

Н.Ф. Чертоляс, В.А. Кравец

Сибирский государственный индустриальный университет

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА НА ОКРУЖАЮЩИЕ ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ ПРИ ДЕМОНТАЖЕ ОБРУШЕНИЕМ ФРАГМЕНТОВ УГОЛЬНОЙ БАШНИ

При техническом перевооружении и реконструкции предприятий, исходя из актуальных нужд, возникает необходимость в сносе зданий и сооружений и в освобождении территории под застройку. В таком случае возможны различные варианты: взрыв, разрушение существующего сооружения, обрушение путем создания неустойчивого состояния и т.д. При этом всегда в таких случаях необходима оценка и прогноз состояния примыкающих зданий и сооружений к ликвидируемому, что особенно важно в условиях действующего предприятия.

В настоящей работе изложен опыт обрушения угольной башни и проведена оценка его влияния на сооружения существующего коксохимического производства.

Схема расположения зданий и сооружений, их взаимная привязка с инженерно-геологическими скважинами территории приведена на рис. 1.

На рис. 2 представлен инженерно-геологический разрез.

В таблице приведены количественные показатели физико-механических характеристик грунтов оснований.

В момент обрушения выполнены работы по подготовке к обрушению фрагмента башни массой 400 т с высотой падения 20 м. Падение осуществлено на основание, представляющее собой многослойную конструкцию, состоящую из фрагментов разрушенной коксовой батареи № 1. Наиболее уязвимыми с точки зрения сейсмических воздействий от падения фрагментов являются расположенные на расстоянии 20 м трассы газопроводов, в 40-м зоне – машинный зал цеха улавливания и в 100-м зоне – сульфатное отделение.

Амплитуда вертикальных колебаний при ударе фрагментов угольной башни по фундаментной части коксовой батареи определяется по формуле

$$a_z = \frac{I_z}{(1 + 1,67\xi_z)\lambda_z^m},$$

где I_z – импульс удара, определяемый из работы [1] по формуле $I_z = m_0 v$; здесь m_0 – масса падающего элемента, т·с²/м; $v = 0,9\sqrt{2gh}$ – скорость падающей башни, м/с; $g = 9,81$ – ускорение свободного падения, м/с²; $h = 20$ м – высота падения; ξ_z – относительное демпфирование (затухание) колебаний.

Параметр ξ_z определяется по формуле

$$\xi_z = 6\sqrt{\frac{E_0}{C_z P}},$$

в которой E_0 – модуль деформации грунта под подошвой фундамента коксовой батареи; P – среднее статическое давление под подошвой фундамента; λ_z – часть собственных колебаний, с⁻¹, фундаментной части коксовой батареи, находится по формуле

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{K_z}{m_z}},$$

где m_z – масса фундаментной части коксовой батареи; $K_z = C_z A$ – коэффициент жесткости основания фундамента коксовой батареи, т/м; A – площадь фундамента, м²; C_z – упругая характеристика сжатия, т/м³.

Значения C_z определяется из выражения

$$C_z = b_0 E_0 \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right),$$

где $b_0 = 1,2$ для суглинков.

Итак, масса падающей части фундамента угольной башни составляет 400 т, тогда

$$m_0 = \frac{400}{9,81} = 40,8 \frac{\text{т} \cdot \text{с}}{\text{м}}; \text{ высота падения } h_0 = 20 \text{ м,}$$

