

УДК 331.46:637.2.022:631.351.2

**С. Д. Галюжин, канд. техн. наук, доц, Д. С. Галюжин, канд. техн. наук,
В. М. Пускова, М. И. Рущкий**

АНАЛИЗ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАШИН НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Изложены результаты анализа несчастных случаев, произошедших при эксплуатации машин на предприятиях агропромышленного комплекса. Так, в результате поломки сепаратора высокожирных сливок Ж5–ОС2–Д–500 в ОАО «Костюковичский молокозавод», оператор, обслуживающий его, получил травму с тяжелым исходом. В ОСПК «Колхоз Авангард» Осиповичского района при заточке ножей ротора измельчителя кормоуборочного комбайна КПУ–3000 «Полесье–3000» тракторист-машинист, выполняющий эту работу, получил травму с тяжелым исходом.

Анализ несчастных случаев на предприятиях агропромышленного комплекса Могилевской области показывает, что зачастую они происходят по причине отказа (поломок) машин или же из-за невыполнения требований их безопасной эксплуатации.

При включении в работу сепаратора высокожирных сливок Ж5–ОС2–Д–500, принадлежащего открытому акционерному обществу «Костюковичский молокозавод», произошла его поломка. В результате барабан в сборе сепаратора раздробил на части корпус и крышку приемника высокожирных сливок, сорвал два анкерных болта на станине, частично разрушив фундамент и был отброшен на расстояние около 2 м. При этом оператор, обслуживающий его, получил травму с тяжелым исходом.

При проведении экспертизы установлено, что обследуемый сепаратор (рис. 1) содержит станину 1, которая четырьмя анкерными болтами 2 закрепляется на бетонном фундаменте. На станине установлены: фланцевый электродвигатель 3, который фрикционно-центробежной муфтой связан с горизонтальным валом в сборе 4, вертикальный вал в сборе 5 и тахометр 6 [1]. Также на станине 1 закреплена чаша 7, в которой установлены два тормоза 8 для остановки барабана сепаратора и два стопора 9, удерживающие барабан при сборке/разборке. На чашу 7 устанавливается приемник высокожирных сливок, содер-

жащий корпус 10, крышку 11 и приемно-отводящее устройство 12. На вертикальном валу в сборе 5 устанавливается барабан в сборе 13, являющийся основным рабочим органом сепаратора.

На боковой поверхности вертикального вала сепаратора 14 (рис. 2) выполнены зубья зубчатой передачи (веретена) 15. Вал установлен в станине на двух 16 нижних подшипниках 6–4406Е2 ГОСТ 832–78 и верхнем 17 подшипнике 1310, который был разрушен. На верхнюю часть вала устанавливается сепаратор в сборе, который закрепляется на резьбе 18 вала гайкой колпачковой.

При осмотре сепаратора установлено:

- два нижних подшипника 16, установленных на валу, и зубья веретена находились в технически исправном состоянии;
- вал в зоне установки верхнего подшипника 17 имел прогиб;
- на боковых посадочных под барабан поверхностях вала имелись участки неравномерного износа, в том числе и на конических поверхностях;
- резьба верхней части вала повреждена;
- на верхней торцевой поверхности вала имеются вмятины;
- трещин и других повреждений (кроме упомянутых выше) на вале не обнаружено.

