

УДК 621.316

## **ПОТЕРИ МОЩНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПРИ ОТКЛОНЕНИЯХ НАПРЯЖЕНИЯ**

**А.П. Манукян**

*Национальный политехнический университет Армении*

Определены функциональные количественные зависимости потерь мощности и производительности асинхронных электроприводов от отклонений напряжения питания от номинального значения. Исследования проведены на примере насосного агрегата мощностью 250 кВт системы водоснабжения с приводным асинхронным двигателем (АД). Показано, что уменьшение напряжения электропитания приводит к увеличению скольжения, уменьшению скорости вращения АД, что, в свою очередь, приводит к уменьшению мощности на валу двигателя и, соответственно, уменьшению производительности агрегата – сокращению расхода (подачи) воды. Увеличение напряжения электропитания приводит к уменьшению скольжения, увеличению скорости вращения АД, что, в свою очередь, приводит к увеличению мощности на валу двигателя и, соответственно, некоторому увеличению производительности агрегата – повышению расхода (подачи) воды.

Определены функциональные зависимости составляющих и суммарных потерь мощности в АД и в насосе в зависимости от отклонений напряжения питания, соответственно, от скольжения и скорости вращения двигателя. Установлено, что отклонения напряжения питания электроприводов насосных агрегатов как в сторону повышения, так и в сторону понижения относительно номинального значения напряжения приводят к заметному увеличению потерь. По мере увеличения отклонений напряжения потери мощности возрастают. Указанные потери мощности, даже в пределах допустимых ГОСТом отклонений напряжения, соизмеримы с потерями мощности при номинальных коэффициентах полезного действия насосных агрегатов. При отклонениях напряжения имеют место также качественные эксплуатационные потери - ухудшение пусковых характеристик, возможность торможения двигателя и сброса нагрузки. Результаты указанных исследований показывают целесообразность пересмотра требований Стандарта по допустимым отклонениям напряжения сети в сторону ужесточения.

**Ключевые слова:** отклонение напряжений, потери мощности, потери производительности, асинхронный двигатель, скорость вращения асинхронного двигателя.

**Введение.** Отклонения напряжения питания от номинального значения приводят к значительным потерям мощности в приводных асинхронных электроприводах и производительности производственных агрегатов. Причем указанное снижение технико-экономических показателей имеет место как при снижении напряжения, так и при его повышении относительно номинального значения.

Показатели и нормы качества электрической энергии систем электроснабжения общего назначения переменного тока частотой 50 Гц, а также допустимые пределы отклонения напряжения от номинального значения установлены ГОСТ 32144-2013 [1]. Допустимые отклонения для медленных изменений напряжения (продолжительностью более 1 мин) – наиболее критичного показателя качества электроэнергии – установлены Стандартом в “точке передачи электрической энергии” на уровне  $\Delta U = \pm 10\%$  от номинального или некоторого “согласованного” значения напряжения. Такой широкий допуск отклонений напряжения объективно отражает реально имеющие место отклонения напряжения на шинах потребителей в существующих системах электроснабжения. Однако установленные Стандартом величины отклонения напряжения представляются необоснованными с точки зрения технико-экономических характеристик агрегатов, объектов и энергосистемы в целом, т.к. они приводят к значительным экономическим потерям. Сказанное подтверждается тем, что в автономных системах электроснабжения Стандартом установлены гораздо более жесткие требования по отклонениям напряжения  $\pm 1,5 \dots 2\%$  от номинального напряжения. В реальности у значительной части потребителей величины отклонения напряжения выходят за установленные Стандартом нормы  $\pm 10\%$ . Так, по данным ЗАО “Научно-исследовательский институт энергетики”, за 2015 г. у 9,2% абонентов РА, подключенных к шинам 0,4 кВ, отклонения напряжений составляли  $\Delta U = \pm 15\% U_{ном}$  и  $\Delta U = \pm 20\% U_{ном}$ . При указанных отклонениях напряжения технико-экономические потери будут значительно больше.

**Постановка задачи и обоснование методики.** Определение количественных зависимостей потерь мощности и производительности асинхронных электроприводов от величин отклонений напряжений является актуальной задачей, т.к. дает возможность количественного обоснования допустимых, экономически целесообразных норм отклонения напряжений питания.

Целью работы является теоретическое исследование и определение количественных зависимостей потерь мощности и производительности асинхронных электроприводов от отклонений напряжения питания от номинального значения.

