

СЕРИЯ ES: СИСТЕМА ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ РЕДУКТОРОВ «ТАНДЕМ»

А.Е. Кузьмин, заместитель
генерального директора НТЦ «Редуктор»

В номерах журнала РиП размещено много публикаций, подтверждающих техническое отставание типовых российских редукторов от лучших зарубежных аналогов, технико-эксплуатационные характеристики которых зачастую оказываются значительно выше отечественных. Один из убедительных примеров такого отставания был приведен в статье, рассказывающей о редукторах «Тандем» (см. РиП.–2005.–№4, 5 (03). – С. 9).

В ней говорилось о том, что современные редукторы «Тандем» серии ES значительно превосходят российские аналоги типа КЦ по одному из важнейших показателей – удельной передаваемой мощности: при одинаковом передаточном числе и выходном крутящем моменте редуктор 5КЦ2-225ES-71 «Тандем» в 3,9 раза легче типового российского аналога КЦ2-1000 и занимает в пространстве в 5,5 раза меньший объем!

При таких низких удельных мощностях отечественных редукторов, их сравнительно больших габаритах и массе объективно не возникала необходимость принудительного охлаждения редукторов, поскольку отвод тепла осуществлялся, как правило, естественным способом за счет теплопередачи от корпусов. Понятно, что в такой ситуации системы охлаждения редукторов в России много десятилетий не проектировались и не разви-

вались. Это – один из существенных пробелов российской редукторной техники, свидетельствующий об отставании от зарубежной. Нельзя сказать, что в данном направлении не делалось совсем ничего. Но, пожалуй, наивысшее достижение, которого удалось добиться – это применение вентиляторов в червячных редукторах. Что же касается более совершенных и эффективных российских систем охлаждения, то какая-либо достоверная информация о них до сих пор отсутствует как у производителей, так и у потребителей редукторов.

Стремясь восполнить этот пробел и дать хотя бы общее представление о конструктивных особенностях и принципах работы систем охлаждения современных редукторов, мы впервые знакомим конструкторов, механиков, других потребителей редукторов, всю техническую общественность России с одной из систем принудительного охлаждения, которой при необходимости комплектуются высокомоментные и компактные редукторы «Тандем» серии ES. Мы рассчитываем, что эта информация даст новый импульс развитию и применению подобных систем охлаждения в современных российских редукторах, будет способствовать повышению конкурентоспособности отечественных промышленных приводов, машин и механизмов, в которых они применяются.

Общеизвестно, что при передаче энергии в редукторах любого типа возникают потери, связанные с трением элементов зубчатых передач и подшипников, перемешиванием смазочного материала и т.д. Преобразованная часть энергии, снимаемая с выходного вала редуктора, характеризуется коэффициентом полезного действия, который показывает, какое количество (в процентах) подведенной на вход энергии преобразовано в полезную работу (мощность) на выходе. Другая часть энергии трансформируется в тепловую энергию потерь и рассеивается в окружающее пространство за счет теплопередачи от корпуса редуктора в процессе естественного охлаждения. В ряде случаев потери могут быть достаточно велики, и естественного охлаждения оказывается недостаточно. Если не предпринять меры для отвода излишнего тепла, то будет происходить перегрев

элементов зубчатых передач, подшипников и смазочного масла редуктора до недопустимых температур, что может приводить к существенному ухудшению химико-физических свойств масла, повышению интенсивности износа зубчатых колес и подшипников, их преждевременному выходу из строя и даже заклиниванию. Поэтому при проектировании редуктора производят расчет его термической мощности (P_{G2}), которая в большой степени определяет допустимую нагрузочную способность редуктора.