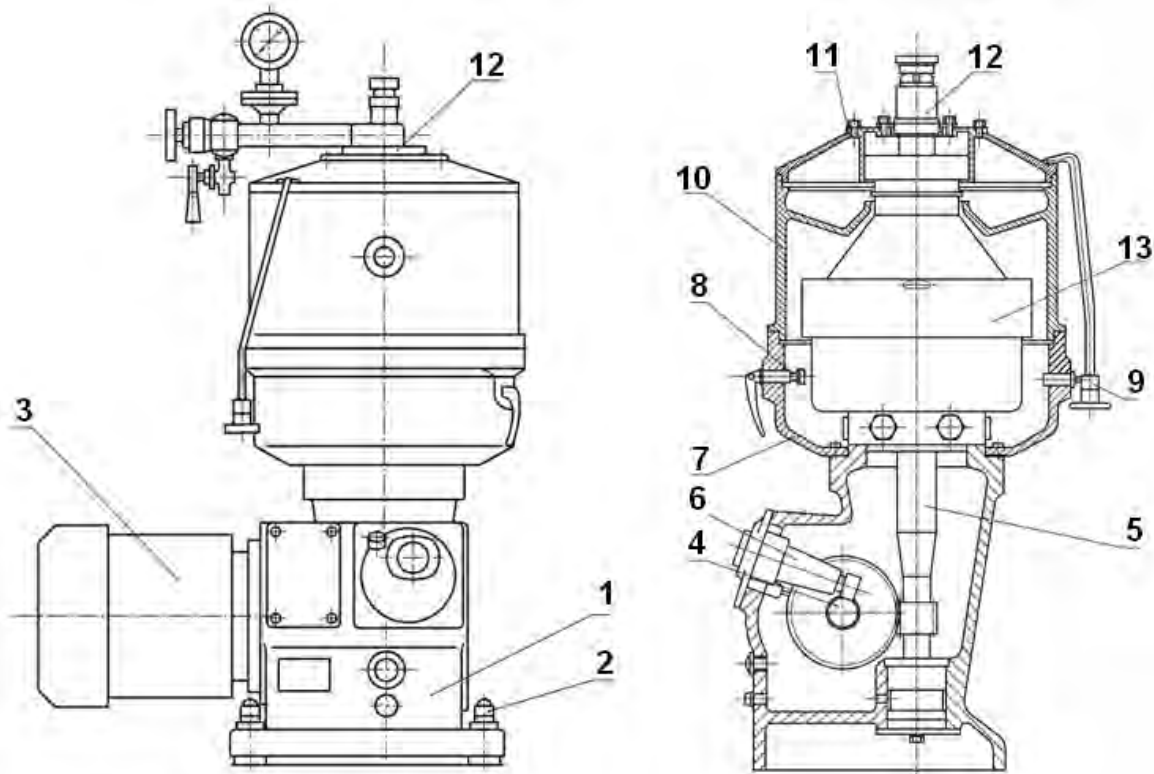


Рис. 1. Общий вид сепаратора

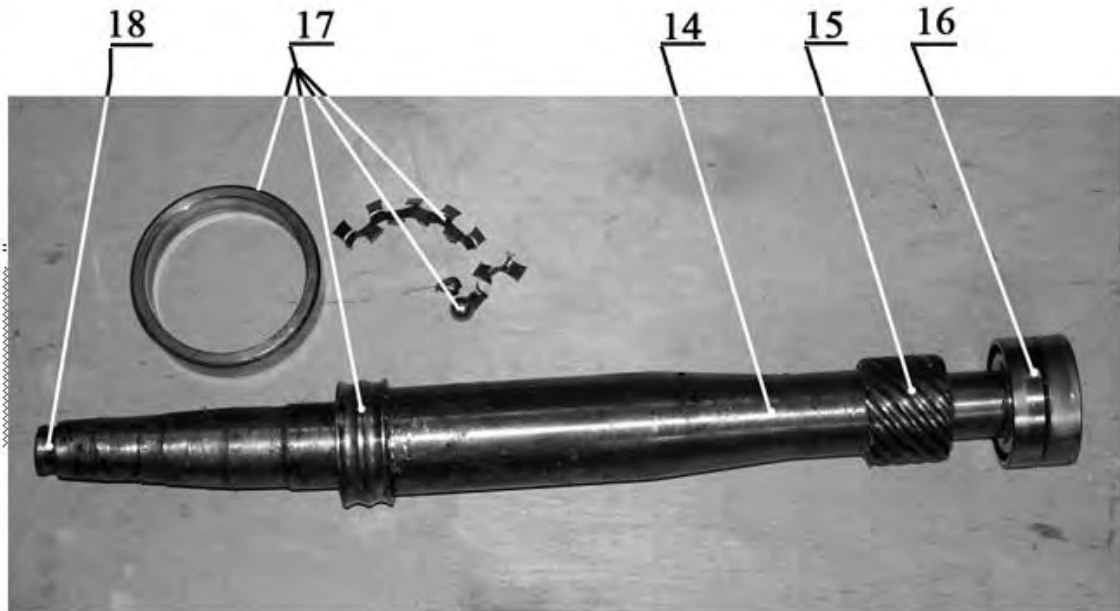


Рис. 2. Вид поврежденного вертикального вала с подшипниковыми опорами

Верхний двухрядный радиально-упорный подшипник 17 сепаратора находился в разрушенном состоянии и содержал:

