



Общество с ограниченной ответственностью «Ли́ра сервис»

117574, Москва, пр.Одоевского, д.3, корп.7, 1 эт., пом.ИІ, оф.63

ИНН 7728548282 КПП 772801001

Р/с 40702810338000065387 в ПАО «Сбербанк» г. Москва

К/с 30101810400000000225 БИК 044525225

manager@rflira.ru | www.rflira.ru | (495) 730-01-33

Исх. № б/н
от 29.11.2018

Заинтересованным лицам в Республике Казахстан

С выходом нового нормативного документа по расчету на сейсмические воздействия в Республике Казахстан (СП РК 2.03-30-2017) поступает много вопросов о возможности применения ПК Ли́ра-САПР 2017 и младше для выполнения расчетов несущих конструкций.

Во-первых, отметим, что в ПК Ли́ра-САПР 2018 появился отдельный динамический модуль (№60) для расчета по СП РК 2.03-30-2017, где реализованы все необходимые параметры данного воздействия. Кроме того, в релизе 2 версии 2018 реализовано назначение элементам схемы повышающих коэффициентов f_{vk} (п. 7.6.6) для реализации положений п. 7.6.5. Таким образом, в новой версии ПК Ли́ра-САПР 2018 есть все необходимые инструменты для выполнения расчета несущих конструкций с учетом положений СП РК 2.03-30-2017. С возможностями этой версии можно ознакомиться на странице <https://www.liraland.ru/lira/versions/2018/>.

В случае использования предыдущих версий ПК Ли́ра-САПР от 2017 и ниже (включая свободно распространяемую Ли́ра-САПР 2013*R5¹), такой расчет выполнять можно, но с рядом допущений. В приложении подробное исследование на эту тему. Из него можно сделать выводы:

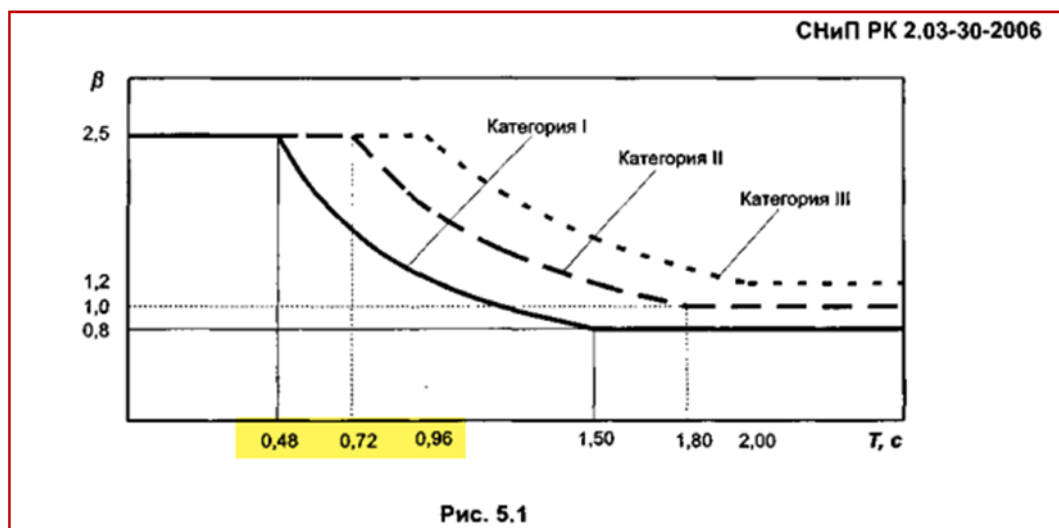
- Отдельный расчет на горизонтальную составляющую сейсмического воздействия [если вертикальная не имеет значения, т.е. (а) нет ни какого существенного её вклада и (б) в соответствии с нормами вертикальную составляющую учитывать не нужно] можно выполнять динамическим модулем 43 по СНиП РК 2.03-30-2006 с вводом дополнительного поправочного коэффициента (см. пример вычисления в Приложении часть III). При этом необходимо контролировать формы собственных колебаний на более высоких периодах (это первые формы колебаний) и вклад модальной массы от них, поскольку в этом диапазоне графики β по СНиП РК 2.03-30-2006 и графики расчетных спектров реакций (далее по тексту просто «спектр») по СП РК 2.03-30-2017 не совпадают. Если вклады модальных масс от таких форм существенны, то следует воспользоваться динамическим модулем 41 (ответ-спектр) с заданием преобразованного графика спектра и обобщенного произведения необходимых коэффициентов.
- Отдельный расчет на вертикальную составляющую сейсмического воздействия (когда горизонтальная составляющая не имеет значения, см. выше) возможен только динамическим модулем 41 (ответ-спектр). Пример задания см. в Приложении часть IV.
- Совместный расчет на вертикальную и горизонтальную составляющие по СП РК 2.03-30-2017 (п. 7.1.6), приведенными выше способами, не возможен. В СП РК 2.03-30-2017 спектры при вертикальном и горизонтальном воздействии (а так же ряд коэффициентов) отличаются, поэтому нет возможности применить для них единый поправочный коэффициент.

Примечание: ¹ ПК Ли́ра-САПР 2013*R5 не предназначена для выполнения коммерческих расчетов, является версией для ознакомления с возможностями программы и для работы в учебных заведениях (создана на базе устаревшей версии 2013 года, имеет не полный функционал, что не мешает курсовому проектированию и выполнению дипломных проектов). Для расчета несущих конструкций реальных зданий рекомендуется пользоваться лицензионными версиями, которые позволяют пользоваться технической поддержкой и получать своевременные обновления.

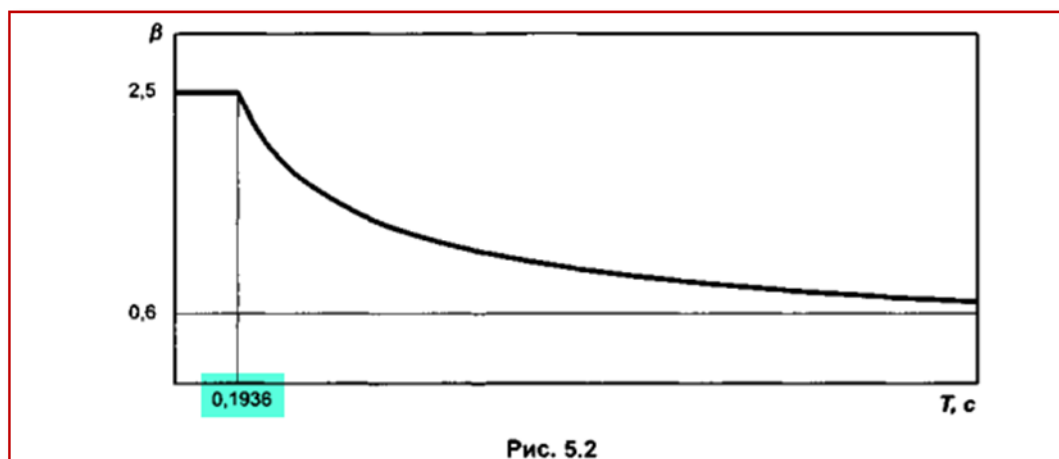
Приложение «Задание сейсмического воздействия по СП РК 2.03-30-2017 в ПК Лира-САПР 2017 и младших версиях»

I. Сравнение спектров в СНиП РК 2.03-30-2006 и СП РК 2.03-30-2017

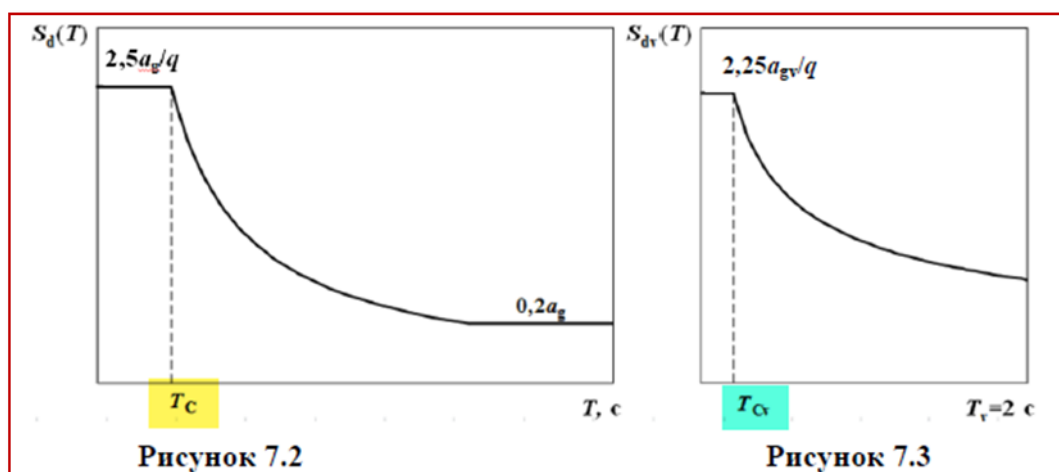
Для начала сравним формы спектров по двум нормативам:



Форма расчетного спектра реакций при горизонтальном воздействии (график б) в СНиП РК 2.03-30-2006



Форма расчетного спектра реакций при вертикальном воздействии (график в) в СНиП РК 2.03-30-2006



Форма расчетного спектра реакций при горизонтальном (слева) и вертикальном (справа) воздействии в СП РК 2.03-30-2017

Таблица 7.5 – Значения периодов T_C

Типы грунтовых условий на площадке строительства	Значения T_C , с
IA и IB	0,48
II	0,72
III	0,96

7.5.2 Для горизонтальных компонент сейсмического воздействия, учитываемых при расчете зданий и сооружений, спектр расчетных реакций $S_d(T)$ определяется с помощью выражений (7.6) – (7.7):

$$0 \leq T \leq T_C: \quad S_d(T) = a_g \cdot \frac{2,5}{q}, \quad (7.6)$$

$$T \geq T_C: \quad S_d(T) = a_g \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right], \text{ но не менее } \beta \cdot a_g, \quad (7.7)$$

где

$S_d(T)$ – спектр расчетных реакций, характеризующий горизонтальную компоненту сейсмического воздействия;

T_C – максимальное значение периода на постоянном участке графика спектральных ускорений, принимаемое в соответствии с данными таблицы 7.5;

T – период колебаний линейной системы с одной степенью свободы в горизонтальном направлении;

a_g – расчетное горизонтальное ускорение на площадке строительства, определяемое в соответствии с п. 7.5.5 или по Приложению Е;

Граница перелома спектра для горизонтальных воздействий в СП РК 2.03-30-2017

7.5.3 Для вертикальной компоненты сейсмических воздействий спектр расчетных реакций $S_{dv}(T)$ определяется с помощью выражений (7.8) и (7.9):

$$0 \leq T_v \leq T_{Cv}: \quad S_{dv}(T) = a_{gv} \cdot \frac{2,25}{q}; \quad (7.8)$$

$$T_{Cv} \leq T_v \leq 2,0: \quad S_{dv}(T) = a_{gv} \cdot \frac{2,25}{q} \cdot \left[\frac{T_{Cv}}{T_v} \right]^k, \quad (7.9)$$

где

$S_{dv}(T)$ – спектр расчетных реакций, характеризующий вертикальную компоненту сейсмического воздействия;

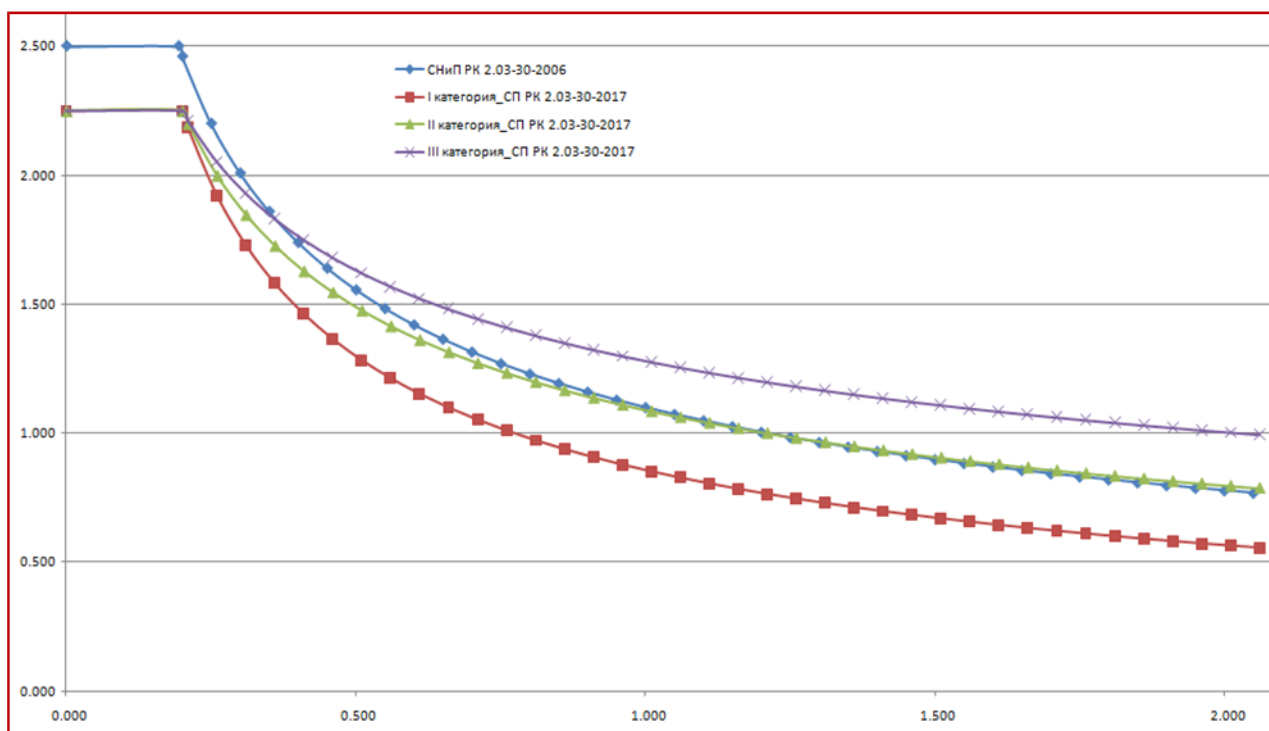
T_{Cv} – максимальное значение периода на постоянном участке графика спектральных ускорений, принимаемое равным 0,2 секунды;

Граница перелома расчетного спектра реакций для вертикальных воздействий в СП РК 2.03-30-2017

Как видим выше, в СНиП РК 2.03-30-2006 и СП РК 2.03-30-2017:

- граница перелома на максимуме спектра:
 - для горизонтальных воздействий полностью совпадают (0.48 с, 0.72 с, 0.96 с);
 - для вертикальных воздействий с разницей в 3.2% (0.1936 с и 0.2 с);
 - величина спектра на максимуме:
 - для горизонтальных воздействий полностью совпадают (равно 2.5)*;
 - для вертикальных воздействий с разницей в 10% (2.25/2.5), в новом СП РК 2.03-30-2017 ниже;
- [*напомним, что коэффициент редукции K_2 (или коэффициент допускаемых повреждений K_1 в СНиП II-7-81) по смыслу равен обратному значению коэффициента поведения для регулярных по высоте зданий, т.е. $K_2 = 1/q$]

- форма спектра между максимумом и минимумом
 - для горизонтальных воздействий совпадает полностью для всех категорий грунтов:
 - по СНиП РК 2.03-30-2006 – $1.2/T$; СП РК 2.03-30-2017 – $2.5 \cdot T_c/T = 1.2/T$ ($T_c = 0.48$ с);
 - по СНиП РК 2.03-30-2006 – $1.8/T$; СП РК 2.03-30-2017 – $2.5 \cdot T_c/T = 1.8/T$ ($T_c = 0.72$ с);
 - по СНиП РК 2.03-30-2006 – $2.4/T$; СП РК 2.03-30-2017 – $2.5 \cdot T_c/T = 2.4/T$ ($T_c = 0.96$ с);
 - для вертикальных воздействий сходится по-разному для разных категорий грунта, поскольку в СНиП РК 2.03-30-2006 был всего один спектр, а в СП РК 2.03-30-2017 три разных спектра для каждой категории грунта (в соотв. с формулой 7.7):
 - весь спектр по СП РК 2.03-30-2017 ниже спектра по СНиП РК 2.03-30-2006, т.е. расчет по спектру СНиП РК 2.03-30-2006 даст «запас», либо можно принять дополнительный понижающий коэффициент порядка 0.9;
 - в начале графика спектр по СП РК 2.03-30-2017 ниже спектра по СНиП РК 2.03-30-2006, а начиная с $T=0.5$ с совпадают довольно точно (нет необходимости в поправочном коэффициенте);
 - в начале графика спектр по СП РК 2.03-30-2017 ниже спектра по СНиП РК 2.03-30-2006, в точке с $T=0.35$ с графики пересекаются, а дальше график по СП РК 2.03-30-2017 выше спектра по СНиП РК 2.03-30-2006 и разница нарастает (т.е. для форм с периодом выше 0.4 с необходимо анализировать – какие формы колебаний дали максимальный вклад в модальную массу по периодам и принимать решение о необходимости дополнительного повышающего коэффициента).



Сравнение расчетных спектров реакций при вертикальном воздействии

- величина спектра на минимуме (минимально допустимая величина спектра):
 - для горизонтальных воздействий – в СП РК 2.03-30-2017 минимальное значение спектра не более $0.2a_g$ (в этом выражении коэффициент поведения q не участвует, хотя во всех остальных описаниях спектра участвовал), поэтому чтобы сравнить минимальные границы нам нужно минимумы графика β из СНиП РК 2.03-30-2006 разделить на коэф. поведения q из СП РК 2.03-30-2017. Т.о. на более высоких периодах колебаний величины инерционных сил будут зависеть не от категории грунта, а от конструктивного типа здания.
 - для вертикальных воздействий разница минимальных спектров по СНиП РК 2.03-30-2006 и СП РК 2.03-30-2017 повторяет разницу форм спектров на графике выше.