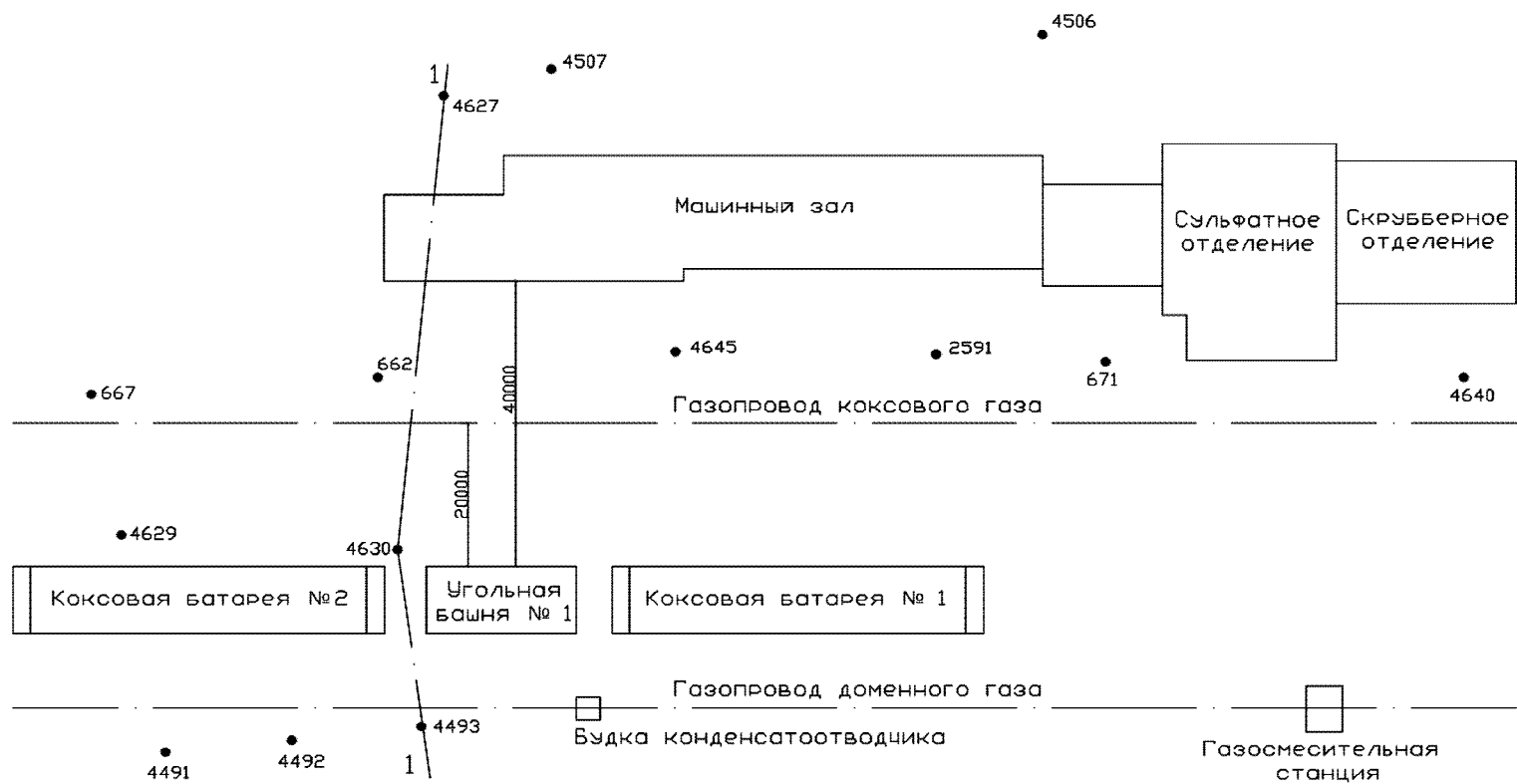


Рис. 1. Схема расположения зданий, сооружений и геологических скважин

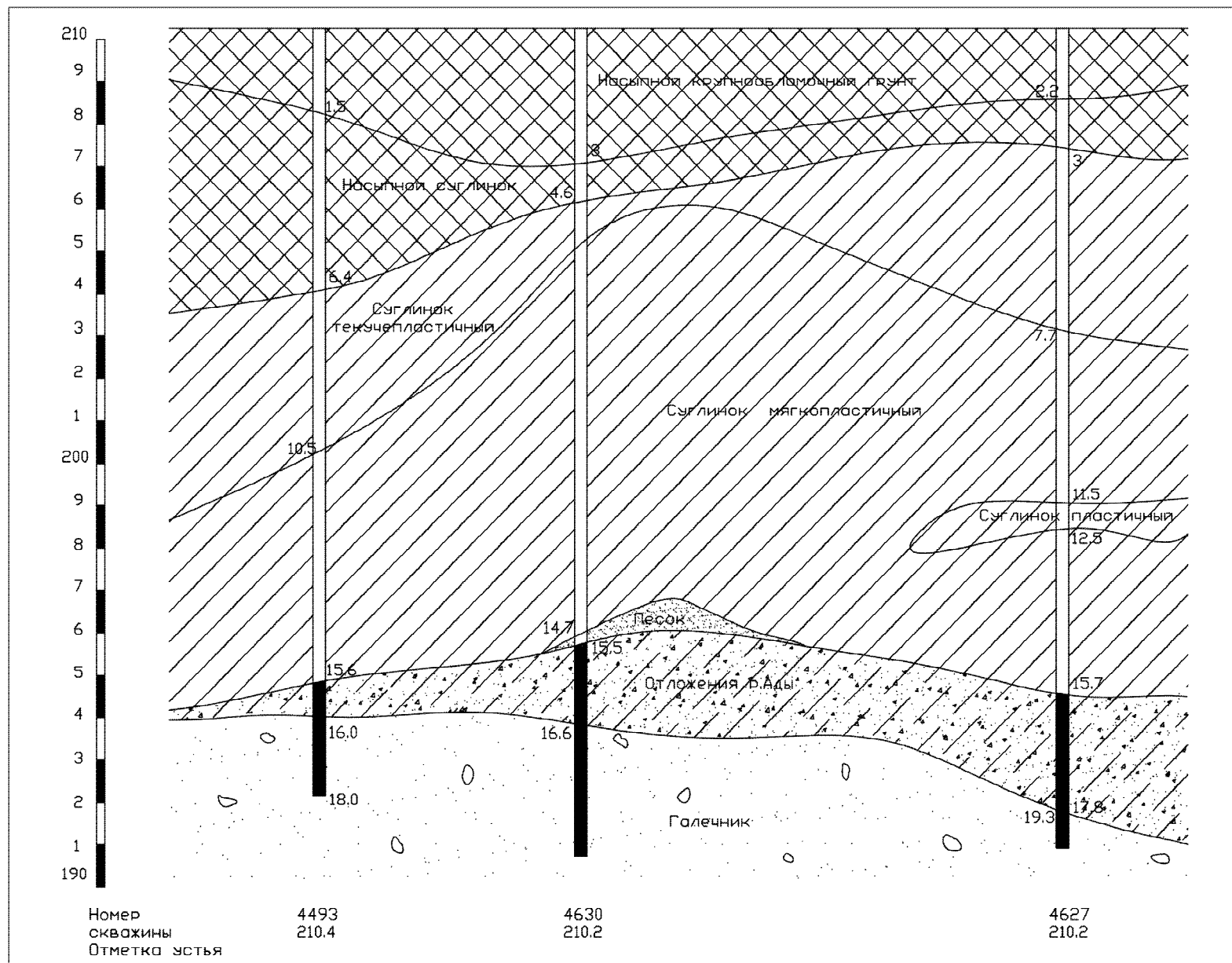


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез по линии 1 – 1

**Количественные показатели физико-механических характеристик
грунтов оснований**

Показатель	Значение показателя для					
	насыпного грунта		суглинка			
	крупнообло-мочного	суглини-стого	полу-твердого	туго-пластичного	мягкопла-стичного	текучепла-стичного
Естественная влажность	—	—	0,24	0,26	0,28	0,29
Число пластичности	—	—	14	13	12	11
Показатель консистенции	—	—	0,1	0,34	0,60	0,86
Плотность грунта, г/см ³	2,0	1,9	1,95	1,93	1,92	1,90
Плотность сухого грунта, г/см ³	—	—	1,59	1,52	1,50	1,46
Степень влажности	—	—	0,90	0,92	0,96	0,98
Коэффициент пористости	—	0,800	0,700	0,780	0,790	0,850
Угол внутреннего трения, °	25	18	17	20	12	6
Удельное сцепление, кПа	10	10	48	21	20	13
