

УДК 69.05–82–229.384

ОБЪЕМНАЯ ГИДРОПЕРЕДАЧА РАЗДЕЛЬНО АГРЕГАТНАЯ НА БАЗЕ ДВУХСЕКЦИОННЫХ ШЕСТЕРЕННЫХ ГИДРОМАШИН

Котлобай А.Я., Котлобай А.А.

Белорусский национальный технический университет

Объемная гидропередача (ОГП) в приводах ходового оборудования мобильных колесных и гусеничных машин инженерного вооружения позволяет реализовать бесступенчатое регулирование скорости пневмоколесного и гусеничного движителей, расширяет возможности компоновочных решений. Базовые машины оснащаются ОГП для работы в технологическом режиме с навесным инженерным оборудованием [1]. Находят применение дифференциальные трансмиссии, в том числе ОГП с внутренним разветвлением потока мощности, обеспечивающие необходимый диапазон изменения передаточных отношений [2]. Наряду с моно агрегатными ОГП существует потребность поиска технических решений гидродифференциальных ОГП отдельно агрегатных, насосная и моторная установки которых размещены в соответствии с компоновочными решениями машины.

При анализе показателей материалоемкости и удельной стоимости насосов [3, 4] выявлено, что минимальной материалоемкостью и удельной стоимостью обладают шестеренные гидромашины, применение которых в качестве насосов в составе ОГП ограничено отсутствием технических решений по регулированию эквивалентного объема насоса и реверсирования потока рабочей жидкости. Одним из возможных направлений активизации работ по созданию гаммы ОГП является возможность использования шестеренного насоса постоянного объема и гидрораспределительного модуля, регулирующего эквивалентный рабочий объем насоса шестеренного [5, 6, 7].

ОГП включает два основных агрегата: насосный и моторный, выполненные отдельно (рис. 1). Насосный агрегат содержит двухсекционный шестеренный насос 1 постоянного объема,

гидрораспределительный модуль 2. Моторный агрегат содержит гидромоторы постоянного объема: шестеренный 3, аксиально-поршневой 4, редукторы: промежуточный планетарный редуктор 5, выходной планетарный редуктор 6.

Первая секция шестеренного насоса 1 содержит шестерни 7, 8, образующие в корпусе насоса всасывающую 9 и напорную 10 полости. Вторая секция содержит шестерни 11, 12, образующие всасывающую 13 и напорную 14 полости. Шестерни 7, 11 связаны с приводным валом 15.

Гидрораспределительный модуль 2 включает неподвижную распределительную втулку 16, подвижную распределительную втулку 17, установленную в неподвижной распределительной втулке 16 с возможностью поворота на угол 180°, и ротор 18, связанный с приводным валом 15.

На цилиндрической поверхности неподвижной распределительной втулки 16 образованы четыре сегментных паза 19, 20, 21, 22 с центральными углами, составляющими $\approx 90^\circ$. Полости сегментных пазов 19, 21 и 20, 22 связаны попарно каналами 23, 24 и 25, 26 и трубопроводами 27, 28. Каналы 23, 26 подключены к контуру подпитки (не показан). На цилиндрической поверхности подвижной распределительной втулки 17 образованы четыре группы продольных каналов 29, 30 и 31, 32, выполненных диаметрально противоположными и смещенными по оси и углу на 90° , и две кольцевые канавки 33, 34. На цилиндрической поверхности ротора 18 образованы две кольцевые канавки 35, 36, и, связанные с ними, две группы продольных каналов 37, 38, смещенных по оси и равномерно распределенных по поверхности ротора 18. Кольцевые канавки 35, 36 образованы в зонах кольцевых канавок 33, 34 и связаны радиальными каналами.

Для обеспечения поворота подвижная распределительная втулка 17 оснащена зубчатым венцом червячного зацепления. Привод червяка 37 осуществляется автономным двигателем.

Напорная полость 14 связана каналом 38, трубопроводом 39, каналом 40 с полостью кольцевой канавки 33. Полость кольцевой канавки 34 связана каналами 41, 42, трубопроводом 43, каналами 44, 45, 46 с всасывающими полостями 13, 9 секций шестеренного насоса 1.