Если не вдаваться в научные тонкости, то можно сказать, что термическая мощность редуктора – это максимальная передаваемая мощность (P_{2max}), при которой температура масла внутри редуктора не превышает допустимого значения, и масло продолжает сохранять свои защитные свойства, обеспечивая работоспособность редуктора. Значения расчетной



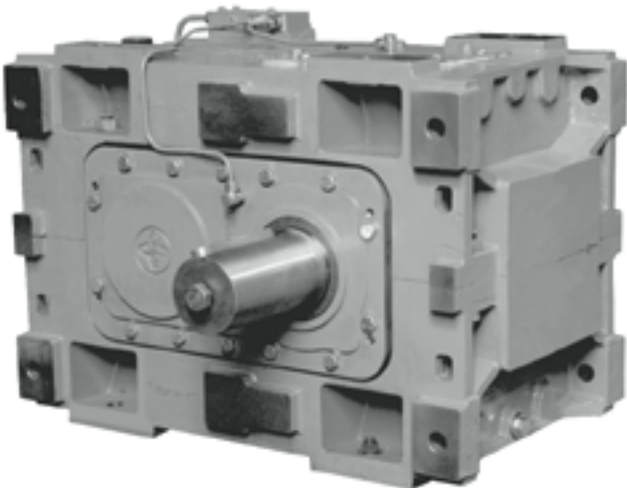


Фото 1. Редуктор «Тандем» 5Ц-180ES-1,8

термической мощности и эксплуатационные факторы, влияющие на нагрев редуктора, должны быть учтены при выборе его типоразмера. В случае если требуемая передаваемая мощность (P_2) превышает термическую мощность выбранного редуктора, т.е. $P_2 > P_{G2} = P_{2max}$ возникает необходимость в использовании редуктора более крупного габарита. Но переход на другой габарит не всегда возможен из-за пространственных ограничений конструкции привода и, кроме того, влечет за собой увеличение затрат на приобретение редуктора, часто довольно существенное. Поэтому в таких случаях предпочтительнее применять устройства принудительного охлаждения, позволяющие поднять термическую мощность $P_{G2}^1 = P_{2max}^1$ до значения, превышающего значение требуемой передаваемой мощности (P_2), т.е. $P_{G2}^1 = P_{2max}^1 > P_2$.

В качестве таких устройств могут быть:

- вентилятор обдува корпуса;
- встроенная система водяного охлаждения смазочного материала (масла);
- внешняя система охлаждения смазочного материала (масла);
- комбинированная система охлаждения редукторов.

Применение названных систем охлаждения позволяет существенно увеличить эксплуатационные возможности редукторов при тяжелых режимах эксплуатации, в условиях высоких температур окружающего воздуха – в закрытых помещениях, горячих цехах и т.п.

В последнее время мощные компактные редукторы «Тандем» серии

ES становятся все более востребованными российскими потребителями редукторной техники. Они способны передавать значительные мощности, достигающие до 5000 кВт при выходных крутящих моментах до 100000 Н·м. Это достигается за счет использования в них высокопрочных каленых точно шлифованных эвольвентных зубчатых передач, высококачественных подшипников, высокоэффективных синтетических смазок и т.п. Такие мощности могут значительно превышать значения допустимых термических мощностей редукторов, рассчитанные традиционным путем. Поэтому в конструкциях редукторов «Тандем» предусмотрена возможность дополнительного охлаждения при помощи вентилятора, монтируемого на быстроходном валу редуктора. Вентилятор позволяет более интенсивно отводить лишнее тепло от корпуса редуктора и тем самым существенно увеличивать его термическую мощность. Но все чаще этого бывает недостаточно для обеспечения нормальной работы редуктора. Даже при столь высоких кпд, достигающих до 97%, которыми характеризуются редукторы «Тандем», тепловыделение при передаче больших мощностей велико. Так, например, при передаче мощности 5000 кВт примерно 150 кВт энергии уходит в тепло, которое необходимо отводить иными, более действенными способами, чем обдув корпуса вентилятором. В таких случаях рекомендуется использовать системы принудительного охлаждения, позволяющие интенсивно охлаждать жидкую смазку (масло) и отводить тепло более эффективно по сравнению с обдувом.

Наиболее часто система принудительного охлаждения с внешним теплообменником применяется для одноступенчатых редукторов «Тандем» с малыми передаточными числами i от 1,25 до 5 и большой передаваемой мощностью: их корпуса не успевают отводить излишнюю тепловую энергию без помощи дополнительных охлаждающих устройств.

Рассмотрим устройство и принцип действия одной из таких систем охлаждения на конкретном примере (рис. 1), когда с учетом условий эксплуатации и режимов работы привода промышленного оборудования примененный в нем редуктор «Тандем» 5Ц-180ES с передаточным числом $i = 1,8$ был оснащен внешним теплообменником радиаторного типа.