Таким образом, можно сделать вывод, что **для расчета на горизонтальные** сейсмические воздействия по СП РК 2.03-30-2017 в ПК Лири-САПР версии 2017 можно применять расчет по нормам СНиП РК 2.03-30-2006 вводя поправочный коэффициент. Это справедливо т.к. формы спектров совпадают (кроме больших значений периодов колебаний, поскольку минимальные величины спектра отличаются), а разница в коэффициентах и величинах ускорений единая для всего сейсмического нагружения, поэтому отношение произведения ускорений и всех коэффициентов можно задать как величину поправочного коэффициента (будет корректно только для горизонтальных инерционных сил).

Для расчета на вертикальные сейсмические воздействия необходимо уточнение поправочного коэффициента в связи с отличием спектров по разным категориям грунтов и на разных участках спектра.

Совместный расчет на вертикальную и горизонтальную составляющие по СП РК 2.03-30-2017 (п. 7.1.6), приведенными выше способами, **не возможен**. В СП РК 2.03-30-2017 спектры при вертикальном и горизонтальном воздействии (а так же ряд коэффициентов) отличаются, поэтому нет возможности применить для них единый поправочный коэффициент.

Обращаем внимание – в версии Лири-САПР 2018 появился отдельный динамический модуль (№60) для расчета по СП РК 2.03-30-2017, где реализованы все необходимые параметры данного воздействия, включая построение отдельных спектров для горизонтальных и вертикальной составляющих.

II. Учет поправочного коэффициента f_{vk}

Для этажей с изменением по высоте жесткости и массы можно вручную рассчитать повышающий коэффициент f_{vk} (п. 7.6.6) и применить его в качестве коэффициента сочетания для отдельной группы РСУ (в Лири-САПР 2017 и ниже), в которую входят только элементы этих этажей. Таким образом, не придется создавать отдельное сейсмическое нагружение для конструктивного расчета таких этажей. Как работать с группами РСУ см. в справке: «Формирование расчетной схемы/Нагрузки/PCY/Формирование групп РСУ».

Напомним – «группы РСУ» включают набор элементов, и позволяют пользоваться разными столбцами коэффициентов сочетаний. Таким образом, каждая группа РСУ будет пользоваться своим набором столбцов по четверкам: к столбцам 1-4 все элементы обращаются по умолчанию, а к столбцам 5-8, 9-12, 13-15 можно отправлять заранее настроенные списки элементов. При этом в каждой четверке сохраняется назначение столбцов: 1 – «Первое основное сочетание», 2 – «Второе основное сочетание», 3 – «Особое сочетание» (с сейсмикой), 4 – «Особое без сеймики». Т.о. в столбцах 1, 5, 9, 13 задаются одинаковые сочетания для эксплуатационных нагрузок по 1му основному сочетанию, в столбцах 2, 6, 10, 14 задаются одинаковые сочетания для эксплуатационных нагрузок по 2му основному сочетанию, в столбце 3 задать коэффициент сочетания сеймики равный 1 (для обычных этажей), тогда в столбцах 7, 11, 14 можно задать коэффициенты сочетаний умноженные на повышающий коэффициент f_{vk} для соответствующих элементов этажей с резким изменением масс и жесткостей (т.е. увеличить для группы элементов усилия от вклада сейсмического воздействия). Т.о. в рамках одной задачи с помощью текущих возможностей можно учесть до трех специфических уровней с разными коэффициентами f_{vk} .

Расчетные сочетания усилий

Номер таблицы РСУ

1

+

Имя таблицы РСУ

сп_1

Строительные нормы

СП 20.13330.2016

Номер загрузки

1

1_Г_пост-к=1.1

Вид загрузки

Постоянное(0)

По умолчанию

N группы объединяемых временных нагрузений

0

Учитывать знакперенность

N группы взаимоисключающих загружений

0

NN сопутствующих загружений

0

0

Коэффициент надежности

1.10

Доля длительности

1.00

Не учитывать для II-го пред. сост.

Коэффициенты для РСУ

#	1 основ.	2 основ.	Особ.(С)	Особ.(б.С)	5 сочет.	6 сочет.	7 сочет.	8 сочет.	9 сочет.	10 сочет.	11 сочет.	12 сочет.	13 сочет.	14 сочет.	15 сочет.
1	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	1.00	1.00	0.90	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1.00	1.00	0.50	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	1.00	1.00	0.80	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	1.00	1.00	0.50	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Таблица РСУ с выделенными столбцами по группам

О группах РСУ можно прочесть в базе знаний «ЛИРА-САПР/PCY, РСН, Метеор/ PCY с дополнительными столбцами» по ссылке: <https://rflira.ru/kb/91/463/>

Обращаем внимание – в версии Лири-САПР 2018 релиз 2 реализовано назначение элементам схемы повышающих коэффициентов f_{vk} и визуализация мозаики назначенных коэффициентов.

III. Определение величины поправочного коэффициента для сейсмического воздействия по СНиП РК 2.03-30-2006

Расчетная сейсмическая нагрузка по СНиП РК 2.03-30-2006 равна:

$$S_{ik} = K_1 K_2 K_3 Q_k A \beta_i K_0 K_\psi \eta_{ik}$$

где:

Q_k – вес массы в узле k (определяются в ПК Лири-САПР автоматически в соответствии с параметрами заданными в документе «Формирование динамических нагрузок из статических»);

η_{ik} – коэффициент i -той формы колебания в k -том узле (собственные значения, определяемые в ПК Лири-САПР);

β_i – коэффициент динамичности i -той формы (величина спектра для периода колебаний рассматриваемой формы в относительных единицах);

A – коэффициент сейсмичности (умножением этого коэффициента на $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ получаем ускорение для сейсмического нагружения);

$K_1 K_2 K_3 K_0 K_\psi$ – произведение соответствующих коэффициентов.

Расчетная сейсмическая нагрузка по СП РК 2.03-30-2017 равна:

$$F_{ik} = \gamma_i S_d(T_i) m_{ik}$$

где:

$m_{ik} = m_k \eta_{ik}$, (где $m_k = Q_k$ (вес массы в узле k), η_{ik} тот же)

$S_d(T_i)$ – значение спектра расчетных реакций в ускорениях (аналог коэффициента динамичности β_i , см. выше раздел I посвященный сравнению величин и форм спектров) – в данном спектре уже заложен коэффициент поведения q , который обратно пропорционален коэффициенту редукции K_2 (или коэффициент допустимых повреждений K_1 в СНиП II-7-81) и заложено ускорение рассматриваемого сейсмического воздействия, но для вычисления поправочного коэффициента к СНиП РК 2.03-30-2006 мы коэффициент поведения q и ускорение вынесем за пределы спектра, тогда значение спектра для вычисления поправочного коэффициента будет выглядеть так: $S_d(T_i) = a_g \beta_i / q$;

γ_{ix} (γ_{ih} или γ_{iv}) – коэффициент ответственности (для горизонтальных или вертикальных воздействий).

Чтобы получить поправочный коэффициент, рассмотрим параметры сейсмического воздействия по СНиП РК 2.03-30-2006:

Меню ПК Лири-САПР для расчета по СНиП РК 2.03-30-2006 (модуль динамики 43)

Для получения поправочного коэффициента необходимо произведение всех новых параметров по СП РК 2.03-30-2017 разделить на произведение параметров по СНиП РК 2.03-30-2006:

$$[F_{ik} = \gamma_i (a_g \beta_i / q) (Q_k \eta_{ik})] / [S_{ik} = K_1 K_2 K_3 Q_k A \beta_i K_0 K_\psi \eta_{ik}]$$

– параметры Q_k и η_{ik} сокращаются (их автоматически вычисляет ПК Лири-САПР);

- параметр спектра β_i сокращается (с оговорками раздела I, в некоторых случаях может понадобиться дополнительный поправочный коэффициент, условно обозначим его K_β);
- отношения ускорений $a_g/(A g) = a_g/(A 9.81)$ в m/c^2 дают вклад в поправочный коэффициент;
- коэффициенты ответственности и поведения γ_i/q дают вклад в поправочный коэффициент;
- для простоты вычислений, принимаем в соответствующем меню ПК Лири-САПР (модуль динамики 43) произведение всех коэффициентов $K_1 K_2 K_3 K_0 K_\psi = 1$.

Тогда получаем поправочный коэффициент:

$$K = a_g \gamma_{ix} K_\beta / (q A 9.81)$$

Рассмотрим пример такого расчета на плоской двухпролетной 10-этажной раме при горизонтальном воздействии в ПК Лири-САПР 2018.