Шестеренный гидромотор 3 постоянного объема содержит шестерни 47, 48, образующие напорную 49 и сливную 50 полости. Напорная полость 49 связана каналом 51, трубопроводом

52, каналом 53 с напорной полостью 10 первой секции шестеренного насоса 1. Сливная полость 50 связана каналом 54, трубопроводом 55, каналами 46, 45, 44 с всасывающими полостями 9, 13 шестеренного насоса 1.

Аксиально-поршневой гидромотор 4 постоянного объема включает блок цилиндров 56, связанный с втулкой 57. Поршни 58 образуют рабочие полости 59 и прижимаются к поверхности наклонной шайбы 60, в ступице которой закреплена ось 61. Ступица наклонной шайбы 60 и ось 61 установлены по наружной образующей поверхности в подшипниковых узлах скольжения корпуса гидромотора 4 и втулки 57.

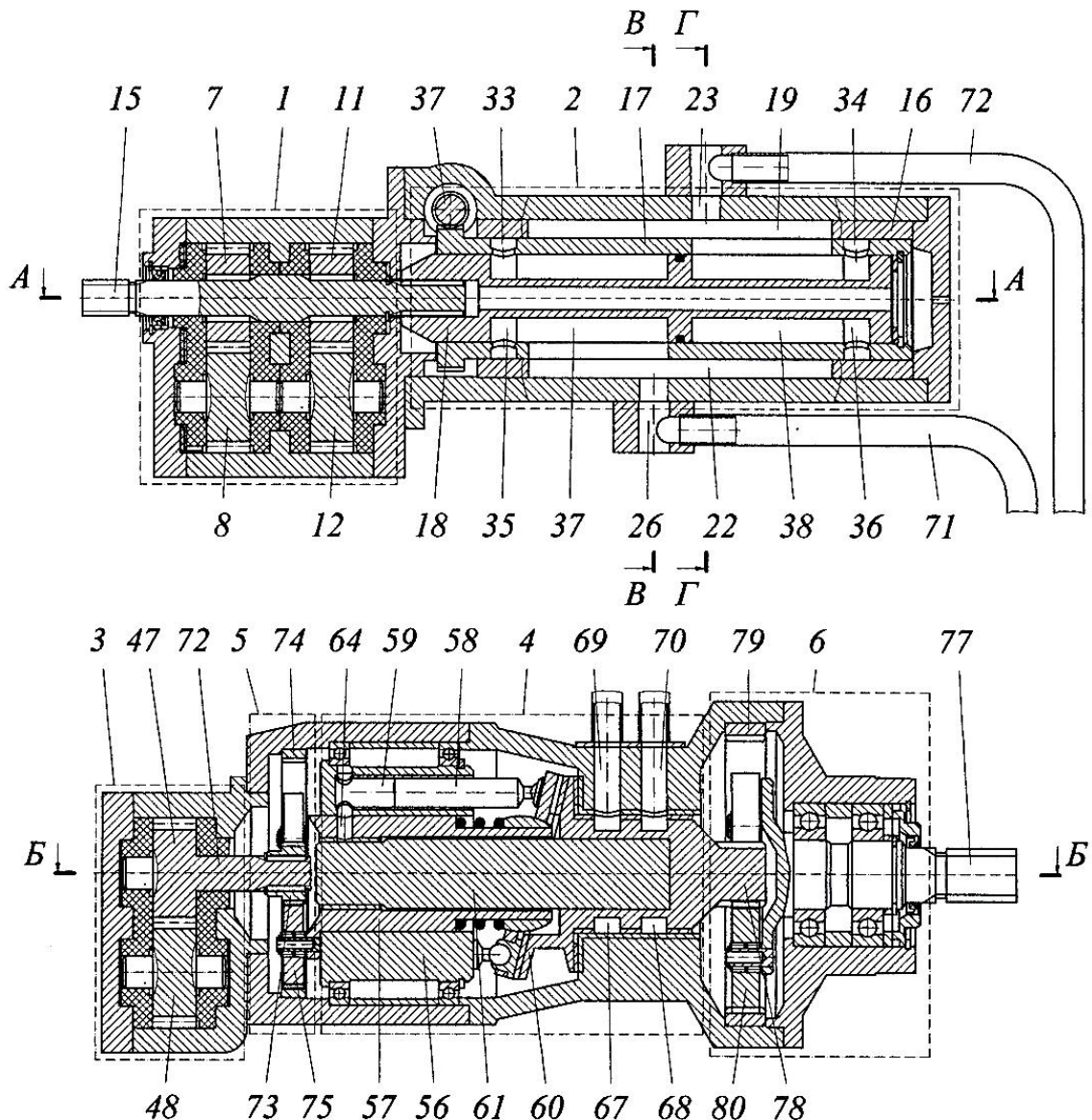


Рис. 1. ОГП раздельно агрегатная

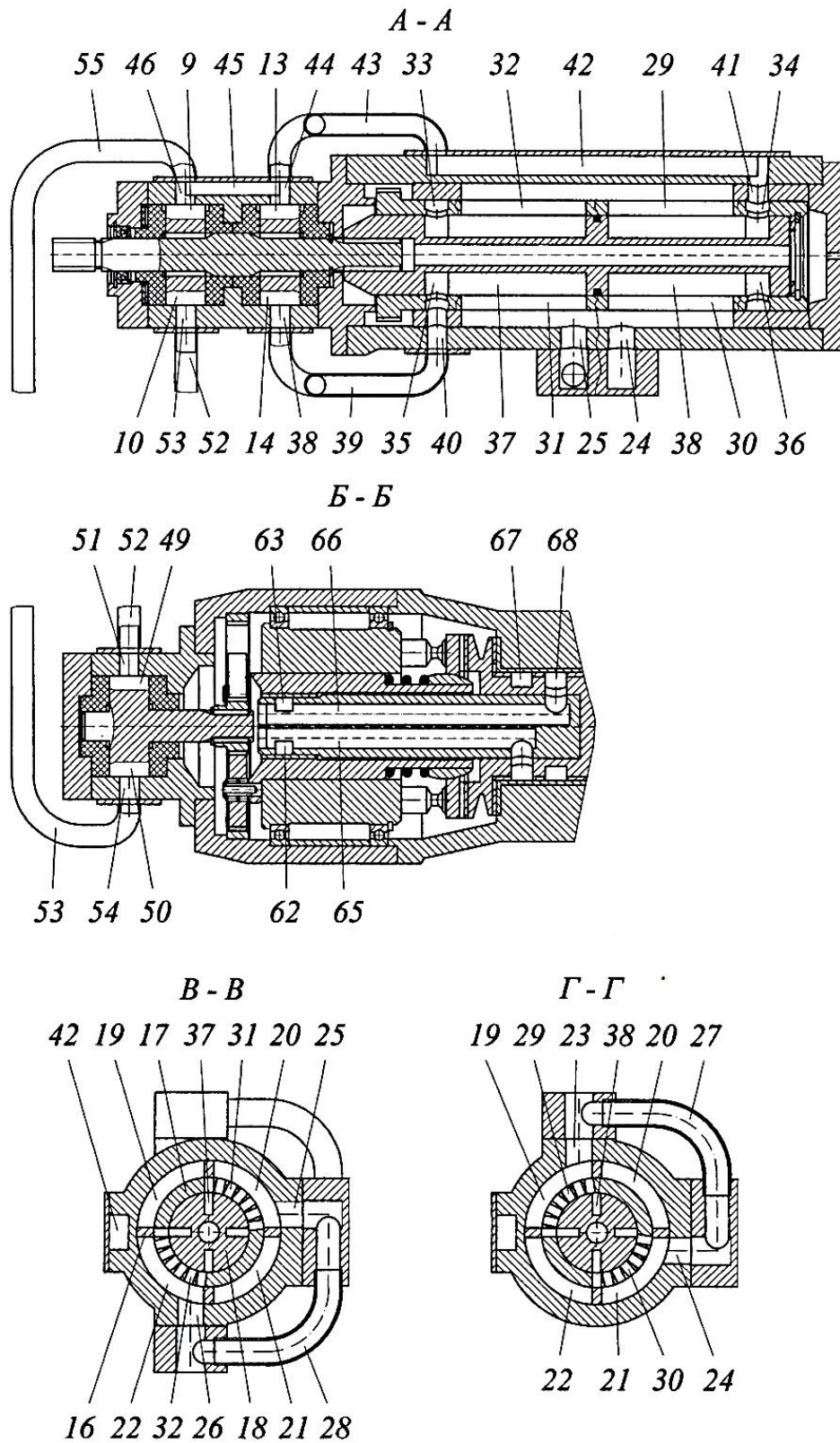


Рис. 1 (продолжение). ОГП раздельно агрегатная

Гидрораспределитель гидромотора 4 включает группу диаметрально противоположных сегментных пазов 62, 63 с центральными углами 180°, образованную на наружной поверхности оси 61. Рабочие полости 59 связаны радиальными каналами 64 с полостями сегментных пазов 62, 63. Полости сегментных пазов 62, 63 связаны каналами 65, 66 с полостями кольцевых канавок 67, 68, образованных на поверхности ступицы наклонной шайбы 60. Полости кольцевых канавок 67, 68 связаны каналами 69, 70, трубопроводами 71, 72 с каналами 26, 23.

