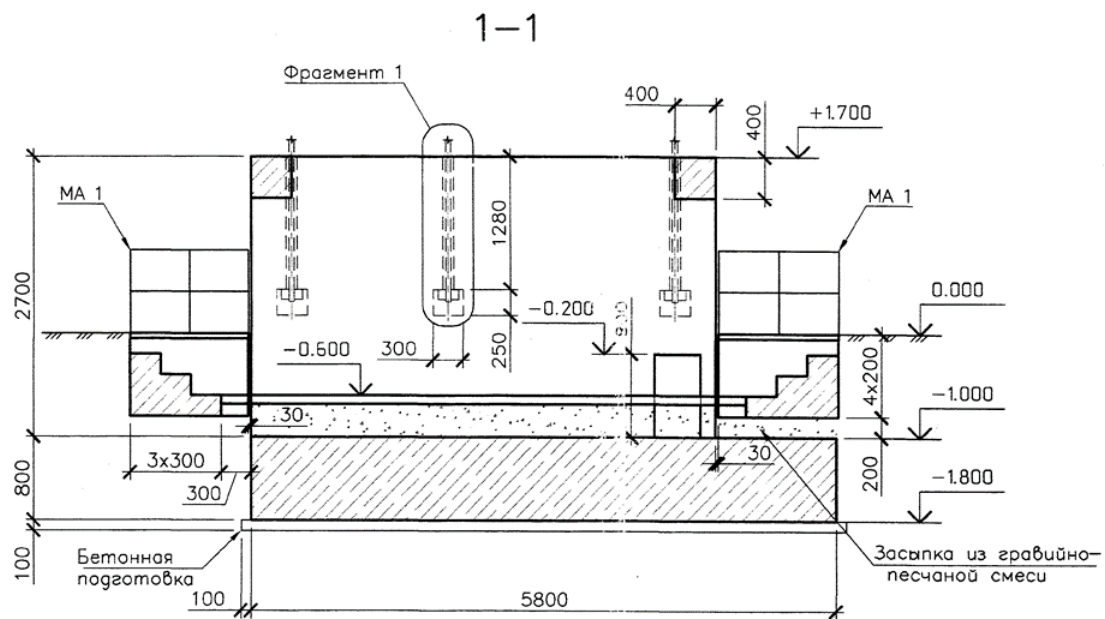


Рис. 7. Разрез 1-1

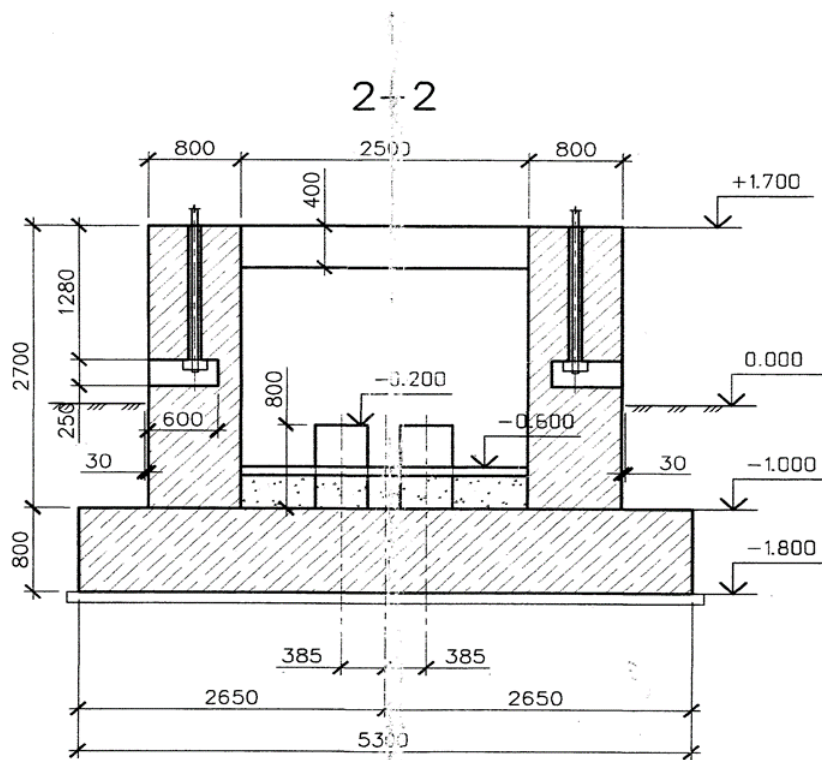


Рис. 8. Разрез 2-2

1989 году уровень подземных вод был зафиксирован на абсолютной отметке 302,09...302,10 м.

