

УДК 614.839.52

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕГКОБРАСЫВАЕМЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ВЗРЫВОЗАЩИТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ СНЕГОВЫХ НАГРУЗКАХ

Роцин Д.В., Миканович А.С., Терешенков В.И., к.ф.-м.н., доцент

Проведен анализ экспериментальных данных по определению избыточного давления вскрытия легкобрасываемых покрытий. Рассмотрена возможность применения облегченного покрытия в качестве легкобрасываемой конструкции в условиях повышенной снеговой нагрузки Республики Беларусь. Определены основные проблемы при применении облегченных покрытий в качестве легкобрасываемых конструкций. Предложена модификация электрической кабельной системы устранения снеговой нагрузки, основанная на оптическом методе контроля поверхности, а также конструкция легкобрасываемого покрытия с выступающей частью для обеспечения взрывозащиты производственных и складских помещений и зданий.

(Поступила в редакцию 19 июня 2008 г.)

Взрыв является одной из наиболее опасных чрезвычайных ситуаций; так, в государствах ЕЭС ежегодно происходит около 2000 взрывов [1]. По данным международной страховой компании Industrial Risk Insurers (IRI), из 34 аварий с ущербом свыше 250 тысяч долларов США, произошедших за год на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности США, основной ущерб (81 %) наносят аварии со взрывами. Статистический отчет IRI показывает, что взрывы составляют 67 % всех инцидентов, а нанесенный ими ущерб – 85 % общего ущерба [2]. Как показал анализ около 1000 наиболее крупных аварий, проведенный Американской страховой ассоциацией AIA, ущерб при авариях в 63 % обусловлен взрывом либо совместным действием пожара и взрыва [2].

Взрывы вызывают не только прямой материальный ущерб, связанный с разрушением строительных конструкций, технологического оборудования и т. д., но и не исключают социального ущерба, связанного с травматизмом и гибелью людей от опасных факторов взрыва. Одним из ярких примеров, подтверждающих серьезность возможных последствий от такого рода чрезвычайных ситуаций, является авария в цехе футляров Минского радиозавода, произошедшая в 1972 году. Тогда в результате обрушения несущих конструкций погибло около 120 человек.

Взрывозащита производственных и складских помещений и зданий решается на стадии проектирования комплексным применением различных технологических, объемно-планировочных и конструктивных решений. Одним из конструктивных решений является применение легкобрасываемых конструкций (ЛСК), которые, вскрываясь, обеспечивают снижение избыточного давления, возникающего во взрывоопасных помещениях при внутренних аварийных взрывах горючих смесей, до безопасного нормируемого значения, которое в большинстве случаев принимается равным 5 кПа [3, 4].

Одним из типов конструктивных решений, направленным на предотвращение гибели людей и разрушения здания при дефлаграционном взрыве в замкнутом объеме, являются легкобрасываемые покрытия (ЛСП). В основном данные конструкции применяются для взрывозащиты в том случае, если площади наружных ограждающих конструкций не хватает для устройства окон, которые также используются в качестве ЛСК. В связи с увеличением нормативного значения веса снегового покрова до 1,2 кПа [5] использование легкобрасываемых покрытий при их установке традиционным способом в зимний период времени в соответствии с требованиями действующих технических нормативных правовых актов не представляется возможным [6].

Для определения возможности использования легкосбрасываемых покрытий для противовзрывной защиты в рамках выполнения задания 21 ГНТП "Защита от ЧС" была проведена серия экспериментальных исследований по определению избыточного давления вскрытия ЛСП (табл.).

Таблица – Избыточное давление вскрытия различных вариантов горизонтальных ЛСК (кПа)