- внутреннее кольцо, насаженное на вертикальный вал;
- наружное кольцо;
- часть сепаратора, состоящая из четырех фрагментов;
- один шарик из обоймы.

При осмотре на внутреннем и наружном кольцах и шарике трещин и других повреждений не выявлено.

Выполнены физико-химические исследования материала составных частей подшипника.

В результате исследований установлено:

- материал колец – сталь ШХ-15 ГОСТ 801-78;
- твердость материала колец – 61HRC;

– материал сепаратора – сталь 08 кп ГОСТ 1050-80 [2].

Сепаратор Ж5-ОС2-Д-500, заводской № 3376, изготовлен по ТУ 95-1890-89 Плавским машиностроительным заводом (Тульская область, Россия) в 1991 г. и смонтирован на бетонном фундаменте в цехе цельномолочной продукции ОАО «Костюковичский молокозавод».

Установлено, что во время поломки сепаратора было сорвано два анкерных болта, расположенных справа на фундаменте и повреждена (отколота) часть фундамента слева, а также вырвавшимся из сепаратора барабаном в сборе повреждена ванна, расположенная слева от фундамента. Крышка напорной камеры барабана сепаратора в центральной части имеет повреждение (на рис. 3 показано стрелкой А).



Рис. 3. Вид барабана сепаратора в сборе

При осмотре элементов барабана установлено, что характерные выборки металла на наружной поверхности основания барабана, кольца затяжном большом и крышке барабана, имеющие место при балансировке, отсутствуют. Из этого можно предположить, что балансировка его в заводских условиях не производилась.

Крышка и корпус приемника высоко-

жирных сливок полностью распались на множество фрагментов (рис. 4 и 5).

Для установки тарелок на тарелкодержатель используются две шпонки, установленные под углом 90° , т. е. несимметрично. Данный дисбаланс частично устраняется за счет пазов в тарелках, но из-за наличия зазоров между пазами и шпонками некоторый дисбаланс

заложен конструктивно. На наш взгляд, целесообразно было бы расположить упомянутые шпонки под углом 180° , т. е. симметрично. Также дисбаланс может возникнуть из-за неравномерной плотности металла вращающихся элементов барабана. Поэтому при пуске сепаратора будут воз-

никать вибрации. При дальнейшем его заполнении молоком вибрация будет практически отсутствовать, т. к. жидкость, распределяясь внутри барабана соответствующим образом, будет компенсировать существующий дисбаланс.



Рис. 4. Вид поврежденной крышки приемника высокожирных сливок



Рис. 5. Вид поврежденного корпуса приемника высокожирных сливок

В конструкции сепаратора для некоторой компенсации вибрации верхняя опора выполнена подпружиненной (установлено шесть пружин). Известно, что для этих целей недостаточно установки только упругих элементов. Необходимы в сочетании с упругими элементами также и диссипативные элементы (амортизаторы).

Кроме этого, крепление барабана на вертикальном валу недостаточно надежно, т. к. осуществляется только гайкой колпачковой. Стопорение этой гайки известными способами (контргайкой, шплинтом и т. д.) конструкцией сепаратора не предусмотрено. Поэтому, несмотря на наличие самоподжимной (левой) резьбы, под действием вибрации возможно ее самопроизвольное отворачивание. Следует также отметить, что заводом-изготовителем не предусмотрен контроль момента затяжки данной гайки. Использование для этих целей специального динамометриче-

ского ключа также не предусмотрено.