Сопоставление результатов испытаний отобранных образцов грунтов с архивными материалами инженерно-геологических изысканий показало следующее. Галечниковый грунт с песчаным заполнителем, выявленный под подошвой фундамента, соответствует тому же грунту, указанному в архивных материалах. Полученная плотность грунта $2,03-2,39 \text{ г/см}^3$ очень хорошо согласуется с архивным значением $2,01 \text{ г/см}^3$.

Таким образом, несущим слоем основания фундамента служит галечниковый грунт маловлажный с песчаным заполнителем до 14-30 %. Плотность грунта $2,03-2,39 \text{ г/см}^3$. Модуль деформации 42,4 МПа. Удельное сцепление 0 кПа. Угол внутреннего трения 45^0 . Данный грунт имеет малую степень водонасыщения примерно на глубину 2,35 м ниже подошвы бетонной подготовки. Ниже подошвы бетонной подготовки до глубины 14 м грунт водонасыщенный.

В соответствии с п. 5.1.11 актуального на момент обследования ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» проведено сплошное визуально-инструментальное обследование надземной части фундамента и выборочное обследование подземной части путем проходки одного шурфа; выявлены дефекты и повреждения по внешним признакам с необходимыми измерениями и их фиксацией. В обследованных конструкциях выявлены следующие дефекты.

Дефект № 1. На боковых гранях стен в окрасочном слое выявлены волосяные трещины и участки отслоения, разрушения. Причина появления дефекта — повышенные вибрации фундамента. Данный дефект не приводит к снижению несущей способности фундамента.

Дефект № 2. На участке примыкания лестницы к фундаменту с противоположной стороны от конвейера выявлена вертикальная трещина с шириной раскрытия до 1 мм. Причина появления дефекта — повышенные вибрации фундамента. Данный дефект не приводит к снижению несущей способности фундамента.

Были выдвинуты следующие гипотезы о причине повышенных вибрации фундамента под оборудование:

- по причине ненадежной работы основания;
- по причине ненадежной работы фундамента;
- по причине ненадежной работы оборудования.

Были выполнены исследования в рамках гипотезы № 1. Выявлено, что несущим слоем основания фундамента служит галечниковый грунт с песчаным заполнителем до 14-30 %. Мощность данного слоя достигает 14 м ниже подошвы фундамента. При обследовании в шурфе не выявлено образования пустот, зазоров между подошвой фундамента и грунтом несущего слоя. Более того, плотность грунта, определенная в полевых условиях методом лунки и равная 2,03-2,39 г/см³, немного больше значения 2,01 г/см³ по архивным материалам инженерно-геологических изысканий, т.е. грунт несущего слоя даже немного уплотнился в результате эксплуатации фундамента под оборудование. Таким образом, основание фундамента является надежным и не может служить источником повышенных вибраций установки, поэтому

Были выполнены исследования в рамках гипотезы № 2. Выявлено, что под мельницу выполнен монолитный железобетонный фундамент марки ФОм 1. Фундамент рамного типа мелкого заложения, состоящий из сплошной фундаментной плиты и двух стен, соединенных между собой двумя перемычками. Прочность бетона фундамента соответствует классу В25. При обследовании выявлены следующие дефекты. Волосяные трещины и участки отслоения, разрушения имеются на боковых гранях стен только в окрасочном слое, а не в теле фундамента. Вертикальная трещина с шириной раскрытия до 1 мм расположена на участке примыкания лестницы к фундаменту с противоположной стороны от конвейера, а не в теле фундамента. Поверочные расчеты показали, что расчетное значение амплитуды горизонтальных колебаний фундамента совместно с грунтом и оборудованием не превышает предельно допустимого значения; размеры фундаментной плиты достаточны для безопасной передачи нагрузок на основание; несущая способность тела фундамента обеспечена. Таким образом, фундамент в соответствии с п. 5.1.5, ГОСТ 31937-2011 находится в техническом состоянии и не может служить источником повышенных вибраций установки, поэтому

Были выполнены исследования в рамках гипотезы № 3. Мельница эксплуатировалась с февраля 2006 г. по июль 2021 г. (на момент обследования). По словам Заказчика, в декабре 2020 г. было зафиксированы повышенные вибрации установки. Проведенная в мае 2021 г. вибродиагностика выявила увеличение общего уровня вибрации на опорных подшипниках основного вала. После замены большого и малого подшипников основного вала в июне 2021 г. повышенные вибрации установки исчезли.