Промежуточный планетарный редуктор 5 установлен в кинематической линии связи вала 73 гидромотора 3 и втулки 57 блока цилиндров 56. Редуктор 5 включает солнечную шестерню 74, установленную на валу 73 и связанную с ним, коронную шестерню 75, установленную в корпусе, сателлиты 76, установленные на осях водила, выполненного заодно с втулкой 57.

Выходной планетарный редуктор 6 установлен в кинематической линии связи ступицы наклонной шайбы 60 и ведомого вала 77, установленного в подшипниковом узле корпуса. Редуктор 6 включает солнечную шестерню 78, выполненную заодно со ступицей наклонной шайбы 60, коронную шестерню 79, установленную в корпусе, сателлиты 80, установленные на осях водила, выполненного заодно с ведомым валом 77.

При подготовке ОГП к работе контур подпитки (не показан) подключается к каналам 23, 26.

Приводной вал 15 вращается от двигателя (не показан), и приводит во вращение шестерни 7, 8 и 11, 12, ротор 18. Рабочая жидкость из полостей продольных каналов 38 поступает в полости кольцевых канавок 36, 34, и далее, во всасывающие полости 9, 13 первой и второй секций шестеренного насоса 1. Далее, жидкость во впадинах шестерен 7, 8 и 11, 12 поступает в напорные полости 10, 14.

Из напорной полости 10 рабочая жидкость по трубопроводу 52, поступает в напорную полость 49 шестеренного гидромотора 3, и во впадинах шестерен 47, 48 рабочая жидкость поступает в сливную полость 50. Вал 72 с солнечной шестерней 73 вращается, приводя во вращение