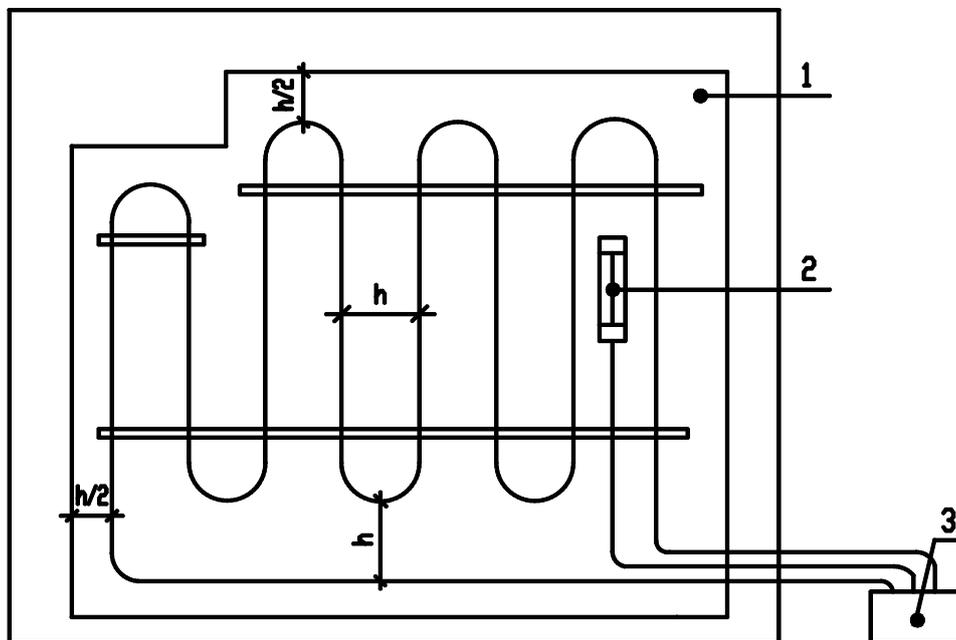
№ обр.	Наименование и идентификация образца	Избыточное давление вскрытия образца, кПа			Характер разрушения
1	Фрагмент покрытия поверхностной плотностью 30 кг/м ² , размером 3300×1770 мм изготовлен из 2 слоев доски обрезной толщиной 32 мм хвойных пород ГОСТ 8486-86. По фрагменту покрытия в 2 слоя уложен кровельный материал (наплавляемый рубероид) СТБ 1107-98. Снизу фрагмент покрытия обшит листовой сталью ГОСТ 7118-78 толщиной 0,5 мм.	7,5	7,4	7,3	Разрушение элемента не наблюдается
2	Фрагмент покрытия поверхностной плотностью 50 кг/м ² , размером 3300×1770 мм изготовлен из доски обрезной хвойных пород ГОСТ 8486-86 толщиной 27 мм, уложенной в 1 слой. По доске устроена стяжка из цементно-песчаного раствора. По стяжке в 2 слоя уложен кровельный материал (наплавляемый рубероид) СТБ 1107-98. Снизу фрагмент покрытия обшит листовой сталью ГОСТ 7118-78 толщиной 0,5 мм	7,8	7,9	7,8	Разрушение элемента не наблюдается
3	Фрагмент покрытия поверхностной плотностью 70 кг/м ² , размером 3300×1770 мм изготовлен из доски обрезной хвойных пород ГОСТ 8486-86 толщиной 25 мм, уложенной в 1 слой. По доске устроена стяжка из цементно-песчаного раствора. По стяжке в 2 слоя уложен кровельный материал (наплавляемый рубероид) СТБ 1107-98. Снизу фрагмент покрытия обшит листовой сталью ГОСТ 7118-78 толщиной 0,5 мм	8,4	8,5	8,6	Разрушение элемента не наблюдается
4	Фрагмент покрытия поверхностной плотностью 90 кг/м ² , размером 3300×1770 мм изготовлен из доски обрезной хвойных пород ГОСТ 8486-86 толщиной 25 мм, уложенной в 1 слой. По доске устроена стяжка из цементно-песчаного раствора. По стяжке в 2 слоя уложен кровельный материал (наплавляемый рубероид) СТБ 1107-98. Снизу фрагмент покрытия обшит листовой сталью ГОСТ 7118-78 толщиной 0,5 мм	7,2	7,4	7,5	Разрушение элемента не наблюдается
5	Фрагмент покрытия поверхностной плотностью 100 кг/м ² , размером 3300×1770 мм изготовлен из доски обрезной хвойных пород ГОСТ 8486-86 толщиной 25 мм, уложенной в 1 слой. По доске устроена стяжка из цементно-песчаного раствора. По стяжке в 2 слоя уложен кровельный материал (наплавляемый рубероид) СТБ 1107-98. Снизу фрагмент покрытия обшит листовой сталью ГОСТ 7118-78 толщиной 0,5 мм	7,8	7,8	9,5	Разрушение элемента не наблюдается