Изучение агрегатного журнала, который был начат в 2007 году, показало следующее.

1) Замена большого и малого подшипников основного вала выполнялась и ранее: декабрь 2012 г., август 2015 г., август 2016 г., декабрь 2018 г., май 2020 г.

2) Имеется запись 08.02.2013 г. — зафиксирована повышенная вибрация установки, выполнена центровка двигателя, после чего повышенные вибрации пропали.

3) Выполнена протяжка болтов и шпилек, крепящих оборудование к фундаменту: 4 раза в 2007 году, по одному разу в 2012, 2014, 2020 гг. Последняя протяжка выполнена в феврале 2021 г.

4) Смазка большого и малого подшипников основного вала выполняется 1 раз в месяц, что не противоречит руководству по эксплуатации от завода-производителя.

5) За весь срок эксплуатации, составляющий 15 лет, отдельные элементы мельницы (сальники, подшипники, двигатель, редуктор, барабан и проч.) выходили из строя, ремонтировались, заменялись.

Таким образом, методом исключения гипотез № 1 и № 2 за рабочую принята , т. е. источником повышенных вибраций установки, выявленных в декабре 2020 г. — мае 2021 г., послужило само оборудование мельницы, а именно изношенный большой подшипник основного вала. Данный вывод подтверждают результаты вибродиагностического исследования и факт отсутствия повышенных вибраций после замены большого подшипника. Протяжка болтов и шпилек, крепящих оборудование к фундаменту, выполняется раз в несколько лет. Последняя протяжка выполнена в феврале 2021 г. Обследование болтов и шпилек показало их работоспособное техническое состояние, поэтому на основании этих фактов влияние податливости крепежных элементов на повышенные вибрации установки исключено. Основание и фундамент установки надежны и находятся в работоспособном техническом состоянии.

В дальнейшем данный дефект в виде повышенных вибраций установки будет появляться с большой вероятностью. Это подтверждают сведения в агрегатном журнале о периодических ремонтах с заменой подшипников несмотря на ежемесячную их смазку. К тому же, ситуацию усугубляет всё нарастающий физический износ элементов оборудования. По словам представителя от завода-производителя, нормативный срок службы мельницы МК-315 составляет 15 лет. Согласно документу «Средние нормативные сроки службы основных фондов учреждений и организаций, состоящих на государственном бюджете (для определения износа при переоценке основных фондов по состоянию на 1 января 1973 г.)» нормативный срок службы мельниц различных конструкций составляет 10 — 15 лет. Иными словами, на момент проведения обследования нормативный срок службы оборудования был достигнут, поэтому рекомендовалось провести специализированной организацией машиностроительную экспертизу оборудования на предмет оценки его остаточного ресурса для последующей модернизации.

По результатам визуально-инструментального обследования объекта (фундамента мельницы МК-315), с учётом лабораторных исследований грунтов, поверочных расчетов, анализа исполнительной, конструкторской, эксплуатационной и нормативной документации, были сделаны следующие выводы.

1. Источником повышенных вибраций установки, выявленных в мае 2021 г., послужило само оборудование мельницы, а именно изношенный большой подшипник основного вала.

2. Основание и фундамент установки надежны, находятся в работоспособном техническом состоянии в соответствии с п. 5.1.5 ГОСТ 31937-2011 и не являются источником повышенных вибраций установки. Поэтому разработка мероприятий по исключению повышенных вибраций объекта и сметы затрат применительно к фундаменту не требуется.

3. Безопасная эксплуатация установки была разрешена. Однако дефект в виде повышенных вибраций установки может появиться в будущем с большой вероятностью. Рекомендовалось провести специализированной организацией машиностроительную экспертизу оборудования на предмет оценки его остаточного ресурса для последующей модернизации.

1. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ).

2. Градостроительный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 30 декабря 2020 года) (редакция, действующая с 10 января 2021 года).

3. ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния».

4. ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения».

5. СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».

6. СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции».

7. СП 63.13330.2016 «Бетонные и железобетонные конструкции».

8. СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений».

9. СП 43.13330.2012 «Сооружения промышленных предприятий».

10. СП 26.13330.2012 «Фундаменты машин с динамическими нагрузками».

11. Средние нормативные сроки службы основных фондов учреждений и организаций, состоящих на государственном бюджете (для определения износа при переоценке основных фондов по состоянию на 1 января 1973 г.), Статистика, М., 1972.