сателлиты 75, водило, выполненное заодно с втулкой 57, и блок цилиндров 56. Из сливной полости 50 рабочая жидкость по трубопроводу 53 поступает во всасывающие полости 9, 13. При этом, частота вращения блока цилиндров 56 определяется частотой вращения приводного

вала 15, соотношением объемов первой секции шестеренного насоса 1 и шестеренного гидромотора 3, передаточным отношением промежуточного планетарного редуктора 5.

Из напорной полости 14 второй секции шестеренного насоса 1 рабочая жидкость поступает в полости кольцевых канавок 33, 35 и продольных каналов 37.

При исходном положении подвижной распределительной втулки 17 рабочая жидкость из полостей продольных каналов 37 через продольные каналы 31, 32 поступает в полости сегментных пазов 20, 22, и по каналу 26, трубопроводу 71, каналу 69 – в полость кольцевой канавки 67. Из полости кольцевой канавки 67 рабочая жидкость по каналу 65 поступает в полость сегментного паза 62 и в рабочие полости 59 блока цилиндров 56 гидромотора 4. В данном положении подвижной распределительной втулки 17 обеспечивается максимальный эквивалентный объем второй секции шестеренного насоса 1 и максимальная подача рабочей жидкости в полость сегментного паза 62. Поршни 58 выдвигаются, и, взаимодействуя с наклонной шайбой 60, поворачивают наклонную шайбу 60 со ступицей и осью 61, солнечную шестерню 78, сателлиты 80, водило с ведомым валом 77 относительно оси ОГП в направлении вращения блока цилиндров 50.