По информации работников ОАО «Костюковичский молокозавод» гайка колпачковая после аварии находилась внутри барабана. Поэтому можно предположить, что при пуске сепаратора от возникших вибраций произошло ее самоотворачивание и отбрасывание к периферии. Это привело к возрастанию несбалансированной центробежной силы инерции. В результате наличия на вертикальном валу конической посадочной поверхности возникла осевая составляющая центробежной силы, под действием которой произошел самопроизвольный сброс барабана в сборе с вертикального вала и разрушение сепаратора.

Для доказательства данных утверждений была создана компьютерная модель в среде трехмерного твердотельного моделирования SolidWorks 2006 (рис. 6).

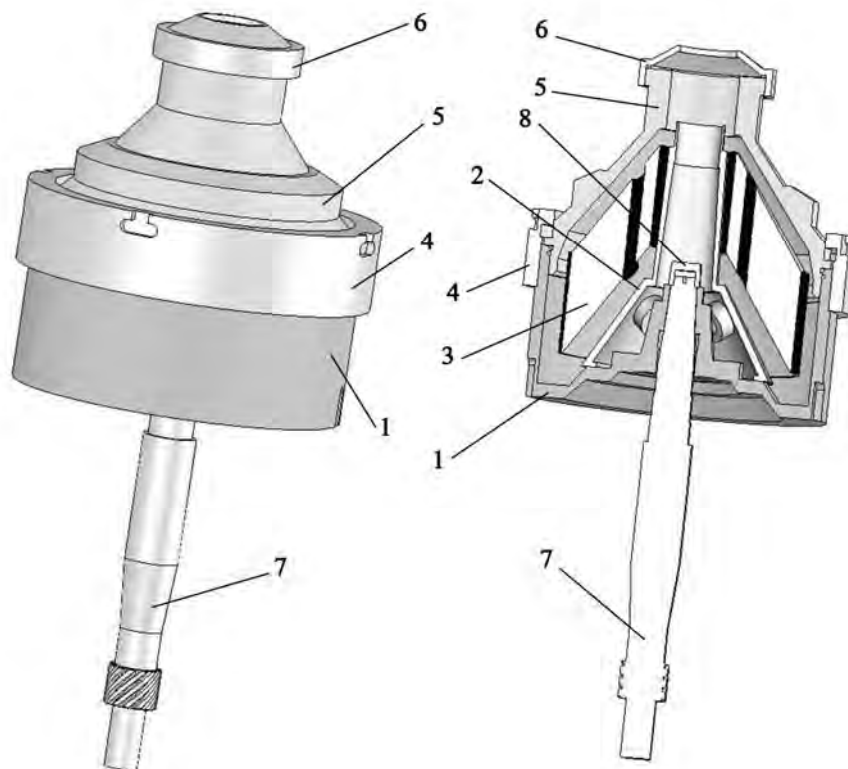


Рис. 6. Общий вид компьютерной модели барабана сепаратора

При создании модели были учтены следующие сборочные элементы барабана: 1 – основание барабана, 2 – тарелкодержатель, 3 – тарелки, 4 – кольцо затяжное большое, 5 – крышка, 6 – кольцо затяжное малое, 7 – вал вертикальный, 8 – гайка колпачковая. Размеры определены путем эскизирования элементов сепаратора, представленных на экспертизу. Физико-механические свойства элементов приняты из базы данных программы SolidWorks 2006. Далее модель была подвергнута анализу в среде Adams View 2005, предназначенной для имитации движения механизмов с учетом кинематических и силовых факторов. В местах расположения подшипников были поставлены взаимосвязи Revolute Joint (шарниры поворота, при котором детали могут совершать взаимный поворот относительно некоторой оси), а остальные детали жестко соединены между собой взаимосвязью Fixed Joint (фиксация, при которой происходит совместное перемещение двух жестких тел как одного целого). Для более качественного анализа было исследовано несколько вариантов модели с учетом силы тяжести, а также вариант, когда гайка колпачковая была помещена между тарелкодержателем и основанием барабана рядом с резьбовой частью вала вертикального, а ось вращения вала вертикального была смещена. Для того чтобы определить, при каком эксцентриситете может произойти поднятие барабана относительно вала вертикального, последовательно производилось изменение значения эксцентриситета с шагом в 0,05 мм.