Настоящие исследования проводятся на примере насосного агрегата системы водоснабжения с приводным асинхронным электродвигателем. Номинальные параметры насосного агрегата следующие:

насос центробежный типа Д3200-33а-2, расход (подача) - 3000 м<sup>3</sup>/час, напор - 29 м, частота вращения - 977 об/мин, коэффициент полезного действия (КПД) - 88%, мощность - 250 кВт [2];

двигатель асинхронный типа АО4-355м-6, мощность - 250 кВт, напряжение - 380 В, ток - 442 А, частота вращения синхронная – 1000 об/мин, КПД – 95% [3].

Приняты следующие условия работы агрегата – режим работы непрерывный с обеспечением заданного расхода воды.

Уменьшение напряжения электропитания (отклонение в сторону снижения) приводит к увеличению скольжения, уменьшению скорости вращения АД, что, в

свою очередь, приводит к уменьшению мощности на валу двигателя и, соответственно, уменьшению производительности агрегата – уменьшению расхода (подачи) воды. Уменьшение напряжения приводит к уменьшению потерь в стали двигателя, но в то же время к увеличению потерь в меди; суммарные потери в двигателе увеличиваются.

Увеличение напряжения электропитания (отклонение в сторону повышения) приводит к уменьшению скольжения, увеличению скорости вращения АД, что, в свою очередь, приводит к увеличению мощности на валу двигателя и, соответственно, некоторому увеличению производительности агрегата – увеличению расхода (подачи) воды. Стабилизация производительности насоса возможна регулированием скорости вращения АД посредством преобразователя частоты. Однако это требует дополнительных капитальных затрат (в виде стоимости преобразователя), которые превышают вышеуказанную стоимость потерь энергии от потерь мощности двигателя.

Увеличение напряжения приводит к увеличению потерь в стали двигателя, но в то же время к уменьшению потерь в меди; увеличение напряжения в обмотках статора происходит за счет увеличения насыщаемости магнитной системы (намагничивающий ток).

Таким образом, при отклонениях напряжения в системе имеют место:

- технологические потери, вызванные снижением производительности;
- агрегатные потери, вызванные потерями в двигателе и в насосе.

При расчете электрических потерь в двигателе в основу расчета положены величины составляющих потерь в номинальном режиме, определенные по методике [4]. Величины составляющих потерь и производительности при отклонениях напряжения определяются на основании пересчета по аналитическим выражениям, приведенным ниже.

**Результаты исследования.** Электромеханические процессы, протекающие в АД, описываются его механической характеристикой – зависимостью электромагнитной мощности и вращающего момента от напряжения, скольжения и параметров двигателя:

$$P = \frac{mU^2 \frac{R_2}{s}}{\left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2}, \quad (1)$$

$$M = \frac{pmU^2 \frac{R_2}{s}}{2\pi f \left[\left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2)^2\right]}, \quad (2)$$

где  $U$  – фазовое напряжение;  $s$  – скольжение;  $f$  – частота;  $m$  – количество фаз;  $p$  – количество пар полюсов;  $R_1, R_2, X_1, X_2$  – соответственно активные и индуктивные сопротивления обмоток статора и ротора [5].

Графики электромагнитного момента при различных значениях напряжения в соответствии с (1) и (2) приведены на рис.1.

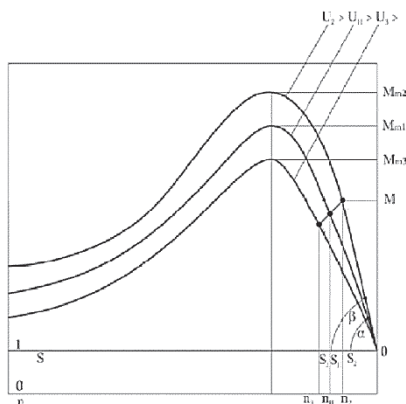


Рис.1. Графики электромагнитного момента при различных значениях напряжения

На рис.1 по оси абсцисс приведены также скорости вращения двигателя  $n$ , которые определяются скольжением двигателя  $s$  и выражаются следующими зависимостями:

$$S = \frac{n_c - n}{n_c}, n = n_c - S n_c, \quad (3)$$

где  $n_c$  – синхронная скорость вращения.