Скорость вращения ведомого вала 71 при заданной скорости вращения приводного вала 16 и передаточное число ОГП:

$$n_{71} = n_{16} \left(\frac{k_1 + k_2 k i_3}{i_3 i_4} \right), \quad i = \frac{i_3 i_4}{k_1 + k_2 k i_3}, \quad i = \frac{n_{15}}{n_{77}},$$

$$i_3 = \frac{n_{73}}{n_{56}}, \quad i_4 = \frac{n_{78}}{n_{77}}, \quad k_1 = \frac{q_{11}}{q_3}, \quad k_2 = \frac{q_{12}}{q_4}, \quad k = \frac{q_\phi}{q_{12}}, \quad (1)$$

где i, i_3, i_4 – передаточное число ОГП, планетарного редуктора 3, 4; $n_{15}, n_{56}, n_{73}, n_{77}, n_{78}$ – скорость вращения приводного вала 15, блока цилиндров 56 гидромотора 4, солнечной шестерни 73 планетарного редуктора 3, ведомого вала 77, солнечной шестерни 78 планетарного редуктора 4; k_1 – коэффициент, характеризующий отношение конструктивных объемов первой секции насоса 1 и гидромотора 3; k_2 – коэффициент, характеризующий отношение конструктивных объемов второй секции насоса 1 и гидромотора 4; k – коэффициент, характеризующий отношение эквивалентного и конструктивного объемов второй секции насоса 1 (диапазон изменения $k = -1 \div +1$); q_{11}, q_{12}, q_3, q_4 – конструктивный объем первой, второй секции насоса 1, гидромоторов 3, 4; q_ϕ – эф-

эффективный объем второй секции насоса 1, определяемый углом поворота подвижной распределительной втулки 17.

В выражении (1) не учитывается объемный КПД гидромашин.

В исходном положении подвижной распределительной втулки 17 обеспечен режим работы ОГП с коэффициентом $k = 1$.

При движении поршней 58 внутрь блока цилиндров 56 рабочая жидкость из рабочих полостей 59 поступает в полость сегментного пазов 63, и по каналу 66 в полость кольцевой канавки 68. Из полости кольцевой канавки 68 рабочая жидкость по каналу 70, трубопроводу 72, каналу 23, трубопроводу 27, каналу 24 поступает в полости сегментных пазов 19, 21, и далее, по продольным каналам 29, 30, 38 – в полости кольцевых канавок 36, 34 и всасывающие полости 9, 13 первой и второй секций насоса 1.

При повороте подвижной распределительной втулки 17 посредством автономного двигателя и червяка 37 на угол 90° , по часовой стрелке от исходного положения, половина продольных каналов 31, 32 переместятся в зоны сегментных пазов 21, 19, а половина продольных каналов 21, 19 останется в зоне сегментных пазов 20, 22. Также, половина продольных каналов 29, 30 переместятся в зоны сегментных пазов 20, 22, а половина продольных каналов 29, 30 останется в зоне сегментных пазов 19, 21. В данном положении подвижной распределительной втулки 17 обеспечивается минимальный (нулевой) эквивалентный объем второй секции насоса шестеренного 1 и

минимальная (нулевая) подача рабочей жидкости в магистрали гидромотора 4 (режим работы ОГП с коэффициентом $k = 0$). При нулевой подаче второй секции насоса 1 рабочие полости 59 блока цилиндров 56 запираются, поршни 58 гидромотора 4 блокируются, и блок цилиндров 56 с втулкой 57 вращает наклонную шайбу 60 в направлении вращения приводного вала 15 со скоростью и передаточным числом, определяемыми выражениями (1) при коэффициенте $k = 0$.

При повороте подвижной распределительной втулки 17 на угол 190° от исходного положения, продольные каналы 31, 32 переместятся в зоны сегментных пазов 21, 19, а продольные каналы 29, 30 – в зоны сегментных пазов 20, 22. В данном положении подвижной распределительной втулки 17 подача рабочей жидкости второй секции насоса 1 реверсирована. Обеспечивается максимальный эквивалентный объем второй секции насоса шестеренного 1 и максимальная подача рабочей жидкости в магистрали гидромотора 4. Скорость вращения ведомого вала 77 (1) и передаточное число ОГП определяются при режиме работы с коэффициентом $k = -1$.

Параметры работы (1) ОГП отдельно агрегатной представлены в табл. 1.