В первом нагружении приложим сосредоточенные силы в узлы рамы и сформируем из этого нагружения массы для динамического расчета с коэффициентом равным 1 (это просто для примера).

Принимаем исходные данные для расчета по СП РК 2.03-30-2017 (Загружение 2):

Таблица 7.2 – Классы ответственности зданий и сооружений по назначению – II.

Таблица 7.3 – Классы ответственности зданий по этажности – III.

Таблица 7.4 – Значения коэффициентов ответственности для зданий (для сочетания II и III классов):

для горизонтального воздействия – $\gamma_{lh} = 1 + 0.06 \cdot (n - 5) = 1 + 0.06 \cdot (10 - 5) = 1.3$

для вертикального воздействия – $\gamma_{lv} = 1 + 0.06 \cdot (n - 5) = 1 + 0.04 \cdot (10 - 5) = 1.2$

Расчетное горизонтальное ускорение на площадке строительства $a_g = 0.219 \cdot 9.81 = 2.148 \text{ м/с}^2$ (приблизительно как для 8 баллов по старым нормам).

Типы грунтовых условий – II.

Таблица 7.5 – Значения периодов $T_c = 0.72$ (для II типа грунтовых условий).

Таблица 7.7 – Отношения значений a_{gv} и $a_g = 0.8$ (при $0.12g < a_g \leq 0.4g$).

Таблица 7.8 – Значения коэффициента поведения для регулярных по высоте зданий – 4 (п. 3.а).

Принимаем данные для расчета поправочного коэффициента к воздействию по СНиП РК 2.03-30-2006 (Загружение 3):

Бальность – 8 баллов (конкретная бальность не так важна, но от неё берутся прочие коэффициенты).

Категория грунта – II (выбираем такую категорию грунта, при которой точка перегиба графика β с горизонтальной площадки в уклон соответствует значению T_c по таблице 7.5 в СП РК 2.03-30-2017).

Таблица 5.5 – Коэффициент сейсмичности A_g при 8 баллах – 0.25.

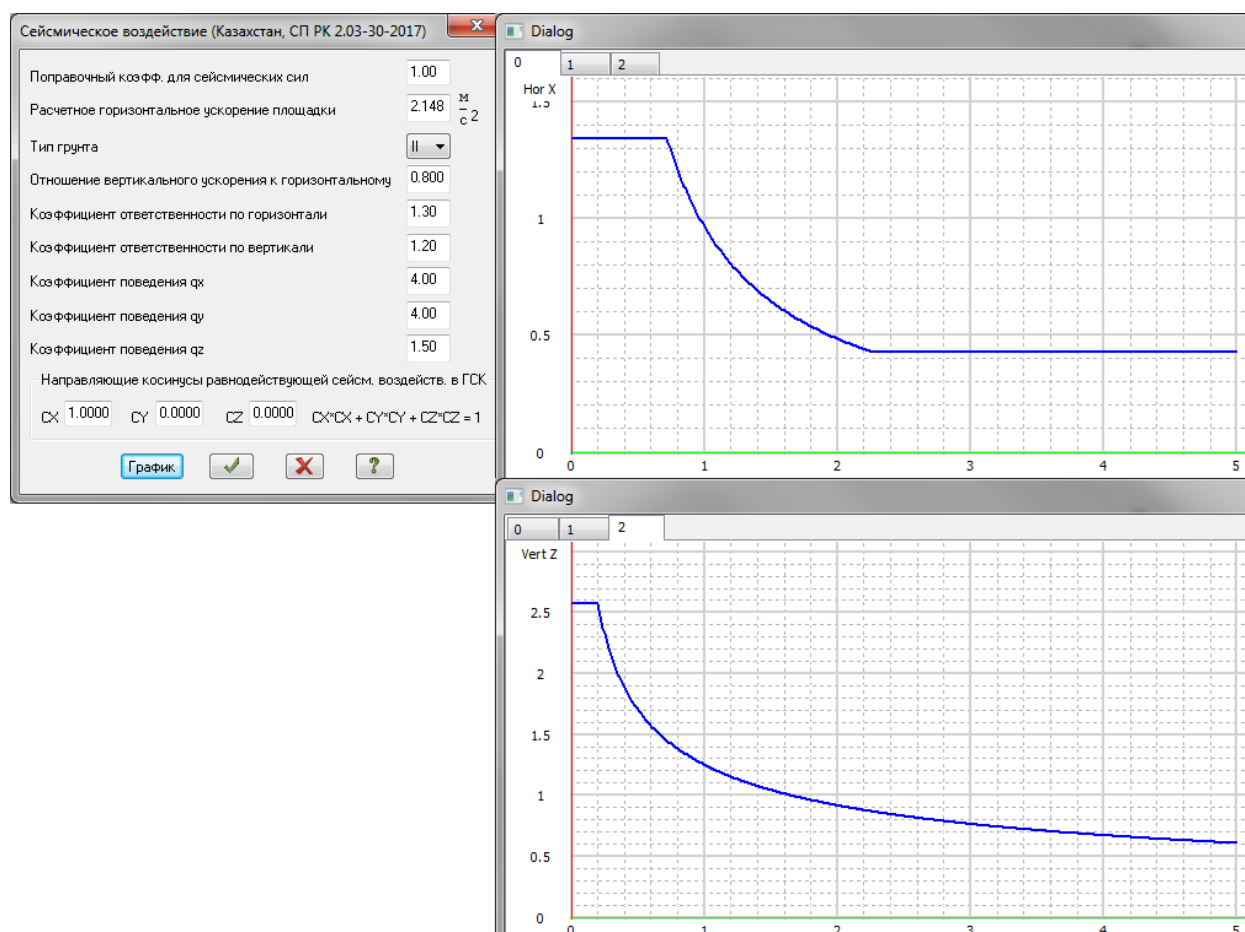
Все остальные коэффициенты для упрощения вычислений принимаем равными 1.

Тогда поправочный коэффициент равен: $K = a_g \gamma_{lx} K_\beta / (q A 9.81) = 2.148 \cdot 1.3 \cdot 1 / (4 \cdot 0.25 \cdot 9.81) = 0.285$

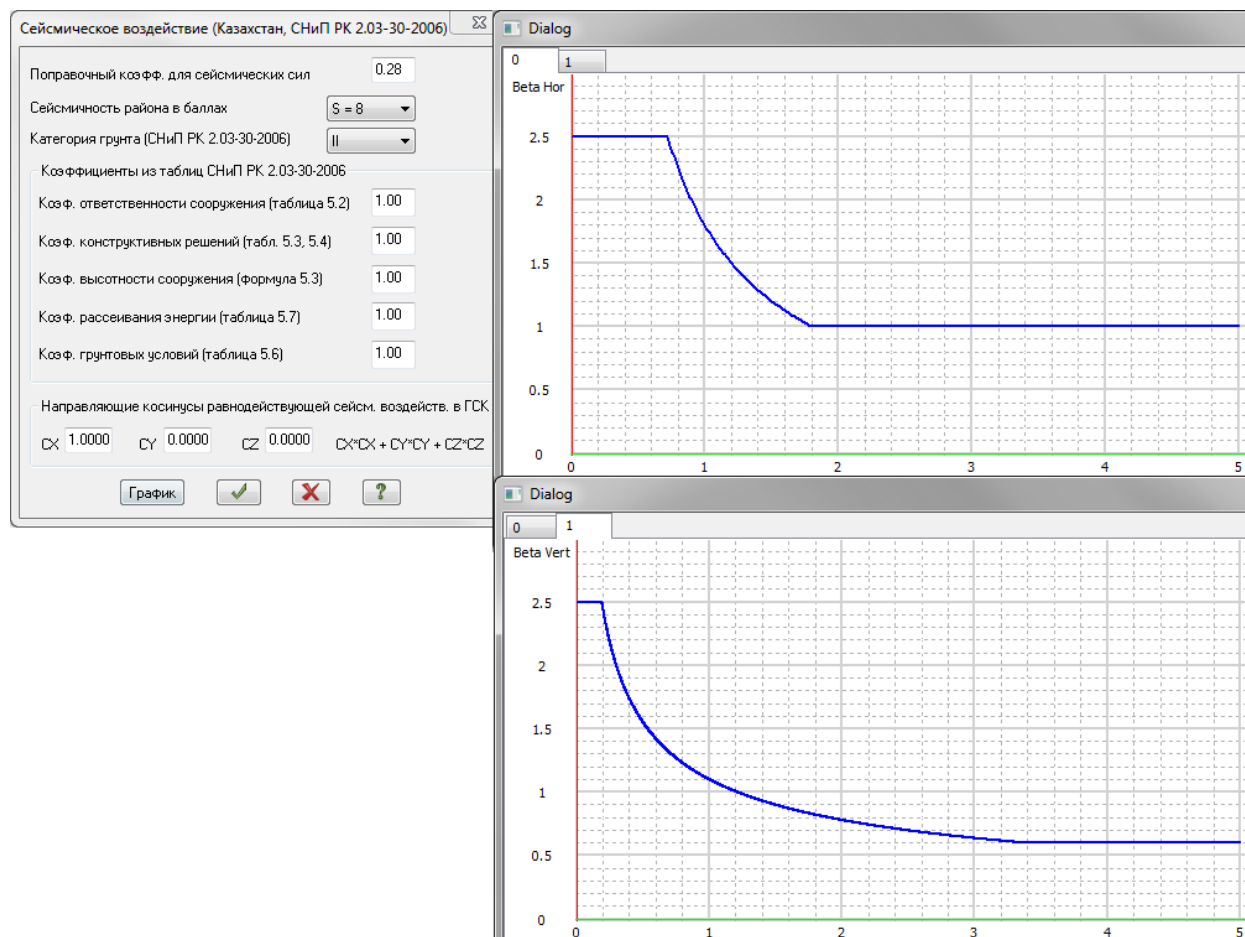
В программе принимаем K округленный до сотых (или он округлится автоматически), т.е. **$K=0.28$** .