Предельные значения напряжения:

$$U_1 = U_{min}(U_H - \Delta U); U_2 = U_{max}(U_H - \Delta U), \quad (4)$$

где  $U_H$  – номинальное напряжение;  $\Delta U$  – величина предельного отклонения напряжения от номинального значения.

График электромагнитной мощности, согласно (2), имеет такой же вид, как и рис.1, но при других масштабах по осям. При отклонениях напряжения питания АД его механическая характеристика – зависимость электромагнитного момента и мощности от скольжения – перемещается параллельно оси ординат в квадратичной зависимости от напряжения согласно (1), (2), как это показано на рис.1.

Как следует из (1), (2) и рис.1, при отклонениях напряжения от номинального значения изменяется положение точки равновесия, соответственно – скольжения, скорости вращения, вращающего момента, мощности, что приводит к изменению технологических, агрегатных и суммарных экономических потерь.

Задачей настоящего исследования является определение зависимости суммарных экономических потерь от отклонений напряжения. Результаты расчета приведены в таблице.

Параметры АД – активные и индуктивные сопротивления обмоток статора, определены, исходя из его номинальных данных, по методике [4].

Таблица

Результаты расчета экономических потерь насосного агрегата при отклонениях напряжения питания от номинального значения

| Напря-<br>жение                                    | $U, \%$                | -20%      | -15%      | -10%  | - 5%  | 0     | +5%   | +10%  | +15%  | +20%  |
|--|------------------------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  | $U, V$                 | 304       | 323       | 342   | 361   | 380   | 399   | 418   | 437   | 456   |
| Скольжение, $S$                                    |                        | 0,047     | 0,041     | 0,037 | 0,033 | 0,03  | 0,027 | 0,025 | 0,023 | 0,021 |
| Скорость вращения, $n, об/м$                       |                        | 953       | 959       | 963   | 967   | 970   | 973   | 975   | 977   | 979   |
| Мощность $P, кВт$                                  |                        | 237,1     | 241,6     | 244,6 | 247,7 | 250   | 252,3 | 253,9 | 255,5 | 257   |
| Мощность насоса нагнетаемая, $N, кВт$              |                        | 208,6     | 212,6     | 215,2 | 218,0 | 220   | 222   | 223,4 | 224,8 | 226,2 |
| Уменьшение мощн. насоса, $\Delta N, кВт$           |                        | 11,4      | 7,4       | 4,8   | 2,0   | 0     | -     | -     | -     | -     |
| Увеличение мощн. насоса, $\Delta N, кВт$           |                        | -         | -         | -     | -     | 0     | 2     | 3,4   | 4,8   | 6,2   |
| Технологические потери, $P_m, кВт$                 |                        | 11,4      | 7,4       | 4,8   | 2     | 0     | 2     | 3,4   | 4,8   | 6,2   |
| Потери в стали АД, $P_c, кВт$                      |                        | 1,74      | 1,96      | 2,2   | 2,45  | 2,72  | 2,77  | 3,29  | 3,6   | 3,92  |
| Механич. потери АД, $P_{мех}, кВт$                 |                        | 2,05      | 2,08      | 2,09  | 2,11  | 2,13  | 2,14  | 2,15  | 2,16  | 2,17  |
| Потери в меди обмоток АД, $P_m, кВт$               |                        | 17,4<br>6 | 15,6<br>7 | 14,09 | 12,75 | 11,57 | 10,57 | 9,67  | 8,88  | 8,19  |
| Полные потери в АД, $P_\Sigma, кВт$                |                        | 21,25     | 19,71     | 18,38 | 17,31 | 16,42 | 15,48 | 15,13 | 14,64 | 14,28 |
| Изменение полных потерь АД, $\Delta P_\Sigma, кВт$ |                        | 4,83      | 3,29      | 1,96  | 0,89  | 0     | -0,94 | -1,29 | -1,77 | -2,14 |
| Механич. потери насоса, $P_{мех2}, кВт$            |                        | 28,4      | 29        | 29,3  | 29,7  | 30    | 30,3  | 30,5  | 30,7  | 30,8  |
| Изменение потерь насоса, $\Delta P_{мех2}, кВт$    |                        | -1,6      | -1        | -0,7  | -0,3  | 0     | 0,3   | 0,5   | 0,7   | 0,8   |
| Агрегатные потери, $P_a, кВт$                      |                        | 3,23      | 2,29      | 1,26  | 0,59  | 0     | -0,64 | -0,79 | -1,07 | -1,34 |
| Полные потери мощности                             | $\Delta P_\Sigma, кВт$ | 14,63     | 9,69      | 6,06  | 2,59  | 0     | 1,36  | 2,61  | 3,73  | 4,86  |
|  | $\Delta P_\Sigma, \%$  | 6,6%      | 4,4%      | 2,7%  | 1,2%  | 0     | 0,6%  | 1,2%  | 1,7%  | 2,2%  |