Центробежная сила F_c при эксцентриситете в 0,35 мм составляет 33640 Н. Она может привести к деформированию вала. В связи с тем, что основная масса вращающихся элементов модели барабана сепаратора опирается на конус, то вертикальная составляющая этой центробежной силы равна $F_g = F_c \cdot \operatorname{tg} \alpha$. Угол 2α при обмере вала вертикального составил 6° , соответственно, $\alpha = 3^\circ$. Таким образом, в

результате подстановки получаем значение выталкивающей силы, равной 1763 Н. Вес барабана в сборе равен 1274 Н [1], что недостаточно для удержания барабана на валу. При этом сброс барабана в сборе с вертикального вала неизбежен. При подъеме барабана относительно вала эксцентриситет будет возрастать и, соответственно, возрастать несбалансированная центробежная сила инерции.

В результате выполненных исследований установлено, что из-за вибрации при пуске сепаратора Ж5-ОС2-Д-500 произошло самоотворачивание гайки колпачковой и отбрасывание ее к внутренней части тарелкодержателя. Это обусловило увеличение несбалансированной центробежной силы инерции. Наличие конической посадочной поверхности на вертикальном валу привело к разложению центробежной силы и появлению вертикальной составляющей данной силы, поднимающей барабан вверх. При подъеме барабана относительно вала эксцентриситет стал возрастать и, соответственно, стала возрастать несбалансированная центробежная сила инерции. Под действием этой силы произошел изгиб вертикального вала и разрушение его корпуса, что обусловило несчастный случай с тяжелым исходом.

В Осиповичском сельскохозяйственном производственном кооперативе (ОСПК) «Колхоз Авангард» Осиповичского района Могилевской области тракторист-машинист производил уборку кукурузы. При заточке ножей ротора измельчителя комбайна кормоуборочного полунавесного КПК-3000 «Поле-сье-3000» [3] (в дальнейшем именуемого комбайн КПК-3000) произошло разрушение сварного шва и сброс со стойки крепления устройства заточного. В результате чего тракторист-машинист получил травму с тяжелым исходом.

Процесс заточки ножей измельчающего аппарата регламентирован инструкцией по эксплуатации, согласно ко-

торому заточку ножей необходимо осуществлять не менее одного раза в день.

Комбайн КПК-3000 был смонтирован на средстве универсальном энергетическом «Полесье» УЭС-2-250, изготовленном ПО «Гомсельмаш», Республика Беларусь [4].

При проведении экспертизы осмотром установлено (рис. 7):

– разрушение (отрыв по сварным швам) корпуса нижнего 4 от трубы 5 стойки заточного устройства 1;

– заточное устройство 1 деформировало переднюю панель кожуха верхнего измельчающего аппарата 2 и было отброшено на настил жатки;

– сварные швы крепления корпуса нижнего 4 к стойке имели существенные дефекты;

– разрушения (сколы) ножей ротора измельчающего аппарата 3;

– повреждения (прогибы и другие дефекты) диска 6 заточного устройства 1.



Рис. 7. Вид устройства заточного после аварии

Анализ технической документации устройства заточного комбайна КПК-3000 производился по фондам разработчика комбайна КПК-3000 Республиканского конструкторского унитарного предприятия «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике» ПО «Гомсельмаш».

Устройство заточное 1 (см. рис. 7) изготавливается по чертежам и закрепляется на стойке 5 сваркой. Стойка 5 выполнена из прямоугольной трубы 80×60×4 ГОСТ 8645-68. Материал трубы стойки – сталь Ст.2пс ГОСТ 13863-86.

Материал корпуса нижнего – сталь 20 ГОСТ 1050-74. Материал-заменитель корпуса нижнего согласно чертежу – сталь 18ХГТ ГОСТ 4543-71. Крепление корпуса нижнего с трубой стойки осуществляется по ГОСТ 14771-76 проволокой Св-08 Г2С ГОСТ 2246-70 согласно чертежу и технологическому процессу сварки. При этом все три сварных шва должны иметь катет, равный 4 мм.