Применение двухсекционных шестеренных насосов обеспечивает расширение диапазон изменения передаточного числа ОГП. Изменяя параметры ОГП можно получить нужный диапазон изменения передаточного числа при изменении эквивалентного объема второй секции насоса шестеренного 1.

Литература

1. Тяжелый многоцелевой гусеничный транспортер-тягач МТ-Т. Техническое описание и инструкция по эксплуатации 429АМ.00С6 ТО / П.И. Сагир [и др.]. – М.: Военное издательство, 1988. – 446 с.
2. Котлобай, А.Я. Объемные гидравлические передачи ходового оборудования транспортно-тяговых машин / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело // Инженер-механик. – 2017. №2 (75). – С. 18–25.
3. Снижение материалоемкости приводов рабочего оборудования траншейно-котлованной машины / А.Я. Котлобай [и др.] // Инженер-механик. – 2017. №1 (74). – С. 10–17.
4. Котлобай, А.А. Направления снижения материалоемкости приводов оборудования дорожно-строительных машин / А.А. Котлобай // Автомобильные дороги и мосты. – 2019. №1 (23). – С. 72–83.
5. Гидродифференциальная передача привода ходового оборудования мобильных машин на базе шестеренного насоса / А.Я. Котлобай [и др.] // Инженер-механик. – 2019. №2 (83). – С. 2–8.
6. Модульное построение насосов гидравлических приводов инженерных машин / А.Я. Котлобай [и др.] // Инженер-механик. – 2018. №4 (81). – С. 12–18.
7. Насос шестеренный: пат. 12072 U Респ. Беларусь, F 15B 11/00 МПК (2006.01) / А.И. Герасимюк, С.И. Воробьев, Е.А. Есмантович, А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай; заявитель А.И. Герасимюк, С.И. Воробьев, Е.А. Есмантович, А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай – № и 20190067; заявл. 2019.03.21; опубл. 2019.08.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2019. – № 4.