Результаты эксперимента показали, что избыточное давление вскрытия ЛСП находится в пределах от 7,3 до 9,5 кПа при обеспечении расчетной нагрузки на строительные конструкции здания от 0,3 до 1 кПа соответственно [7, 8]. На основании проведенных экспериментальных исследований был сделан вывод о недопустимости применения ЛСП для взрывозащиты производственных и складских помещений и зданий в условиях повышенной снеговой нагрузки, а также о необходимости разработки инженерно-технических решений, которые позволили бы использовать данные конструкции для защиты людей, зданий и технологического оборудования от опасных факторов взрыва.

Решение поставленной задачи должно проводиться по следующим направлениям:

1. Снижение на стадии эксплуатации взрывопожароопасного объекта фактического веса снегового покрова до минимально возможного значения;
2. Разработка новых конструктивных решений облегченных покрытий, которые применяются в качестве легкобрасываемых конструкций;
3. Разработка узлов крепления и герметизации ЛСП.

Снижения на стадии эксплуатации взрывопожароопасного объекта фактического веса снегового покрова до минимально возможного значения можно добиться с использованием электрической кабельной системы снеготаяния. Такие системы в последние годы находят все большее применение в европейских странах и странах Северной Америки для удаления снега и льда с тротуаров, взлетно-посадочных полос, крыш и водостоков. Принцип действия системы снеготаяния – удаление снега и льда с поверхности теплом, выделяемым специальными нагревательными кабелями. В большинстве случаев в системах снеготаяния используют нагревательные кабели с удельной мощностью не менее 28 Вт/м. Установочная мощность системы зависит от условий, в которых находится поверхность, с которой необходимо удалять снег. Типичная установочная мощность для поверхности крыши составляет 300–400 Вт/м². На сегодняшний день существуют два вида систем снеготаяния – с резистивным и саморегулирующимся кабелем.



1 – обогреваемая площадь; 2 – датчик температуры и влажности; 3 – система управления

Рисунок 1 – Принципиальная схема системы снеготаяния

Принципиальная схема системы снеготаяния, тепловыделяющим элементом которой служит резистивный нагревательный кабель, т. е. кабель с постоянной выделяемой удельной мощностью, показана на рисунке 1, где h – шаг укладки кабеля. Оптимальный шаг укладки кабеля (в сантиметрах) рекомендуется определять по формуле:

$$h = S \cdot 100/L, \quad (1)$$

где S – чистая площадь подогрева, м^2 ;

L – длина кабеля, определяемая исходя из полной мощности системы, м.

В кабельных системах снеготаяния используются два варианта системы управления: первый – с использованием электронного термостата и датчика температуры, второй – специальный термостат с подключенными к нему датчиками температуры и влажности (снега). Система со специальным термостатом и датчиками температуры и влажности (снега) включает обогрев в интервале температур от $-10\text{ }^\circ\text{C}$ до $+3\text{ }^\circ\text{C}$ (когда вероятнее всего выпадение снега и образование наледи) и при наличии снега (влаги) на обогреваемой поверхности. Второй вариант дает возможность сэкономить до 70 % электроэнергии по сравнению с первым.

Используемые в системах снеготаяния резистивные нагревательные кабели обладают рядом недостатков. Как правило, они выпускаются секциями определенной длины, что затрудняет монтаж системы. Поскольку удельная мощность, выделяемая такими кабелями, постоянна (при фиксированном напряжении), существуют ограничения на шаг укладки кабеля и радиус его закругления во избежание его перегрева и выхода из строя. Не допускается также перехлестывание кабеля. Изготовленные с использованием данных кабелей системы имеют, как правило, небольшой срок эксплуатации.