Обмер поверхностей разрушения и сварных швов показал, что все швы не

носят сплошного характера, а имеют непровары значительной длины и неравномерные размеры катетов (рис. 8).

Суммарная длина непроваров по сварным швам составляет: шов a – 31 мм; шов b – 29 мм; шов c – 24 мм. Таким образом, непровары по длине швов составляют: шов a – 52 %; шов b – 48 %; шов c – 40 %.

Измерение катетов сварных швов показало: шов a_1 – 3 мм; шов a_2 – 2 мм; шов b – 2 мм; шов c_1 – 3 мм; шов c_2 – 2 мм. Проектная длина катетов сварных швов должна быть равна 4 мм. Следовательно, катеты a_1 и c_1 уменьшены на 1 мм, т. е. на 25 %, а катеты a_2 , b и c_2 – на 2 мм, т. е. на 50 %.

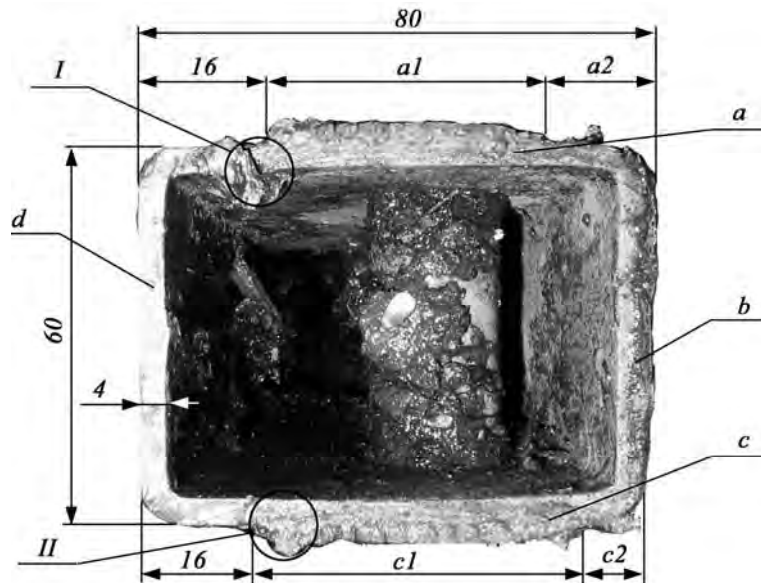


Рис. 8. Вид сварных швов на стойке в плоскости разрушения

Крепление корпуса нижнего 4 к стойке 5 осуществлено односторонним (наружным) сварным швом. При этом основание корпуса нижнего приварено к трем торцовым поверхностям (a , b и c) трубы стойки. Торцовая поверхность d и два участка по 16 мм поверхностей a и c не соприкасались с основанием нижнего корпуса, т. е. их приварка чертежом не предусмотрена.

По мнению авторов, соединение корпуса нижнего со стойкой недостаточно надежно. В процессе работы заточного устройства максимальные напряжения от суммарной продольной нагрузки $F_1 = 2340$ Н и поперечной нагрузки $F_2 = 1400$ Н будут концентрироваться в небольших (около 4 мм) зонах

сварного шва I и II . Если учесть еще и то, что при работе заточного устройства передаваемая на сварные швы нагрузка будет носить переменный характер, то не исключается возможность появления в упомянутых зонах I и II сварных швов усталостных трещин, что в конечном итоге приведет к их разрушению.

Авторами приведена оценка распределения напряжений по длине сварных швов по программе SolidWorks 2004 с пакетом прикладных программ COSMOSWorks 2003. Анализ напряженно-деформированного состояния системы проведен при постоянных внешних нагрузках. Расчетная модель с ограничениями и приложенными силами составлена на основании

технической документации и расчетной схемы разработчика. При расчетах в качестве аналога стали 20 (корпус нижний) использована сталь AISI 1020, а для стали Ст. 2пс (труба) и сварных швов – AISI 304. Эти стали (AISI 1020, AISI 304) по своим показателям практически соответствуют сталям упомянутой отечественной классификации. При расчетах установлено, что наиболее нагруженными участками являются два угловых шва (см. рис. 8, зона I и зона II). В имеющемся опасном сечении напряжения (около 254 МПа) примерно в 2 раза превышают допускаемые (135 МПа), однако средние напряжения по всему шву не превышают допускаемых.