Модуль деформации, МПа	30	30	30	17	12	7

скорость падения $v_0 = 0,9\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 20} = 19,8 \text{ м/с}$.

Среднее значение модуля общей деформации грунтов основания принимается равным $E_0 = 1500 \text{ т/м}^2$, тогда

$$C_z = 1,2 \cdot 1500 \left(1 + \sqrt{\frac{10}{200}} \right) = 2196 \text{ т/м}^3;$$

$$P = 9430,3 : 64,2 \cdot 19,27 = 7,62 \text{ т/м}^2;$$

$$\xi_z = 6 \sqrt{\frac{1500}{2196 \cdot 7,62}} = 1,8;$$

$$m = \frac{9430,3}{9,81} = 961,3 \text{ т} \cdot \text{с}^2/\text{м};$$

$$K_z = 2196 \cdot 1237,3 = 2717110,8 \text{ т/м};$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{2717110,8 \cdot 9,81}{9430,3}} = 53,2 \text{ с}^{-1},$$

$$I_z = 40,8 \cdot 19,8 = 807,8 \text{ т} \cdot \text{с};$$

$$a_z = \frac{807,8}{(1 + 1,67 \cdot 1,8) \cdot 53,2 \cdot 961,3} = 0,00394 \text{ м},$$

или 3,94 мм, что соответствует по сейсмической шкале 7 баллам.