С учетом вышеизложенного по [4] определены составляющие потерь в стали, в меди обмоток статора и ротора, механические потери в номинальном режиме при напряжении  $U_n = 380 V$  и номинальной мощности  $P_n = 250 кВт$ . Эти данные представлены в среднем столбце таблицы, соответствующем номинальному напряжению. Исходя из номинальных значений напряжений и мощности и вычисленных параметров АД, по формуле (1) определено скольжение и по (3) –

скорость вращения в номинальном режиме:  $s_n = 0,03$ ,  $n_n = 970$  об/мин.  
 Вращающий момент двигателя определен по (2):  $M_n = 2351,6$  Нм.

Параметры номинального режима (вращающий момент, скольжение, скорость при номинальных напряжениях и мощности) определяются положением точки 1 на характеристике, соответствующей номинальному напряжению. Соответственно, пересчетом определяется величина электромагнитной мощности.

При повышении напряжения указанные параметры АД определяются положением точки 2 на характеристике, соответствующей повышенному напряжению. Величина скольжения  $S_2$  при повышенном напряжении определяется на основании выражений

$$tg\alpha = \frac{M}{S_H} = \frac{M_{m1}}{S_m}, \quad tg\beta = \frac{M}{S_2} = \frac{M_{m2}}{S_m}, \quad (5)$$

где  $M$  – номинальный вращающий момент, уравновешенный нагрузочным моментом;  $M_{m1}$ ,  $M_{m2}$  – максимальные критические моменты, соответственно, при номинальном и повышенном напряжениях;  $S_H$ ,  $S_2$  – скольжения, соответственно, при номинальном и повышенном напряжениях;  $S_m$  – критическое скольжение, соответствующее максимальным критическим моментам. При изменениях напряжения величина критического скольжения  $S_m$  неизменна [5].

Величина скольжения  $S_2$ , имеющего место при повышенном напряжении, определяется из системы уравнений (5), (6):

$$S_2 = S_H \frac{M_{m1}}{M_{m2}} = S_H \left( \frac{U_H}{U} \right)^2 = \frac{S_H}{K^2}, \quad (6)$$

где  $U_n$  – номинальное напряжение;  $U = \kappa U_n$  – напряжение, отличное от номинального;  $K$  – кратность изменения напряжения, учитывая, что отношения максимальных критических моментов пропорциональны квадрату отношения напряжений (1), (2):  $M_{m1} / M_{m2} = (U_n / U)^2$ .

Таким образом, выражения (5), (6) описывают изменение процесса в общем виде и справедливы также при понижении напряжения и переходе режима из точки 1 в точку 3 на рис.1. Величины скольжений и скоростей вращения при различных кратностях изменений напряжения определены по (6), (3) (см. табл.) и использованы в последующих расчетах.

Для решения поставленной задачи определены следующие параметры системы при отклонениях напряжения от номинального значения.

Мощность на валу двигателя  $P$  определяется по номинальному нагрузочному моменту и скорости вращения [6]:

$$P_H = \left( \frac{n}{n_H} \right)^3, \quad (7)$$

где  $P_n$  – номинальное напряжение;  $n_n$ ,  $n$  – скорости вращения, соответственно, при номинальном и отклоненном напряжениях.

Мощность насоса  $N$  определяется аналогичным образом [6]:

$$N = N_H \left( \frac{n}{n_H} \right)^3 = P_H \eta_H \left( \frac{n}{n_H} \right)^3, \quad (8)$$

где  $N_n$  – номинальная мощность насоса;  $\eta_n = 0,88$  – КПД насоса при номинальной скорости вращения [6];  $n_n, n$  – скорости вращения, соответственно, при номинальном и отклоненном напряжениях.

Уменьшение мощности (производительности) агрегата, выраженное в кВт, или несанкционированное увеличение мощности, подлежащей гашению, представляет собой технологические потери  $P_m$ :

$$P_T = |\Delta N|, \quad (9)$$

где  $\Delta N$  – уменьшение или увеличение мощности агрегата относительно мощности номинального режима.