Значительными преимуществами обладает так называемый саморегулирующийся нагревательный кабель. Он состоит из двух параллельных проводящих шин, на которые подается напряжение. Между шинами и вокруг них находится саморегулирующая греющая матрица, тепловыделение которой зависит от состояния окружающей среды (ее температуры и влажности). Кабель обладает повышенной механической прочностью, может нарезать частями произвольной длины, не перегреваться при перехлестывании. В снеге и во льду кабель работает на максимальную мощность; при нулевой температуре, в талой воде выделяет полную мощность, а на сухой поверхности – лишь половину. При положительных температурах выходная мощность кабеля мала и быстро убывает с ростом температуры. Использование такого кабеля приводит к значительной экономии затрат на электроэнергию.

По мнению авторов, система, аналогичная кратко рассмотренной выше, может быть использована и для устранения повышенной снеговой нагрузки на плиту ЛСК [9]. Плиту ЛСК следует поместить на специальную опорную конструкцию, установленную на несущих элементах кровли и имеющую форму усеченного параллелепипеда. Размер сечения должен точно совпадать с размером плиты. Наклон плиты должен составлять не менее 30° , что препятствует скоплению снега на ее поверхности. В нижней части стыка плита легкосбрасываемого покрытия должна прикрепляться к опорной конструкции с помощью прочных завес (предполагается, что плита поворачивается при избыточном давлении взрыва в отсутствие снеговой нагрузки). В проложенный слой изоляции между плитой ЛСК и основанием, вдоль внешней границы стыка, следует положить нитку саморегулирующегося кабеля, автономно подключенного к сети напряжением 220 В, при наступлении холодов. Это необходимо для предотвращения примерзания плиты к основанию и для прогревания завес. Ветви саморегулирующегося кабеля следует проложить с необходимым шагом вдоль наклонной поверхности плиты ЛСК и ее торцов до соединения с подающим напряжением холодным кабелем в специально проделанных штробах и заделать раствором так, чтобы поверхность плиты оставалась гладкой. После подключения ветвей кабеля всю конструкцию необходимо покрыть слоем вещества, препятствующего адгезии снега. Это необходимо сделать для того, чтобы ветви кабеля не служили центрами скопления снега и образования наледи. Подающий напряжение кабель следует проложить по внутренней поверхности опорной конструкции во избежание проблем с соединением его с ветвями греющего кабеля, пропущенными через нижний стык плиты ЛСК с опорной конструкцией. Совмещенные датчики температуры и влажности (снега) необходимо расположить на стенке опорной конструкции под нижним стыком ее с плитой ЛСК, так как

там попадание влаги вероятнее всего. Соединение датчиков с терморегулятором следует осуществить через шурф, проделанный в стенке опорной конструкции.

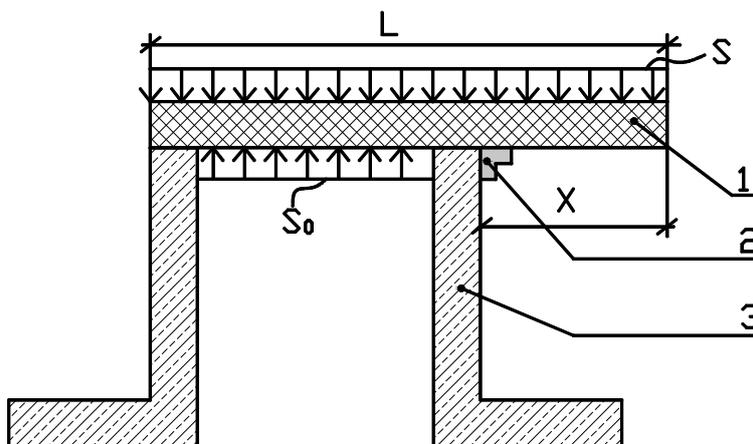
Российский опыт эксплуатации систем снеготаяния в условиях холодных зим показывает, что такие системы не вполне надежны. Основная причина этого – несрабатывание датчиков влажности и снега при низких температурах. Надежность системы можно повысить, если ее дополнить оптической системой контроля состояния поверхности, состоящей из лазера и фотодиода. Луч лазера следует направить вдоль контролируемой поверхности на минимально возможном от нее расстоянии так, чтобы он попадал в фотодиод, подключенный к системе управления таким образом, чтобы включать обогрев поверхности независимо от датчиков при наличии препятствий на пути луча.