Ниже приведены заданные исходные данные и сравнение результатов расчета.

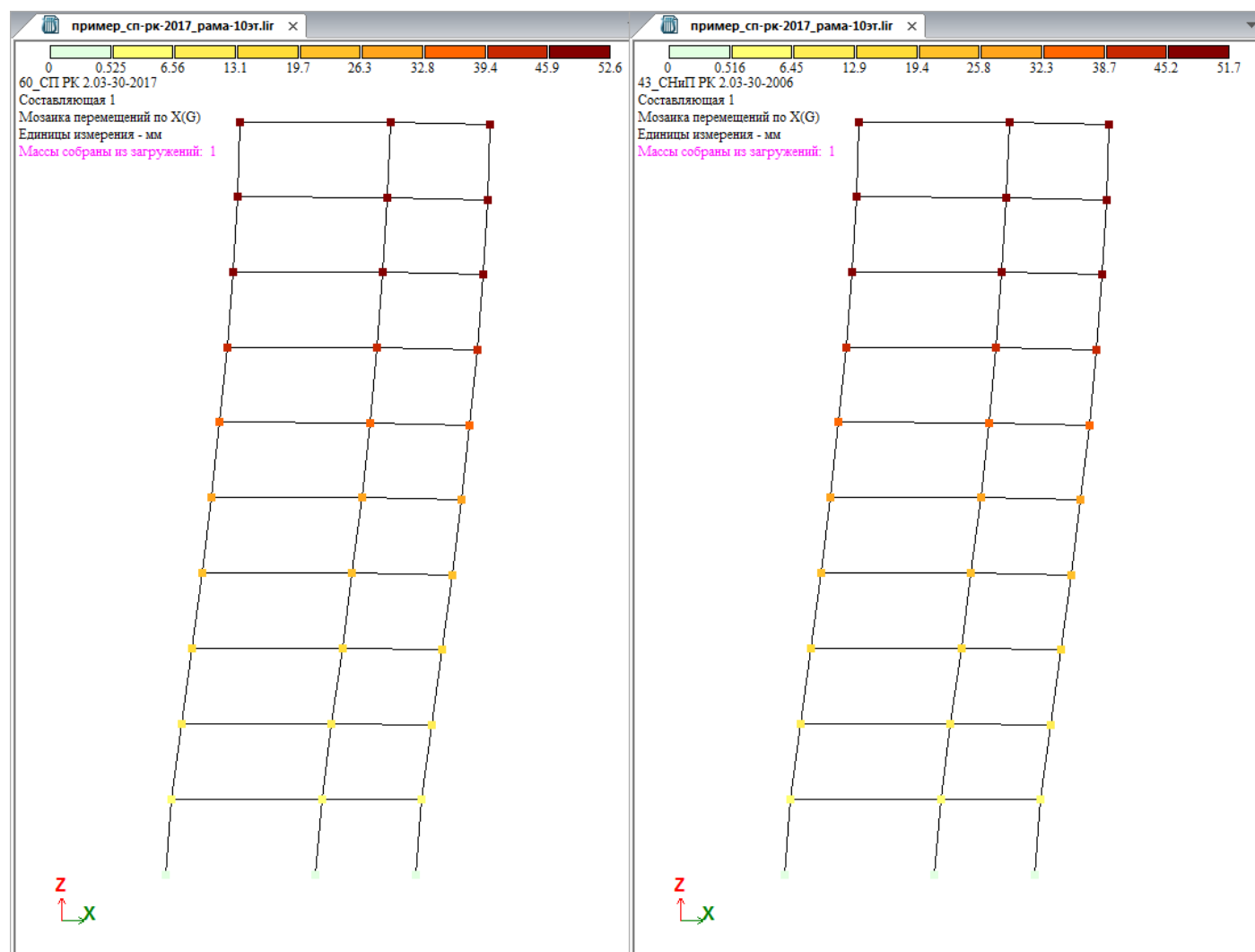
Принятые параметры воздействия по СП РК 2.03-30-2017 и полученные графики спектров (загрузка 2):



Принятые параметры воздействия по СНиП РК 2.03-30-2006 и графики β (загрузка 3):



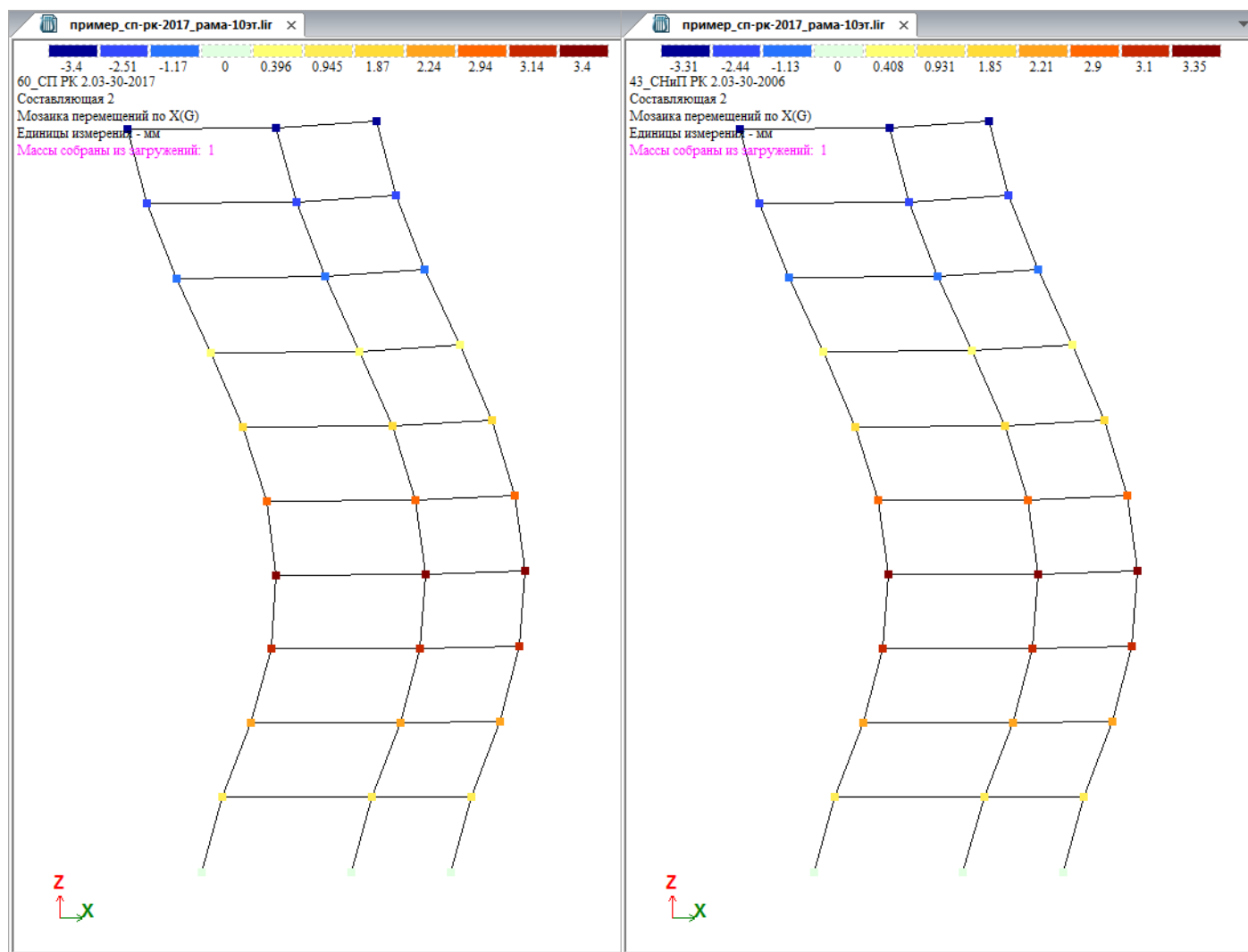
Результаты перемещений по форме 1 в нагрузках 2 и 3 (погрешность 1.7% ($51.7/52.6 = 0.983$) соответствует погрешности введенного поправочного коэффициента $0.28/0.285 = 0.982$, поэтому округлять до сотых лучше в большую сторону).