Потери в стали АД  $P_C$  определяются, исходя из выражений потерь [6] при номинальном (известных) и отклоненном напряжениях (искомых), следующим образом:

$$P_{CH} = \Delta P_{CO} G(U_H)^2 (f)^{1.5}, \quad \Delta P_C = \Delta P_{CO} G(U)^2 (f)^{1.5}, \quad \Delta P_C = P_{CH} \left(\frac{U}{U_H}\right)^2, \quad (10)$$

где  $U_n, U$  – соответственно номинальное и отклоненное напряжения;  $P_{CH}$  – потери в стали;  $\Delta P_{CO}$  – удельные потери в стали;  $G$  – масса активной стали;  $f$  – частота.

Механические потери  $P_{мех}$  и потери в меди обмоток в АД определяются аналогичным образом [6] в зависимости от скорости вращения и напряжения и мощности:

$$P_{мех} = P_{мехH} \left(\frac{n}{n_H}\right)^3, \quad P_M = P_{MH} \left(\frac{P}{P_H} \cdot \frac{U_H}{U}\right)^2, \quad (11)$$

где  $n_n, n$  – соответственно скорости вращения при номинальном и отклоненном напряжениях;  $P_{мехH}$  – механические потери при номинальном напряжении;  $U_n, U$  – соответственно токи при номинальном и отклоненном напряжениях;  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности двигателя, принимаемый не зависящим от напряжения [7];  $R$  – активное сопротивление обмоток.

Полные потери в АД  $P_\Sigma$  являются суммой потерь составляющих потерь:

$$P_\Sigma = P_C + P_{мех} + P_M. \quad (12)$$

Изменения полных потерь в АД  $\Delta P_\Sigma$ :

$$\Delta P_\Sigma = P_\Sigma - P_{\Sigma M}, \quad (13)$$

где  $P_{\Sigma n}, P_\Sigma$  – соответственно полные потери АД при номинальном и отклоненном напряжениях.

Механические потери в насосе  $P_{мех2}$  определяются в зависимости от скорости вращения [6]:

$$P_{мех2} = P_{мех2H} \left(\frac{n}{n_H}\right)^3, \quad (14)$$

где  $n_n, n$  – соответственно скорости вращения при номинальном и отклоненном напряжениях;  $P_{мех2H}$  – механические потери в насосе при номинальной скорости.

Изменения механических потерь в насосе  $\Delta P_{мех2}$  будут

$$\Delta P_{мех2} = P_{мех2} - P_{мех2H}, \quad (15)$$

где  $P_{мех2n}, P_{мех2}$  – соответственно механические потери в насосе при номинальном и отклоненном напряжениях.

Агрегатные потери  $P_a$  представляют собой сумму изменений полных потерь в АД  $\Delta P_\Sigma$  и механических потерь  $\Delta P_{мех2}$ :

$$P_a = \Delta P_{\text{э}} + \Delta P_{\text{мех2}}. \quad (16)$$

Полные экономические потери мощности представляют собой сумму технологических и агрегатных потерь:

$$\Delta P = P_T + P_a. \quad (17)$$

Изменение технологических, агрегатных и полных потерь мощности представлено графически на рис.2.

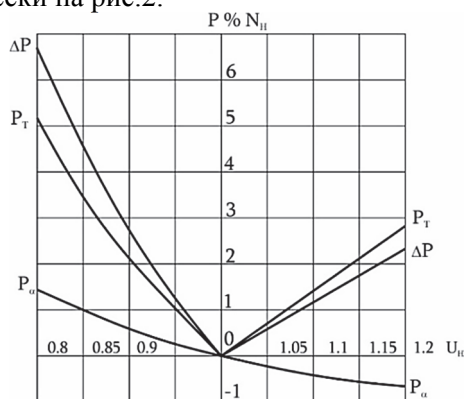


Рис.2. Изменение составляющих и полных потерь мощности при изменении напряжения питания насосного агрегата:

1 – технологические потери, 2 – агрегатные потери, 3 – полные потери

Из приведенных результатов аналитических и количественных исследований следует: как при снижении напряжения питания, так и при его повышении относительно номинального значения имеет место заметное увеличение потерь мощности насосного агрегата.