Так как источник сейсмического воздействия вблизи дневной поверхности и приемники этих воздействий – фундаменты зданий – также вблизи дневной поверхности, исследуем величину воздействия на разных расстояниях от источника.

Скорость распространения поперечных волн (волн сдвига) составит $b = 150 \text{ м/с}$.

Амплитуда вертикальных колебаний определяется по формуле

$$a_0 = \frac{\pi \rho R K_0}{\mu} J_1(xR) \sqrt{\frac{2}{\pi x}}.$$

Эквивалентный радиус круга рассчитывается как

$$R = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{1237,3}{3,14}} = 19,85 \text{ м};$$

$$x = \frac{\lambda_z}{b} = \frac{53,2}{150} = 0,35, \quad xR = 0,35 \cdot 19,85 = 6,94.$$

По таблицам функций Бесселя [4] имеем $J_1(xR) = 0,2993$.

Динамическое давление на грунт составит $P = C_z a_z = 2 \cdot 196 \cdot 0,00394 = 8,65 \text{ т/м}$; $K_0 = 0,145$ (для $\sigma = 0,5$ и $\sigma = 0,25$); находим значение a_0 :

$$a_0 = \frac{3,14 \cdot 8,65 \cdot 19,85 \cdot 0,145}{1700} \cdot 0,2993 \cdot \sqrt{\frac{2}{3,14 \cdot 0,35}} = 0,0186 \cdot \frac{1}{\sqrt{x}};$$

$$\text{при } x = h_0 = 20 \text{ м получаем, что } a_0 = 0,0186 \cdot \frac{1}{\sqrt{20}} = 0,004 \text{ м}.$$

Используем полученное значение a_0 для определения $a_r = a_0 \sqrt{\frac{r_0}{r}}$, тогда для различных расстояний r_m значения амплитудных колебаний можно представить следующими данными:

r_m , м	a_r , мм	Балл сейсмической шкалы
40	$0,707 \cdot 0,004 = 0,0028 = 2,8$	6
50	$0,632 \cdot 0,004 = 0,0025 = 2,5$	6
75	$0,516 \cdot 0,004 = 0,0020 = 2,0$	6
100	$0,447 \cdot 0,004 = 0,0018 = 1,8$	6
200	$0,316 \cdot 0,004 = 0,0012 = 1,2$	5

П р и м е ч а н и е. Амплитуды вычислены без учета поглощения энергии волн.

С учетом поглощения энергии волн амплитуды колебаний составят:

r_m , м	a_r , мм	Балл сейсмической шкалы
40	$2,8 \cdot 0,82 = 2,30$	6
50	$2,5 \cdot 0,74 = 1,85$	6
75	$2,0 \cdot 0,57 = 1,14$	5
100	$1,8 \cdot 0,45 = 0,81$	4 – 5
200	$1,2 \cdot 0,17 = 0,20$	2 – 3

Эффект поглощения проявляется на расстоянии 75 м.

При массе фрагмента 250 т имеем следующие данные:

Без учета поглощения энергии	
$a_z = 2,4$ мм	6 баллов
$a_{40} = 1,75$ мм	6 баллов
$a_{50} = 1,56$ мм	6 баллов
$a_{75} = 1,25$ мм	5 баллов
$a_{100} = 1,13$ мм	5 баллов
$a_{200} = 0,75$ мм	4 – 5 баллов
С учетом поглощения энергии	
$a_z = 2,4$ мм	6 баллов
$a_{40} = 1,43$ мм	5 баллов
$a_{50} = 1,15$ мм	4 – 5 баллов
$a_{75} = 0,71$ мм	3 – 4 балла
$a_{100} = 0,51$ мм	2 – 3 балла
$a_{200} = 0,125$ мм	2 – 3 балла

Проведем оценку возможных повреждений в зданиях и сооружениях, примыкающих к месту падения фрагментов угольной башни.

Согласно шкале интенсивности степени повреждения зданий и сооружений, выполненных без антисейсмических мер, к таким зданиям относятся следующие:

тип А – стены выполнены из рваного камня, из кирпича сырца, глинобитные;

тип Б – стены выполнены из обожженного кирпича, из природных и бетонных крупных блоков и мелких камней правильной формы;

тип В – крупнопанельные здания со стальным и железобетонным каркасом.