Во избежание попадания влаги и запотевания стекол лазер и фотодиод следует поместить в герметичные кожухи, заполненные инертным газом (наиболее дешевым из которых является аргон) и закрытые окнами с подогревом. Для исключения влияния посторонних источников света на фотодиод нужно использовать интерференционный светофильтр, пропускающий лишь свет с частотой излучения лазера. В качестве лазера можно использовать гелий-неоновый лазер, поскольку он очень длительное время может работать в непрерывном режиме.

Предложенная конструкция выглядит необоснованно сложной и дорогостоящей, однако она вполне приемлема, если предположить, что снег и наледь будут накапливаться на поверхности плиты легкобрасываемого покрытия вследствие образования на ее поверхности дефектов, обусловленных случайными факторами (повреждение песком во время ветра, налипание листьев и т. д.).

В качестве альтернативного решения может быть предложена более простая и дешевая система, способная обеспечить вскрытие плиты ЛСК при повышенной снеговой нагрузке.

Установим плиту ЛСК на опорную конструкцию таким образом, чтобы часть плиты выступала за край этой конструкции, как показано на рисунке 2. Это дает возможность уменьшить моменты силы тяжести плиты и снеговой нагрузки относительно оси, вокруг которой плита ЛСК может поворачиваться. В стык между плитой и опорной конструкцией, проложенный слоем гидроизоляции, вдоль внешнего периметра опорной конструкции следует проложить саморегулирующийся кабель, соединенный с подающим напряжением кабелем на внутренней стенке опорной конструкции. Выделяемое кабелем тепло будет препятствовать примерзанию плиты и обогревать узел крепления (завесы).



1 – легкобрасываемый элемент покрытия; 2 – узел крепления (завесы); 3 – опорная конструкция.

Рисунок 2 – Принципиальная схема легкобрасываемого покрытия с выступающей частью

Оценить размер выступающей части плиты можно следующим образом. Пусть m – масса плиты, ее размер в перпендикулярном оси вращения направлении равен L , внутренняя площадь сечения опорной конструкции равна S_0 . Если край выступающей части плиты

находится на расстоянии X от оси вращения плиты, момент силы тяжести относительно этой оси равен $mg \cdot (L/2 - X)$, где $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения. При максимальной снеговой нагрузке Δp момент силы давления снега равен $\Delta p \cdot S \cdot (L/2 - X)$, где S – площадь поверхности плиты.

Момент силы избыточного давления взрыва $\Delta p_{\text{взрыва}} \leq 5 \text{ кПа}$ будет равен $\Delta p_{\text{взрыва}} \cdot S_0 \cdot (L - X)/2$. Вскрытие конструкции произойдет при выполнении условия (2):

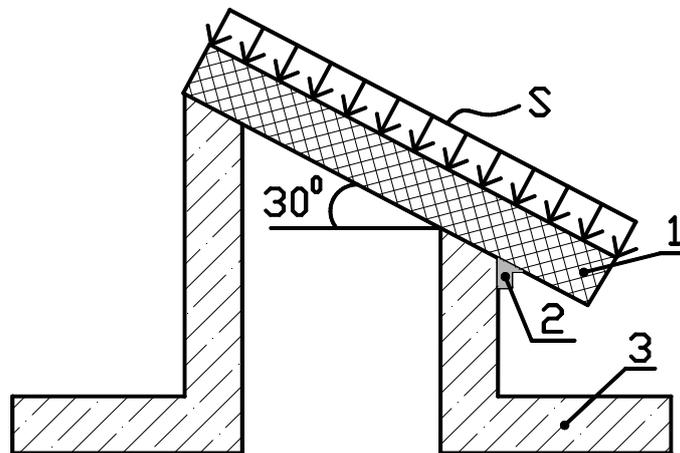
$$\Delta p_{\text{взрыва}} \cdot S_0 \cdot (L - X)/2 > mg \cdot (L/2 - X) + \Delta p \cdot (L/2 - X) + M_{\text{сопр}}, \quad (2)$$

где $M_{\text{сопр}}$ – момент сил сопротивления.