По мнению авторов, заточка ножей ротора измельчителя комбайна КПК–3000 относится к работам с повышенной опасностью. При выполнении заточки на крепление корпуса нижнего к стойке заточного устройства действуют значительные переменные нагрузки, что требует разработки более надежного варианта крепления корпуса нижнего к стойке или изменения конструкции элементов для установки заточного устройства.

Исследования материала зоны сварного шва выполнялись по двум образцам:

- образец 1 был вырезан из угла трубы стойки с остатком сварного шва 5;
- образцом 2 является корпус нижний с остатками сварных швов 4.

При исследовании установлено, что материал трубы стойки по химическому составу соответствует стали 20 ГОСТ 1050–88, а материалом корпуса нижнего по химическому составу является сталь 30ХГТ ГОСТ 4543–71 или 35ХГС ГОСТ 977–88. Твердость материала НРС 30, твердость сварных швов НРС 32. Сварку этих сталей следует производить с обязательным предварительным подогревом и последующей термической обработкой.

Технической документацией завода-изготовителя в качестве материала корпуса нижнего не предусмотрено применение

стали 30ХГТ(С) (должна применяться сталь 20 ГОСТ 1050–88 или в качестве заменителя – сталь 18ХГТ ГОСТ 4543–71). Также в технологическом процессе не предусмотрен предварительный подогрев и последующая термическая обработка корпуса нижнего перед сваркой со стойкой, а также не предусмотрено применение аустенитных сварочных материалов.

По мнению авторов, разрушение сварных швов соединения нижнего корпуса со стойкой заточного устройства комбайна КПК–3000 произошло в результате совместного действия ряда причин:

- применение заводом-изготовителем в качестве материала нижнего корпуса заточного устройства стали, не соответствующей технической документации. Это вызвало появление зоны хрупкого разрушения сварного соединения;
- наличия значительных непроваров сварных швов;
- неравномерности и заниженных значений катетов сварных швов.

В результате анализа обстоятельств упомянутых несчастных случаев установлено, что их причинами являются несовершенство конструкций и дефекты при изготовлении машин, поставляемых для агропромышленного комплекса.

В целях повышения безопасности машин заводам-изготовителям необходимо усовершенствовать конструкции в соответствии с современными требованиями и усилить контроль за технологическими процессами их изготовления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сепаратор высокожирных сливок Ж5–ОС2–Д–500.** Инструкция по эксплуатации 00.000 ИЭ. Заводской № 3664. – Плавск : Плавский машиностроит. з-д «Смычка», 1988. – 38 с.
2. Марочник сталей и сплавов / М. М. Колосков [и др.]. – М. : Машиностроение, 2001. – 672 с.
3. **Комбайн полунавесной кормоуборочный «Полесье–3000».** Инструкция по эксплуатации. – Минск : Польшья, 1993. – 104 с.

4. Средство энергетическое универсальное УЭС-2-250А «Полесье». Паспорт

УЭС-7-0000000П.С. – Гомель : Гомсельмаш. – 22 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 24.03.2008

**S. D. Haliuzhyn, D. S. Haliuzhyn,
V. M. Puskova, M. I. Rutskiy**
**The analysis of the accidents while machine
operation at enterprises of agro-industrial
complex**

The results of the analysis of accidents while machine operations at enterprises of agro-industrial complex are given in the article. As a result of a breakdown of the «Creamer Ж5-ОС2-Д-500» at «Kostukovich Milk Plant» the operator got a serious injury. In «Kolkhoz Avangard» in Osipovich district a tractor driver got a serious injury while grinding the knives of grain harvester КИУ-3000 «Polesye-3000» shredder rotor.