Степень повреждения зданий классифицируется следующим образом:

1 – легкие повреждения – небольшие трещины в стенах, откалывание небольших кусков штукатурки;

2 – умеренные повреждения – небольшие трещины в стенах, небольшие трещины в стыках между панелями, откалывание больших кусков штукатурки, падение частей дымовых труб;

3 – тяжелые повреждения – большие глубокие и сквозные трещины в стыках между панелями и в стенах, падение дымовых труб;

4 – разрушения – обрушение внутренних стен и стен заполнения, каркаса, проломы в стенах, обрушение частей зданий, разрушение связей между отдельными частями зданий;

5 – обвалы – полное разрушение зданий.

При 6 баллах наблюдаются повреждения первой степени в отдельных зданиях типа Б и во многих типа А; второй степени – в отдельных зданиях типа А.

При 7 баллах наблюдаются повреждения первой степени в зданиях типа В и отдельных – второй степени: во многих зданиях типа Б – повреждения второй степени и в отдельных – третьей; во многих зданиях типа А – повреждения третьей степени и в отдельных – четвертой.

Примыкающие к зоне падения фрагментов угольной башни здания и сооружения относятся к типам Б и В. Исходя из этого и с учетом данных [2, 3] опоры газопроводов будут подвергнуты сейсмическому воздействию, оцениваемому в 7 баллов, здание машзала – 6 баллов, сульфатного отделения – 4 – 5 баллов, будка конденсатоотводчика – 7 баллов, газосмесительная станция – 4 – 5 баллов.

Наиболее ответственным зданием в зоне падения фрагментов угольной башни является здание машзала, расположенного от места падения на расстоянии 40 – 50 м. Каркас здания – рамный монолитный железобетонный, фундаменты под газодувки – монолитные железобетонные. Заполнение стен – кирпичное. С уче-

том шкалы повреждений и типа здания можно предположить, что при падении 400-т фрагмента угольной башни возможно получение легких повреждений зданий в виде откалывания небольших кусков штукатурки. При обрушении фрагментов массой 250 т повреждений не должно наблюдаться.

Здания и сооружения сульфатного отделения находятся в зоне 4 – 5-балльного сейсмического воздействия, и с учетом этого не должны получить заметных повреждений, как при обрушении 400-т и тем более 250-т фрагментов.

Будка конденсатоотводчика и газосмесительная станция имеют несущий металлический каркас с кирпичным стеновым заполнением. Они достаточно сейсмоустойчивы.

Будка конденсатоотводчика расположена в зоне 7-балльного воздействия и в ней возможны небольшие повреждения в виде трещин в кладке и откалывания небольших кусков штукатурки.

Конструкции газосмесительной станции, расположенные в зоне 4 – 5-балльного воздействия, не должны получить заметных повреждений, даже с учетом того, что здание имеет большой износ.

Выводы. Обрушение угольной башни исходя из минимального повреждения окружающих зданий и сооружений с падением фрагментов на фундамент и основание коксовой батареи № 1 возможно. Легкие повреждения в виде откалывания небольших кусков штукатурки возможны в здании машзала при обрушении фрагмента массой 400 т. В будке конденсатоотводчика и газосмесительной станции – повреждения в виде небольших трещин в кирпичной кладке и откалывание кусков штукатурки. Остальные здания и сооружения, примыкающие к зоне падения, не получают заметных повреждений. При обрушении фраг-

ментов угольной башни должно быть обеспечено их падение строго по направлению оси фундамента коксовой батареи № 1. Это должно быть достигнуто соответствующей синхронизацией механизмов тяжения, а также контролем качества разрушения бетона и арматуры при подготовке фрагментов. С учетом вышеприведенного выполненное обрушение в январе 1998 г. подтвердило теоретические предпосылки и обеспечило беспрепятственное освобождение территории от существующей застройки без повреждений зданий и сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНИП 2.02.05 – 87 «Фундаменты машин с динамическими нагрузками». Утверждено Управлением стандартизации и технических норм в строительстве Госстроя России. – Москва, 1997.
2. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНИП 2.01.07 – 85*. Утверждено приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 27 декабря 2010 г. № 787, введено в действие с 20 мая 2011 г.
3. СП 14.13330.2011 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНИП II-7 – 81*. Утверждено приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 27 декабря 2010 г. № 779, введено в действие с 20 мая 2011 г.
4. Я н к е Е., Э м д е Ф., Л ё ш Ф. Специальные функции (Формулы, графики, таблицы). – М.: Наука, 1964. – 344 с.

© 2014 г. Н.Ф.Чертоляс, В.А.Кравец
Поступила 17 ноября 2014 г.