Табл. 1

Передающее число ОГП отдельно агрегатной

| | | | | | | | | | |
|---------------------------|-------|--------|----------|----------|----------|------|------|------|-----|
| $k_1=1,0; k_2=1,0; i_3=3$ | | | | | | | | | |
| i_4 | k | | | | | | | | |
| | -1,0 | -0,8 | -0,4 | -0,33 | -0,2 | 0 | 0,2 | 0,6 | 1,0 |
| 3 | -4,5 | -6,4 | -45,0 | ∞ | 22,5 | 9,0 | 5,6 | 3,2 | 2,3 |
| 4 | -6,0 | -8,6 | -60,0 | ∞ | 30,0 | 12,0 | 7,5 | 4,3 | 3,0 |
| 5 | -7,5 | -10,7 | -75,0 | ∞ | 37,5 | 15,0 | 9,4 | 5,4 | 3,8 |
| $k_1=1,0; k_2=1,0; i_3=4$ | | | | | | | | | |
| i_4 | k | | | | | | | | |
| | -1,0 | -0,8 | -0,4 | -0,25 | -0,2 | 0 | 0,2 | 0,6 | 1,0 |
| 3 | -4,0 | -5,5 | -20,0 | ∞ | 60,0 | 12,0 | 6,7 | 3,5 | 2,4 |
| 4 | -5,3 | -7,3 | -26,7 | ∞ | 80,0 | 16,0 | 8,9 | 4,7 | 3,2 |
| 5 | -6,7 | -9,1 | -33,3 | ∞ | 100,0 | 20,0 | 11,1 | 5,9 | 4,0 |
| $k_1=1,0; k_2=1,0; i_3=5$ | | | | | | | | | |
| i_4 | k | | | | | | | | |
| | -1,0 | -0,8 | -0,4 | -0,3 | -0,2 | 0 | 0,2 | 0,6 | 1,0 |
| 3 | -3,8 | -5,0 | -15,0 | -30,0 | ∞ | 15,0 | 7,5 | 3,8 | 2,5 |
| 4 | -5,0 | -6,7 | -20,0 | -40,0 | ∞ | 20,0 | 10,0 | 5,0 | 3,3 |
| 5 | -6,3 | -8,3 | -25,0 | -50,0 | ∞ | 25,0 | 12,5 | 6,3 | 4,2 |
| $k_1=1,0; k_2=0,5; i_3=3$ | | | | | | | | | |
| i_4 | k | | | | | | | | |
| | -1,0 | -0,8 | -0,67 | -0,4 | -0,2 | 0 | 0,2 | 0,6 | 1,0 |
| 3 | -18,0 | -45,0 | ∞ | 45,0 | 12,8 | 9,0 | 6,9 | 4,7 | 3,6 |
| 4 | -24,0 | -60,0 | ∞ | 30,0 | 17,1 | 12,0 | 9,2 | 6,3 | 4,8 |
| 5 | -30,0 | -75 | ∞ | 41,7 | 21,4 | 15,0 | 11,5 | 7,9 | 6,0 |
| $k_1=1,0; k_2=0,5; i_3=4$ | | | | | | | | | |
| i_4 | k | | | | | | | | |
| | -1,0 | -0,8 | -0,5 | -0,4 | -0,2 | 0 | 0,2 | 0,6 | 1,0 |
| 3 | -12,0 | -60,0 | ∞ | 60,0 | 20,0 | 12,0 | 8,6 | 6,3 | 4,0 |
| 4 | -16,0 | -80,0 | ∞ | 80,0 | 26,7 | 16,0 | 11,4 | 8,4 | 5,3 |
| 5 | -20,0 | -100,0 | ∞ | 100,0 | 33,3 | 20,0 | 14,3 | 10,5 | 6,7 |
| $k_1=1,0; k_2=0,5; i_3=5$ | | | | | | | | | |
| i_4 | k | | | | | | | | |
| | -1,0 | -0,8 | -0,6 | -0,4 | -0,2 | 0 | 0,2 | 0,6 | 1,0 |
| 3 | -10,0 | -15,0 | -30,0 | ∞ | 30,0 | 15,0 | 10,0 | 6,0 | 4,3 |
| 4 | -13,3 | -20,0 | -40,0 | ∞ | 40,0 | 20,0 | 13,3 | 8,0 | 5,7 |
| 5 | -16,7 | -25,0 | -50,0 | ∞ | 50,0 | 25,0 | 16,7 | 10,0 | 7,1 |
| $k_1=0,5; k_2=0,5; i_3=3$ | | | | | | | | | |
| i_4 | k | | | | | | | | |
| | -1,0 | -0,8 | -0,4 | -0,33 | -0,2 | 0 | 0,2 | 0,6 | 1,0 |
| 3 | -9,0 | -12,9 | -90,0 | ∞ | 45,0 | 18,0 | 11,3 | 6,4 | 4,5 |
| 4 | -12,0 | -17,1 | -120,0 | ∞ | 60,0 | 24,0 | 15,0 | 8,6 | 6,0 |
| 5 | -15,0 | -21,4 | -150,0 | ∞ | 75,0 | 30,0 | 18,8 | 10,7 | 7,5 |
| $k_1=0,5; k_2=0,5; i_3=4$ | | | | | | | | | |
| i_4 | k | | | | | | | | |
| | -1,0 | -0,8 | -0,4 | -0,25 | -0,2 | 0 | 0,2 | 0,6 | 1,0 |
| 3 | -8,0 | -10,9 | -40,0 | ∞ | 120,0 | 24,0 | 13,3 | 7,1 | 4,8 |
| 4 | -10,7 | -14,5 | -53,3 | ∞ | 160,0 | 32,0 | 17,8 | 9,4 | 6,4 |
| 5 | -13,3 | -18,2 | -66,7 | ∞ | 200,0 | 40,0 | 22,2 | 11,8 | 8,0 |
| $k_1=0,5; k_2=0,5; i_3=5$ | | | | | | | | | |
| i_4 | k | | | | | | | | |
| | -1,0 | -0,8 | -0,4 | -0,3 | -0,2 | 0 | 0,2 | 0,6 | 1,0 |
| 3 | -7,2 | -10,0 | -30,0 | -60,0 | ∞ | 30,0 | 15,0 | 7,5 | 5,0 |
| 4 | -10,0 | -13,3 | -40,0 | -80,0 | ∞ | 40,0 | 20,0 | 10,0 | 6,7 |
| 5 | -12,5 | -16,7 | -50,0 | -100,0 | ∞ | 50,0 | 25,0 | 12,5 | 8,3 |