Некоторое уменьшение агрегатных потерь в области повышенных напряжений объясняется тем, что при повышении напряжения, но заданной мощности, имеет место уменьшение токов и, как следствие, уменьшение потерь в меди обмоток АД. Однако при этом полные потери относительно номинального режима увеличиваются (см. табл. и рис.2). Повышенные напряжения питания электродвигателя приводят к снижению срока службы изоляции и, соответственно, снижению ресурса двигателя.

Помимо указанных стационарных потерь мощности, при пониженных напряжениях питания имеют место следующие недостатки:

1. При нагрузочных характеристиках с определенным пусковым моментом (рис. 1) возможны случаи, когда при пониженном напряжении питания пуск не может быть выполнен (в момент пуска ( $s=1$ ) моментная характеристика двигателя проходит ниже нагрузочной характеристики).

2. При максимальных нагрузках двигателя и пониженных напряжениях питания возможно “опрокидывание” двигателя – сброс нагрузки и торможение (максимум моментной характеристики двигателя находится ниже максимальной характеристики нагрузки). В переходных процессах указанные проявления количественно более выражены.



Изложенное требует строгого согласования характеристик двигателя, нагрузки и величины отклонения напряжения, что реально (при понижении напряжения питания) выражается в необходимости увеличения установленной мощности двигателя.

3. Ранее были проведены исследования влияния нестабильности напряжения на работу прочих отдельных групп потребителей, а также расчет экономического ущерба от отклонений напряжения на примере ламп накаливания [7].

### **Выводы**

1. Отклонения напряжения питания электроприводов насосных агрегатов как в сторону повышения, так и в сторону понижения относительно номинального значения напряжения приводят к заметному увеличению потерь. По мере увеличения отклонений напряжения потери мощности возрастают.

2. Указанные потери мощности, даже в пределах допустимых ГОСТом отклонений напряжения, соизмеримы с потерями мощности при номинальных КПД насосных агрегатов.

3. При отклонениях напряжения имеют место также качественные эксплуатационные потери - ухудшение пусковых характеристик, возможность торможения двигателя и сброса нагрузки.

4. Результаты указанных исследований показывают целесообразность пересмотра требований Стандарта по допустимым отклонениям напряжения сети в сторону ужесточения.

### **Литература**

1. **Межгосударственный стандарт ГОСТ 32144-2013.** Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. [www.GOST\\_523144-2013\(2\)](http://www.GOST_523144-2013(2)).
2. [www.fairway.com.ua](http://www.fairway.com.ua). Насос Д3200-33а-2-с.
3. [www.electromotor.com.ua/dokumentation/Baranchinski\\_katalog.pdf](http://www.electromotor.com.ua/dokumentation/Baranchinski_katalog.pdf) Асинхронный двигатель серии АО4.
4. **Сергеев П.С., Виноградов Н.В., Горяинов Ф.А.** Проектирование электрических машин. – М.: Энергия, 1969. - 632 с.
5. **Костенко М.П., Пиотровский Л.М.** Электрические машины. Ч.2. Машины переменного тока. – М.: Госэнергоиздат, 1958. – 651 с.
6. [www.einsteins.ru/gidravlika](http://www.einsteins.ru/gidravlika). Зависимость подачи, напора и мощности от числа оборотов насоса.
7. **Манукян А.П.** Влияние отклонения напряжения на шинах 0,4 кВ распределительных сетей на работу потребителей // Вестник ИАА. – 2017. – Том 14, № 2. - С. 234-237.

*Поступила в редакцию 14.03.2018.  
Принята к опубликованию 05.06.2018.*

**ԼԱՐՄԱՆ ՇԵՂՈՒՄՆԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ ՀՁՈՐՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԱՐՏԱԴՐՈՂԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ  
ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԸ ԱՍԻՆԽՐՈՆ ԷԼԵԿՏՐԱԲԱՆԵՑՈՒՄՆԵՐՈՒՄ**