Основными элементами системы являются:

- непосредственно редуктор «Тандем» 5Ц-180ES-1,8 (фото 1);
- теплообменник радиаторного типа T-007-4-D-B (фото 2);
- масляный бак.



Фото 2. Теплообменник радиаторного типа T-007-4-D-B

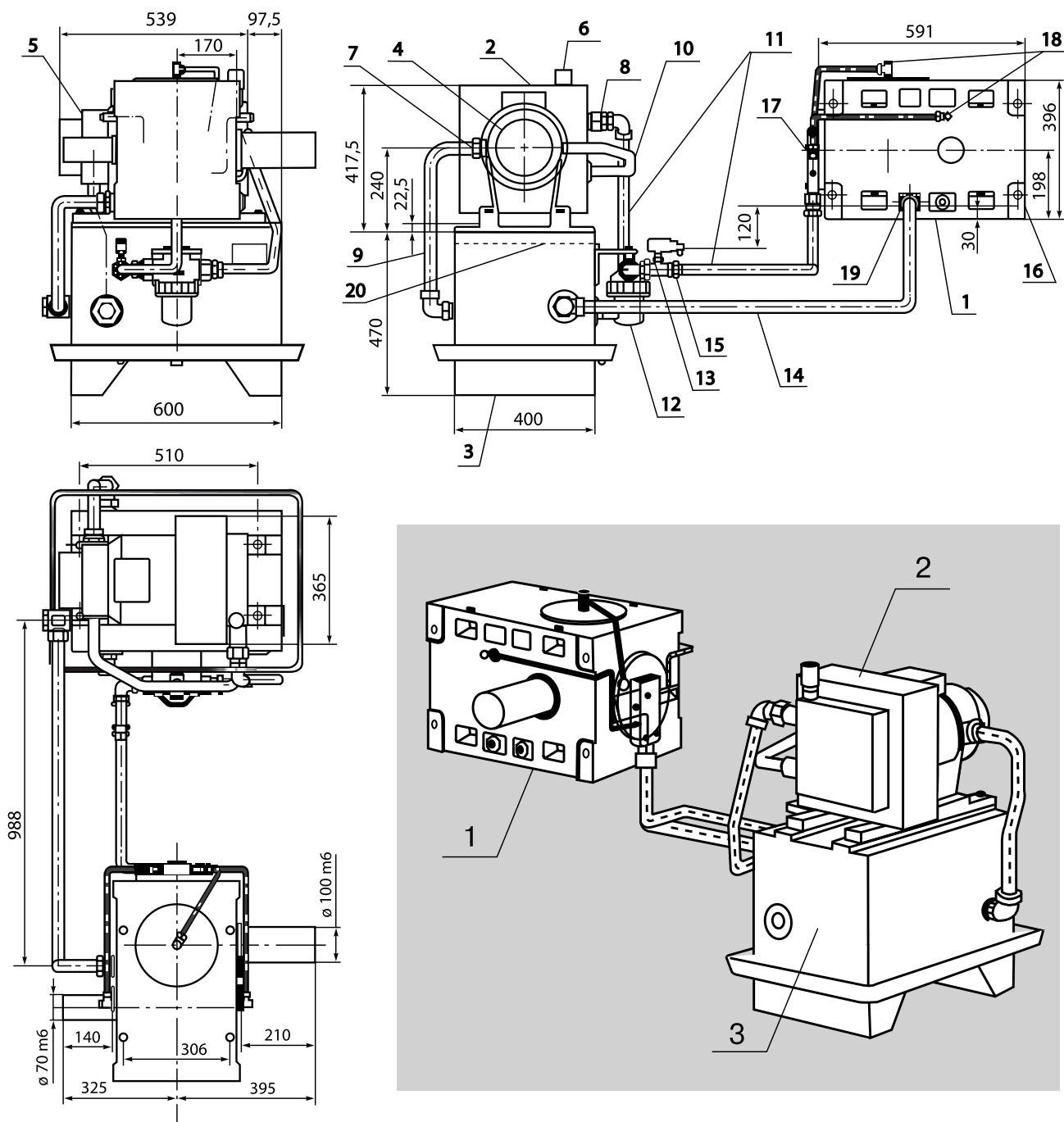


Рис. 1. Система охлаждения редуктора «Тандем»:

- | | |
|--|---|
| 1 – Цилиндрический редуктор «Тандем» 5Ц-180ES-1,8; | 12 – Масляный фильтр и манометр давления масла; |
| 2 – Теплообменник T-007-4-D-B; | 13 – Расходомер масла с электрическим датчиком расхода; |
| 3 – Масляный бак; | 14 – Труба сброса масла из редуктора; |
| 4 – Электрическая помпа теплообменника; | 15 – Выходной патрубок масляного фильтра; |
| 5 – Вентилятор теплообменника; | 16 – Сливная пробка редуктора; |
| 6 – Перепускной клапан теплообменника; | 17 – Распределительный коллектор смазки редуктора; |
| 7 – Входной патрубок масляной помпы; | 18 – Трубки подвода масла к трансмиссии редуктора; |
| 8 – Выходной патрубок теплообменника; | 19 – Штуцер подключения трубопровода сброса горячего масла; |
| 9 – Всасывающая труба помпы; | 20 – Уровень масла в баке |
| 10 – Труба подачи масла в радиатор охлаждения; | |
| 11 – Нагнетательные трубы подачи охлажденного масла; | |



В конструкции редуктора «Тандем» (1) предусмотрена система принудительной смазки зубчатых колес и опорных подшипников передач. Для этого он оснащен распределительным коллектором масла (17) и тремя трубками (18), при помощи которых масло от распределителя подводится к требуемым элементам зубчатой передачи.

Теплообменник радиаторного типа (2) изготовлен в комплекте со встроенной электрической помпой (4), служащей для перекачки смазки редуктора через теплообменник, и вентилятором охлаждения, закрепленном на валу приводного электродвигателя помпы. Вентилятор теплообменника (5) служит для отвода тепла от радиатора теплообменника, через который протекает горячее масло, нагнетаемое помпой. Максимальная температура масла, при которой разрешается эксплуатировать теплообменник, составляет 100 °С. Радиатор защищен от попадания пыли, мелких камней и т.п. металлической сеткой. Для защиты от поломки при возникновении излишнего давления масла теплообменник снабжен перепускным предохранительным клапаном, срабатывающим при возникновении предельно допустимого давления в радиаторе. Теплообменник с помпой и вентилятором может быть различной охлаждающей мощности, в пределах от 5 до 46 кВт.

Чертеж общего вида теплообменников, применяемых для комплектации систем охлаждения данного типа, приведен на рис. 2, основные габаритные размеры – в табл. 1.

Масляный бак (3) предназначен для хранения и предварительной очистки смазочного масла редуктора. Бак обеспечивает прием сбрасываемого из ре-

дуктора масла и подачу его к перекачивающей помпе теплообменника.

Основные элементы системы соединяются между собой трубами сброса (14) горячего масла из редуктора в бак и нагнетания (11) охлажденного масла к элементам трансмиссии редуктора. Особенностью системы является взаимное расположение редуктора и бака: редуктор располагается выше уровня масла (20), находящегося в баке. В случаях, когда охлаждение осуществляется при помощи теплообменника без встроенной помпы, а масло через него перекачивается встроенным насосом редуктора, элементы системы могут быть установлены в одной плоскости, а при необходимости теплообменник может быть установлен выше редуктора или непосредственно на нем самом. При таком устройстве системы охлаждения промежуточный бак в ней отсутствует.

Нагнетающая система труб снабжена расходомером масла (13) со встроенным электрическим датчиком, который блокирует запуск редуктора при недостаточном расходе масла в системе, а также масляным фильтром (12), служащим для очистки охлажденного масла, возвращаемого в редуктор. Система оснащена манометром, показывающим давление масла в нагнетающей магистрали трубопровода, и электрическим датчиком давления, не позволяющим включить редуктор при недостаточном давлении масла в системе.