Отсюда следует, что вскрытие ЛСП произойдет при выполнении условия (3):

$$X > \frac{L \cdot (mg + \Delta p \cdot S - \Delta p_{\text{взрыва}} \cdot S_0) + 2 \cdot M_{\text{сопр}}}{2mg + 2\Delta p \cdot S - \Delta p_{\text{взрыва}} \cdot S_0}. \quad (3)$$

Обеспечить более быстрое вскрытие легкобрасываемого покрытия можно путем утяжеления выступающей части плиты. С целью предотвращения скопления снега на поверхности плиты ее следует установить с наклоном $\approx 30^\circ$. Для обеспечения вскрытия при воздействии избыточного давления взрыва авторами предлагается установить замок на легкобрасываемом элементе покрытия со стороны помещения, в котором возможно образование взрывоопасной смеси. Данный замок должен быть рассчитан на открывание при избыточном давлении взрыва $0,77 \cdot \Delta p_{\text{доп}}$ [4]. Для предотвращения перекрытия открывшегося сбросного отверстия предлагается по двум сторонам элемента установить автоматически срабатывающие удерживающие устройства. Предлагаемая конструкция ЛСП приведена на рисунке 3.



1 – легкобрасываемый элемент покрытия; 2 – узел крепления (завесы); 3 – опорная конструкция

Рисунок 3 – Принципиальная схема наклонного легкобрасываемого покрытия с выступающей частью

Уменьшение площади вскрытия при таком способе установки плит легко компенсировать увеличением количества рассматриваемых конструкций.

Вывод: Предложенные схемы обеспечения вскрытия плиты ЛСК представляются вполне соответствующими своему предназначению. Однако невозможность теоретического определения момента сил сопротивления и параметров взрыва требуют проведения экспериментальных исследований для проверки эффективности таких схем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брушлинский, Н.Н. Моделирование пожаров и взрывов / Н.Н. Брушлинский, А.Я. Корольченко. – М. : Ассоциация "Пожнаука", 2000. – 482 с.
2. Мольков, В.В. Вентиляция газовой дефлаграции : автореф. дис. ... доктора техн. наук: 05.26.03 / В.В. Мольков ; ВНИИПО МВД РФ. – М., 1996. – 48 с.
3. Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная безопасность технологических процессов. Методы оценки и анализа пожарной опасности. Общие требования: СТБ П 11.05.03-2006. – Введ. 01.02.2007. – Минск : НПРУП «Бел. гос. ин-тут стандартиз. и сертиф.», 2007.– 65 с.
4. Конструкции легкобрасываемые. Правила расчета: ТКП 45-2.02-38-2006.– Введ. 01.01.2007. – Минск : Мин-во архитект. и строит. Респ. Беларусь, 2006. – 27 с.
5. Нагрузки и воздействия (изменение № 1): СНиП 2.01.07-85. – Введ. 01.07.2004. – Минск : Мин-во архитект. и строит. Респ. Беларусь, 2004. – 12 с.
6. Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве. Ограничение распространения пожара в зданиях и сооружениях. Объемно-планировочные и конструктивные решения: СНБ 2.02.03-03. – Введ. 01.01.2004. – Минск : Мин-во архитект. и строит. Респ. Беларусь, 2003. – 16 с.
7. Разработать методику и испытательную установку по определению избыточного давления вскрытия заполнений проемов горизонтальных конструкций: отчет о НИР (заключ.) / НИИ ПБиЧС МЧС Республики Беларусь ; рук. темы А.М. Усов. – Минск, 2008. – 87 с. – № ГР 2007796.
8. Усов, А.М. Использование легкобрасываемых покрытий для обеспечения взрывозащиты производственных и складских помещений и зданий / А.М. Усов, А.С. Миканович // Актуальные проблемы пожарной безопасности : мат-лы междунар. науч.-практ. конф., Москва, 16-17 мая 2008 г. : в 2 ч. / ВНИИПО ; редкол. : Е.Ю. Сушкина [и др.]. – М., 2008. – Ч. 1. – С. 253–255.
9. Роцин, Д.В. Использование легкобрасываемых покрытий для взрывозащиты производственных и складских помещений и зданий при повышенных снеговых нагрузках / Д.В. Роцин, А.С. Миканович // Пожарная безопасность и охрана труда : мат-лы междунар. науч.-практ. конф. адъюнктов, курсантов и студентов, Черкассы, 14 мая 2008 г. / АПБ. – Черкассы, 2008. – С. 107–108.