**Ա.Պ. Մանուկյան**

Ուսումնասիրության նպատակն է հզորության և արտադրողականության կորուստների և սնման լարման անվանական արժեքից շեղումների ֆունկցիոնալ քանակական կախվածությունների որոշումը ասինխրոն էլեկտրաբանեցումներում: Հետազոտությունն իրականացվել է շարժաբեր ասինխրոն էլեկտրական շարժիչով ջրամատակարարման համակարգի 250 կՎտ հզորությամբ պոմպային ագրեգատի օրինակով: Մնման լարման նվազեցումը հանգեցնում է սահքի աճին, ասինխրոն շարժիչի պտտման արագության նվազմանը, որը նվազեցնում է շարժիչի լիսեռի հզորությունը, և հետևաբար՝ նվազում են ագրեգատի արտադրողականությունը, ջրի ծախսը (մատակարարումը): Լարման նվազեցումը հանգեցնում է կորուստների նվազմանը շարժիչի պողպատում, բայց, մյուս կողմից, պղնձում կորուստների ավելացմանը զուգահեռ, շարժիչի գումարային կորուստներն աճում են: Մնման լարման մեծացումը հանգեցնում է սահքի նվազմանը, ասինխրոն շարժիչի արագության աճին, ինչը հանգեցնում է շարժիչի լիսեռի հզորության աճին, և, հետևաբար, ագրեգատի արտադրողականության որոշակի աճին՝ ջրի ծախսի (մատակարարման) աճին: Լարման աճը հանգեցնում է շարժիչի պողպատի կորուստների ավելացմանը, սակայն պղնձի կորուստների նվազմանը՝ շարժիչի ընդհանուր կորուստները կրճատվում են:

Սահմանված է հզորության բաղադրիչ և գումարային կորուստների ֆունկցիոնալ կախվածությունը ասինխրոն շարժիչում և պոմպում՝ սնման լարման շեղումներից, համապատասխանաբար, սահքից և շարժիչի պտտման արագությունից: Սահմանվում է, որ լարման անվանական արժեքի համեմատ վերևում և ներքևում պոմպային կայանների էլեկտրական լարման գծերի շեղումները հանգեցնում են կորուստների նկատելի աճի: Քանի որ լարման շեղումները մեծանում են, ուստի էլեկտրաէներգիայի կորուստները մեծանում են: Նշված էլեկտրաէներգիայի կորուստները, նույնիսկ ԳՕՍՍ-ով թույլատրված լարման թույլատրելիության սահմաններում, պոմպային միավորների անվանական արդյունավետության պայմաններում էլեկտրաէներգիայի կորուստների հետ համադրելի են: Լարման շեղումներով կան նաև որակական շահագործման կորուստներ՝ սկսած բնութագրերի վատթարացումից մինչև շարժիչի արգելակման և բեռի թափման հնարավորությունը: Ուսումնասիրությունների արդյունքները ցույց են տալիս ցանցի լարվածության տատանումների թույլատրելիության ստանդարտի պահանջները ճնշման ուղղությամբ վերանայելու նպատակահարմարությունը:

**Առանցքային բառեր.** լարման շեղումներ, հզորության կորուստներ, արտադրողականության կորուստներ, ասինխրոն շարժիչ, ասինխրոն շարժիչի պտտման արագություն:

## POWER AND PRODUCTIVITY LOSSES OF INDUCTION ELECTRIC DRIVES AT VOLTAGE DEVIATIONS

**A.P. Manukyan**

The functional quantitative dependences of power and productivity losses of induction electric drives on voltage supply deviations from the nominal value are determined. The investigations are conducted on the example of a pumping unit of the induction electric motor propulsion system of 250 kW. It is shown that the reduction of the supply voltage leads to the increase in the slide, a decrease in the rotational speed of the IM which, in its turn, reduces the engine's capacity and consequently decreases the aggregate productivity - decreases the water consumption (supply). An increased supply voltage results in a reduced slide, an increase in the induction motor rotational speed, resulting in an increased engine shaft power and, consequently, a certain increase in aggregate productivity - water flow (supply).

The functional dependences of the power component and the sum of losses are determined in IM and the pump, depending on the voltage supply deviations according to the slide and the motor rotational speed. It is established that the deviations in the power supply voltage of electric drives of pumping units both upward and downward relative to the nominal value of voltage lead to a noticeable increase in losses. As the voltage deviations increase, power losses increase. The specified power losses, even within the limits of the voltage tolerances, and allowed by the State Standard, are commensurate with power losses at nominal efficiency of pumping units. With voltage deviations, there are also qualitative operational losses - deterioration of starting characteristics, the possibility of engine braking and load shedding. The results of these studies show the expedience of revising the requirements of the Standard for permissible network voltage variations in the direction of hardening.

**Keywords:** voltage deviation, power loss, induction motor, induction motor speed.