Система охлаждения и смазки редуктора функционирует следующим образом. Прежде чем запустить редуктор под нагрузку, включают встроенный в бак электронагреватель, который подогревает масло, находящееся в нем, после чего срабатывает термореле и запускается система охлаждения. Включается пом-

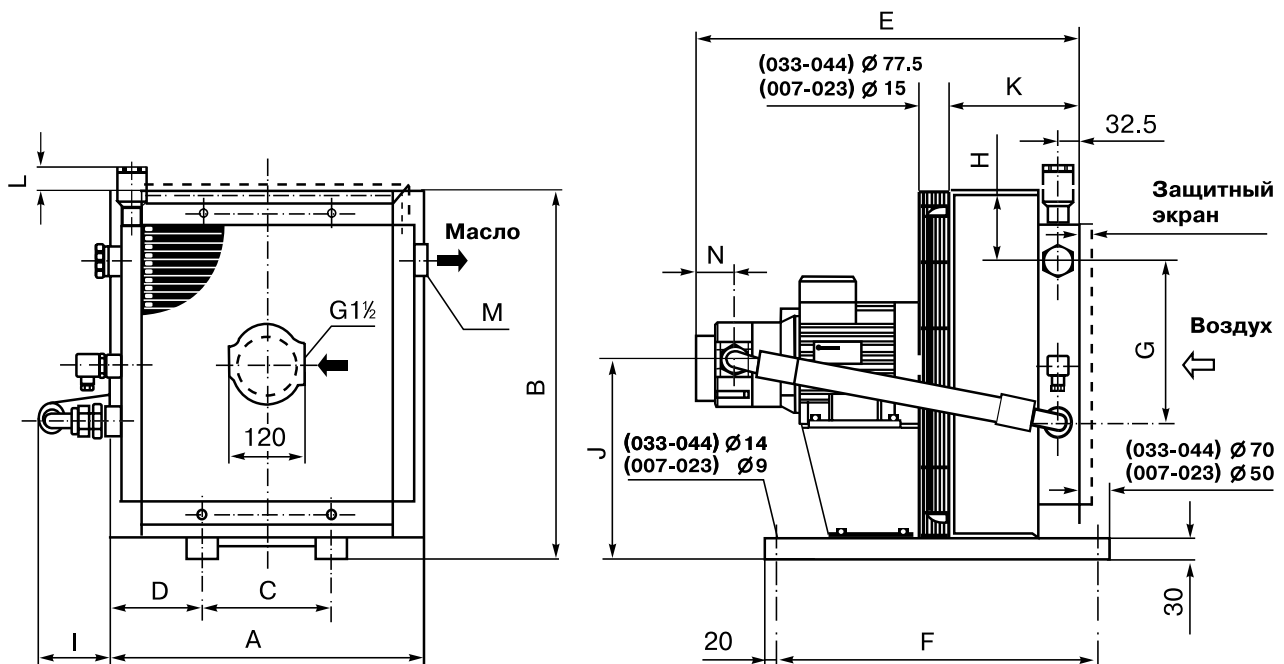


Рис. 2. Чертеж общего вида теплообменника T-007-4-D-B

Таблица 1. Основные габаритные размеры теплообменников

Типоразмер	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
T-004-4-D-A	267	287	134	66	500	420	80	77	130	169	163	63	G1	62
T-007-4-D-A	365	395	203	81	526	510	160	103	112	212	190	42	G1	62
T-007-4-D-B	365	395	203	81	539	510	160	103	112	212	190	42	G1	75
T-007-4-D-C	365	395	203	81	586	510	160	103	112	212	190	42	G1	87
T-007-4-D-D	365	395	203	81	599	510	160	103	112	212	190	42	G1	100
T-011-4-D-A	440	470	203	119	551	510	230	106	110	250	215	39	G1	62
T-011-4-D-B	440	470	203	119	564	510	230	106	110	250	215	39	G1	75
T-011-6-D-C	440	470	203	119	611	510	230	106	110	250	215	39	G1	87
T-011-6-D-D	440	470	203	119	624	510	230	106	110	250	215	39	G1	100
T-011-4-D-C	440	470	203	119	611	510	230	106	110	250	215	39	G1	87
T-011-4-D-D	440	470	203	119	624	510	230	106	110	250	215	39	G1	100
T-016-4-D-A	496	526	203	147	610	510	230	100	114	278	240	45	G1	62
T-016-4-D-B	496	526	203	147	623	510	230	100	114	278	240	45	G1	75
T-016-6-D-C	496	526	203	147	636	510	230	100	114	278	240	45	G1	87
T-016-6-D-D	496	526	203	147	649	510	230	100	114	278	240	45	G1	100
T-016-4-D-C	496	526	203	147	636	510	230	100	114	278	240	45	G1	87
T-016-4-D-D	496	526	203	147	649	510	230	100	114	278	240	45	G1	100
T-023-4-D-B	580	610	356	112	648	610	305	101	112	320	265	44	G1	75
T-023-6-D-C	580	610	356	112	661	610	305	101	112	320	265	44	G1	87
T-023-6-D-D	580	610	356	112	717	610	305	101	112	320	265	44	G1	100
T-023-4-D-C	580	610	356	112	704	610	305	101	112	320	265	44	G1	87
T-023-4-D-D	580	610	356	112	717	610	305	101	112	320	265	44	G1	100
T-033-6-A-D	692	722	356	168	754	610	406	103	101	376	240	43	G1 ^{1/4}	100
T-033-4-A-C	692	722	356	168	722	610	406	103	101	376	240	43	G1 ^{1/4}	87
T-033-4-A-D	692	722	356	168	735	610	406	103	101	376	240	43	G1 ^{1/4}	100
T-044-6-A-D	692	866	356	168	779	610	584	87	101	448	265	59	G1 ^{1/4}	100
T-044-4-A-C	692	866	356	168	746	610	584	87	101	448	265	59	G1 ^{1/4}	87
T-044-4-A-D	692	866	356	168	759	610	584	87	101	448	265	59	G1 ^{1/4}	100