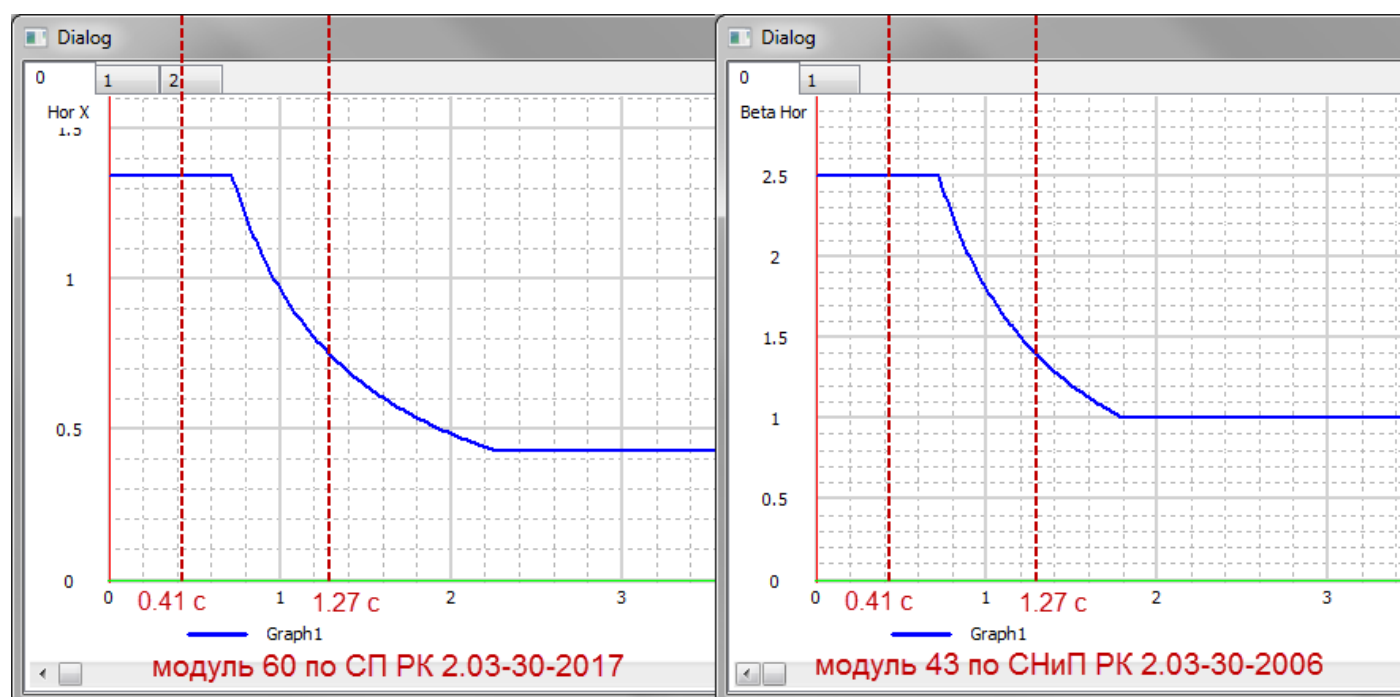
Периоды колебаний по обоим воздействиям идентичны, поскольку это собственные колебания конструкции, которые от параметров таких воздействий не зависят, а зависят лишь от заданных жесткостей и масс.

пример_сп-рк-2017_рама-10эт: Периоды колебаний (01)								
<div> Передать Сохранить Сверстать ↑ ↓ Копировать </div>								
ЗАГР	N п/п	Собств...	Рад/с.	Гц.	Периоды	Козф. ...	Масса	Сумма ...
2 - (мод. 60)								
2	1	0.201812	4.955101	0.789029	1.267381	-1.300635	80.429447	80.429447
2	2	0.065434	15.282691	2.433549	0.410922	0.454649	10.545389	90.974837
2	3	0.037041	26.996991	4.298884	0.232619	0.254987	3.704121	94.678957
2	4	0.025249	39.605024	6.306532	0.158566	0.194717	2.016573	96.695530
2	5	0.018659	53.594494	8.534155	0.117176	-0.155694	1.263786	97.959316
2	6	0.015931	62.770941	9.995373	0.100046	-0.011318	0.003690	97.963006
2	7	0.014576	68.605760	10.924484	0.091538	0.126807	0.852828	98.815834
2	8	0.012547	79.699103	12.690940	0.078796	-0.029399	0.013091	98.828925
2	9	0.011872	84.231468	13.412654	0.074556	-0.106101	0.566121	99.395046
2	10	0.010520	95.057377	15.136525	0.066065	-0.043415	0.025667	99.420713
2	11	0.010072	99.286433	15.809942	0.063251	-0.078614	0.342765	99.763478
2	12	0.008956	111.662373	17.780633	0.056241	-0.058724	0.184466	99.947944
3 - (мод. 43)								
3	1	0.201812	4.955101	0.789029	1.267381	-1.300635	80.429447	80.429447
3	2	0.065434	15.282691	2.433549	0.410922	0.454649	10.545389	90.974837
3	3	0.037041	26.996991	4.298884	0.232619	0.254987	3.704121	94.678957
3	4	0.025249	39.605024	6.306532	0.158566	0.194717	2.016573	96.695530

Результаты перемещений по форме 2 в загрузках 2 и 3 (погрешность 1.5% ($3.35/3.4=0.985$) так же близка к погрешности введенного поправочного коэффициента).



Такая хорошая сходимость была получена благодаря совпадению формы графиков спектра, а на несовпадение величин мы ввели поправочный коэффициент.



Рассмотрим еще один пример уже 16-этажной рамы, чтобы проверить, что происходит при бо́льших периодах колебаний.

Корректировка исходных данных для расчета по СП РК 2.03-30-2017 только в части этажности:

Таблица 7.4 – Значения коэффициентов ответственности для зданий (для сочетания II и III классов):

для горизонтального воздействия – $\gamma_{lh} = 1 + 0.06 \cdot (n - 5) = 1 + 0.06 \cdot (16 - 5) = 1.66$

для вертикального воздействия – $\gamma_{lv} = 1 + 0.06 \cdot (n - 5) = 1 + 0.04 \cdot (16 - 5) = 1.44$

Тогда поправочный коэффициент к воздействию по СНиП РК 2.03-30-2006 равен:

$$K = a_g \gamma_{lx} K_{\beta} / (q A 9.81) = 2.148 \cdot 1.66 \cdot 1 / (4 \cdot 0.25 \cdot 9.81) = 0.363 \sim \mathbf{0.36}$$

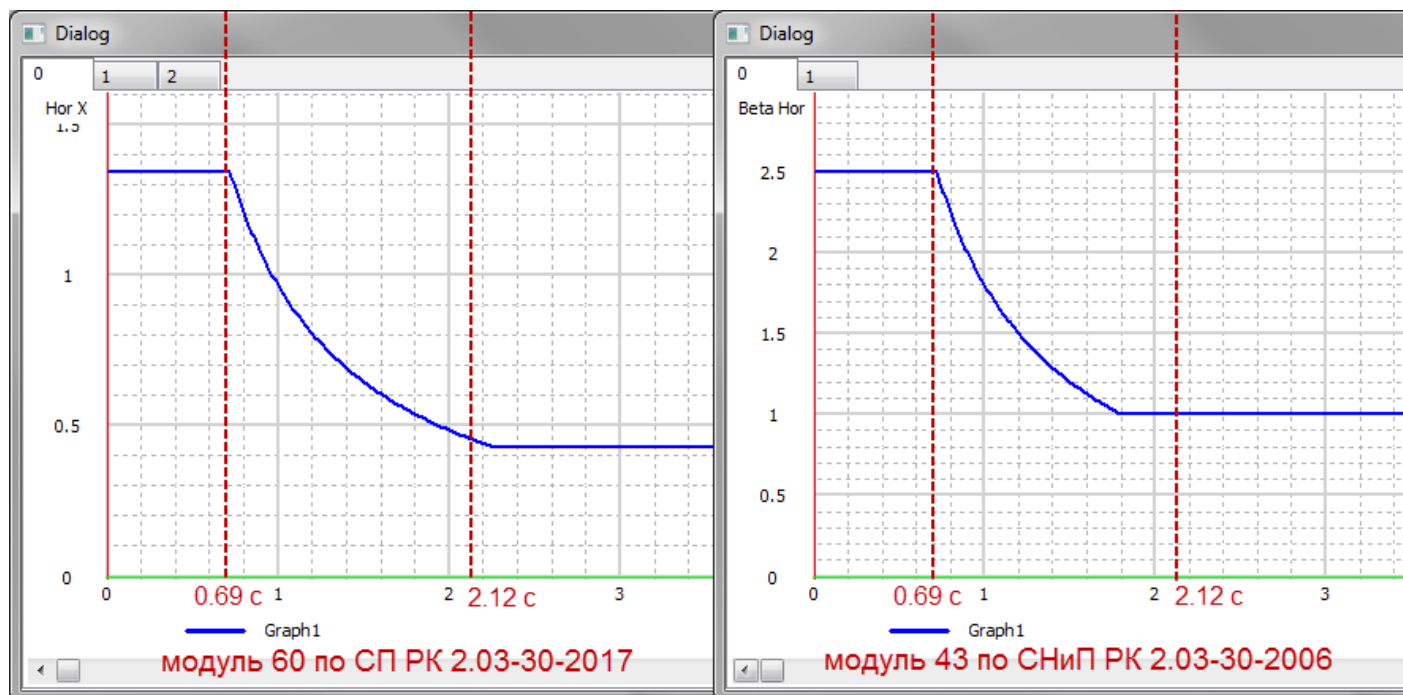
Результаты перемещений по форме 1 в загрузениях 2 и 3 (уже погрешность 17.3% ($135/115 = 1.173$)).



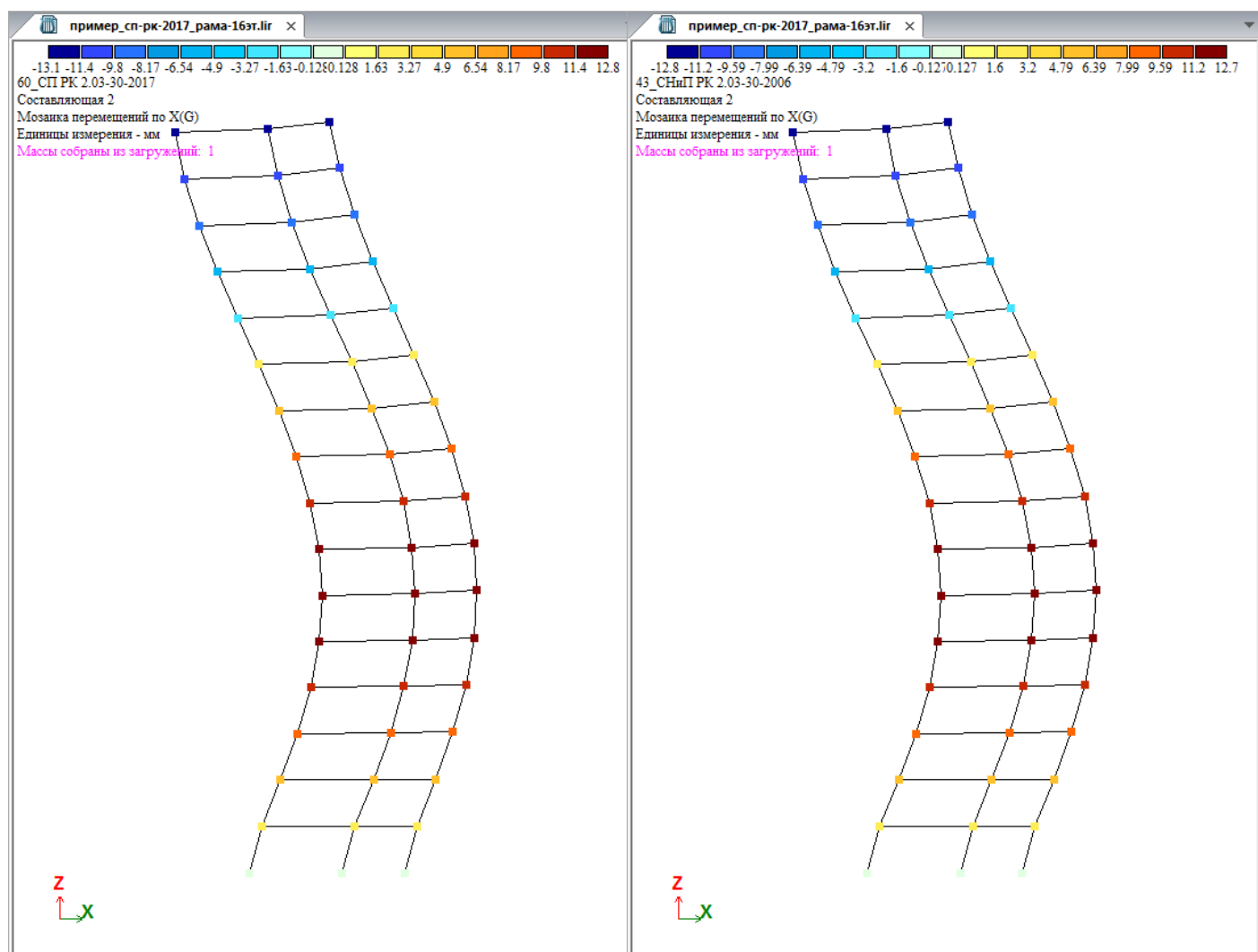
Это связано с тем, что период первой формы колебаний ($T = 2.12$ с) попал на участок не совпадающих спектров.

пример_сп-рк-2017_рама-16эт: Периоды колебаний (01)								
ЗАГР	N п/п	Собств...	Рад/с.	Гц.	Периоды	Козф. ...	Масса	Сумма ...
2 - (мод. 60)								
2	1	0.338240	2.956477	0.470777	2.124150	-1.331059	78.776278	78.776278
2	2	0.109628	9.121783	1.452513	0.688462	0.488347	11.451010	90.227288
2	3	0.061681	16.212422	2.581596	0.387357	-0.268526	3.599271	93.826560
2	4	0.042833	23.346657	3.717621	0.268989	0.192290	1.889845	95.716405
2	5	0.032246	31.011509	4.938138	0.202505	-0.150598	1.165253	96.881658
2	6	0.025576	39.099702	6.226067	0.160615	-0.124552	0.811655	97.693313

На рисунке ниже видно, что участки спектров не совпадают по своим минимальным значениям, о чем говорится в разделе I на стр. 4 (в части «величина спектра на минимуме (минимально допустимая величина спектра)»).



При этом форма 2 (и последующие формы) уже совпадает по спекрам, поэтому погрешность результатов будет равна погрешности введенного поправочного коэффициента. Как видим ниже, по форме 2 получена погрешность менее 1% ($12.7/12.8 = 0.992$).



IV. Задание сейсмического воздействия по СП РК 2.03-30-2017 как спектр-ответа

В ПК ЛИРА-САПР есть возможность выполнять расчет на произвольное сейсмическое воздействие, заданное графиком зависимости спектрального коэффициента динамичности β в зависимости от круговой частоты колебаний ω (модуль 41 – ответ-спектр). Таким образом, можно будет задать точную форму необходимого спектра, а произведение необходимых коэффициентов задать как переходной коэффициент.

Единственное ограничение данного подхода – в данном воздействии величина горизонтального и вертикального спектра в рамках одного нагружения будут одинаковы. Т.е. этим способом лучше производить расчет систем, дающих раздельные колебания по горизонтальному и вертикальному направлению, тогда это будут отдельные нагружения. Комбинированные формы колебания, дающие существенный совместный вклад в горизонтальную и вертикальную составляющие нужно анализировать отдельно.

Переходной коэффициент в этом случае найдем из выражения:

$$F_{ik} = \gamma_i (a_g \beta_i / q) (Q_k \eta_{ik}),$$

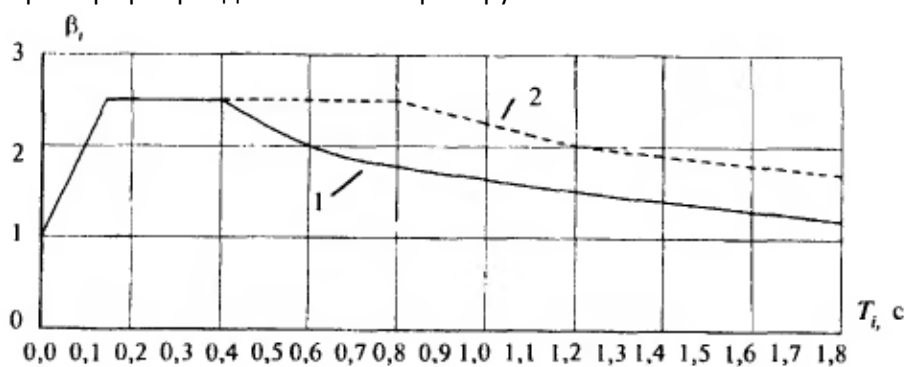
где:

- параметры Q_k, η_{ik} будут получены автоматически;
- параметр β_i получен автоматически из заданного спектра;
- остаётся часть выражения $\gamma_i a_g / q$, которую нужно задать как переходной коэффициент.