па теплообменника и через всасывающую трубу (9) начинает перекачивать предварительно подогретое масло из бака, подавая его в радиатор теплообменника (2) по трубе подачи масла в радиатор охлаждения (10). Протекая через радиатор, масло охлаждается под воздействием вентилятора (5) и через первую нагнетательную трубу (11), масляный фильтр (12), оснащенный фильтрующей сеткой, расходомер (13), вторую нагнетательную трубу (11), распределительный коллектор смазки редуктора (17) по трубкам (18) подается к зубчатым колесам и опорным подшипникам передач редуктора. Стекающее из редуктора масло через отводное отверстие по трубе (14) сбрасывается в масляный бак (3), откуда, проходя через систему охлаждения, вновь поступает в редуктор (1). Как только в системе установится циркуляция масла с расчетным расходом и давлением, требуемым для эффективной смазки редуктора, сработают электрические датчики расхода и давления масла, которые вместе с датчиком минимального и максимального уровней масла в баке разблокируют систему питания электродвигателя редуктора. В этот момент происходит запуск редуктора в работу.

Система охлаждения начинает работать совместно с редуктором. Она осуществляет кругооборот масла,

обеспечивает непрерывное смазывание редуктора и охлаждение масла, поддерживая температуру, достаточную для нормального функционирования редуктора «Тандем» 5Ц-180ES-1,8. Если радиатор теплообменника засоряется, то в теплообменнике срабатывает перепускной клапан (6), и масло начнет подаваться в редуктор в обход радиатора охлаждения. Это необходимо для предотвращения поломки редуктора из-за недостаточного потока масла при неисправности (засорении) теплообменника. Кроме того, в случае отклонения одного или нескольких параметров функционирования системы смазки и охлаждения срабатывают датчики, о которых упоминалось выше, и электродвигатель редуктора обесточивается, происходит аварийный останов редуктора. Для того чтобы запустить его вновь, требуется выяснить причины сбоя работы системы и принять меры к их устранению.

Как уже упоминалось выше, системы охлаждения редукторов «Тандем» могут быть различными и подбираются специалистами НТЦ «Редуктор» индивидуально для каждого конкретного случая, с учетом всех эксплуатационных требований, предъявляемых заказчиком к редуктору. Но это всегда – оптимальный и точный подбор, гарантирующий надежную и долговечную работу редукторов «Тандем» серии ES.