Построение спектра

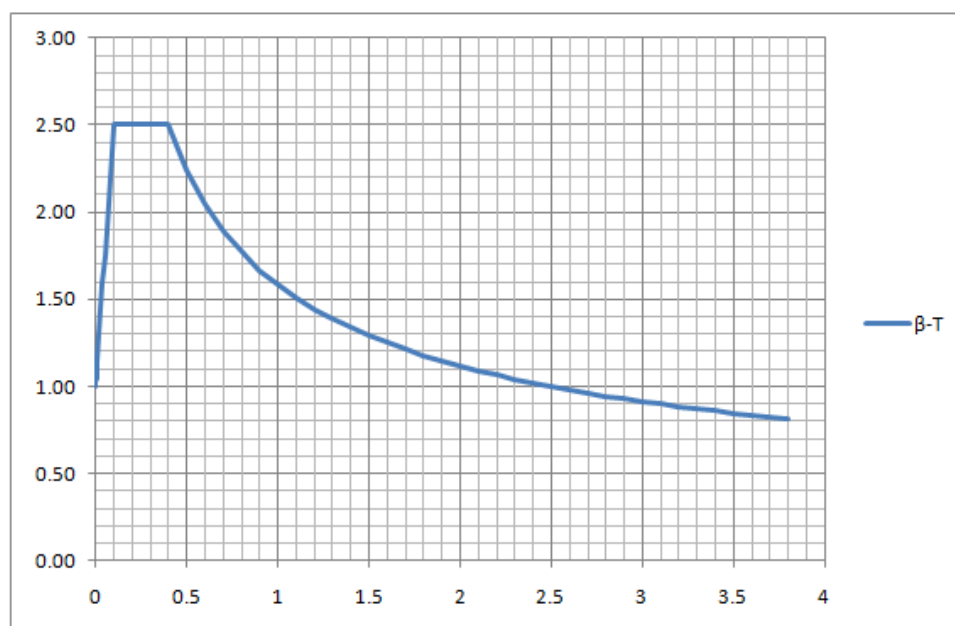
«Стандартный» график коэффициента β строится в зависимости от периода колебаний T . Как известно, между круговой частотой и периодом колебаний существует следующая зависимость: $\omega = 2\pi/T$. Для расчета на сейсмическое воздействие с использованием модуля 41 следует построить график $\beta-\omega$.

Для примера рассмотрим график $\beta-T$ для 1 и 2 категории грунтов СП 14.13330.2014:

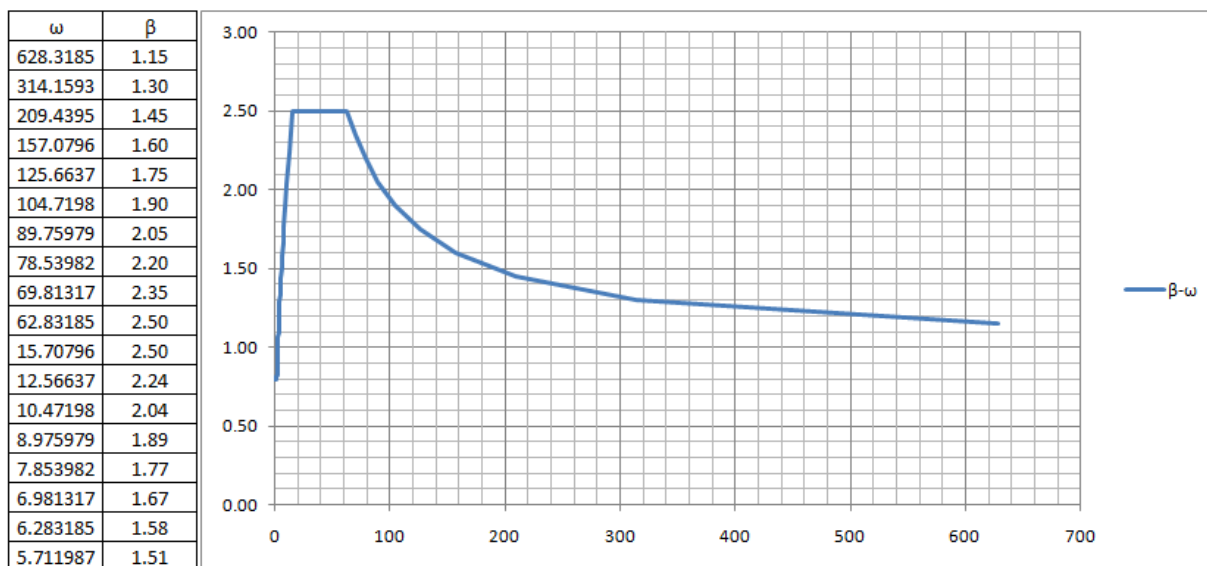


Строим график $\beta-T$ в Microsoft Excel в соответствии с формулами СП 14.13330.2014 (для примера):

T	β
0	1.00
0.0005	1.01
0.001	1.02
0.002	1.03
0.003	1.05
0.004	1.06
0.005	1.08
0.01	1.15
0.02	1.30
0.03	1.45
0.04	1.60
0.05	1.75
0.06	1.90
0.07	2.05
0.08	2.20
0.09	2.35
0.1	2.50



Переходим к зависимости β - ω через выражение $2\pi/T$:

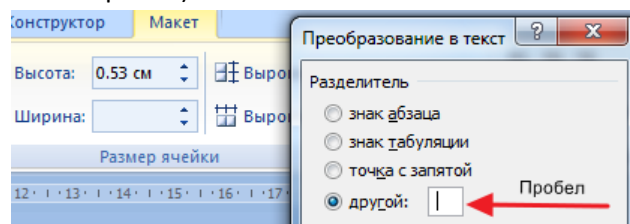


Примечание:

1. график β - ω на рис. выше построен для диапазона частот 0-628,3185 рад/с;
2. после получения графика (получен на убывающей частоте) необходимо в Excel перестроить таблицу по возрастанию частоты, и только после этого преобразовывать в текст для вставки в расчет Лира-САПР.

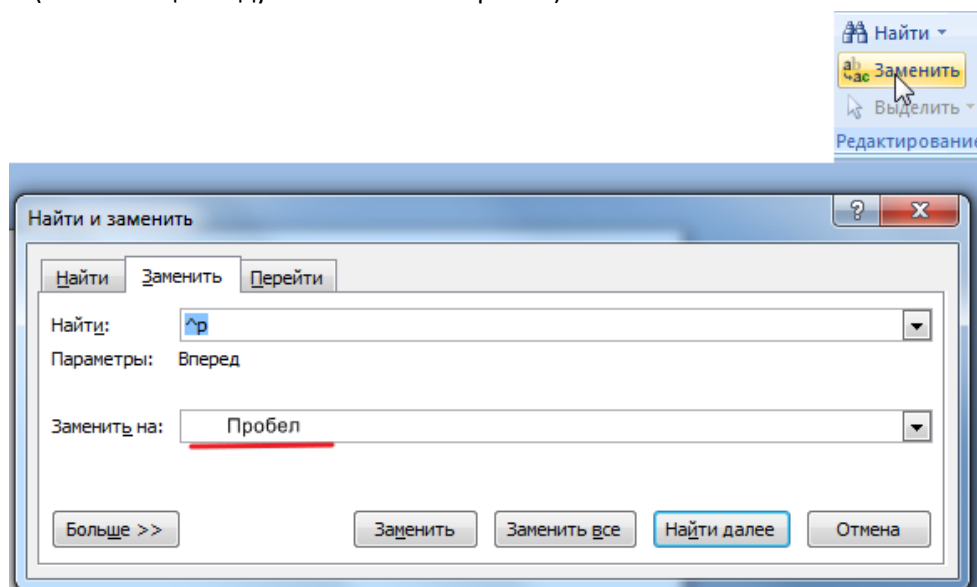
Для задания данного графика в ЛИРА-САПР следует отсортировать таблицу β - ω по возрастанию частоты, скопировать данную даблицу в Microsoft Word и преобразовать в текст. Для этого следует последовательно воспользоваться функциями:

- *Макет*→*Преобразовать в текст* (в качестве разделителя пробел)



Примечание. Вкладка макет появляется после выделения таблицы.

- *Заменить* (знак абзаца следует заменить на пробел):



После этих преобразований в текстовом файле через пробел получены данные для задания зависимости β - ω . Их следует скопировать в буфер обмена (Ctrl+C) и вставить из буфера в окно *Параметры расчета по методу ответ-спектр*.

Параметры расчета по методу ответ-спектра

График спектра ☒ ускорений ☐ скоростей ☐ перемещений

Переходный коэффициент к графику

Направляющие косинусы равнодействующей сейсм. воздейств. в ОСК

CX CY CZ $CX^2 + CY^2 + CZ^2 = 1$

Значения абсцисс (частота, рад/с) и ординат графика спектра ответа

☐ Чтение из файла

☒ Ввод и редактирование

0	0.80	0.063531	0.80	0.06418	0.80	0.064842	0.80	0.06
42594	0.80	0.252337	0.80	0.262895	0.80	0.274375	0.8	

Полученный график β - ω :

