

УДК 621.91.01

Н.В. Лищенко, канд. техн. наук, Одес. нац. акад. пищевых технологий,
В.П. Ларшин, д-р техн. наук, проф.,
С.Н. Макаров, канд. техн. наук,
Одес. нац. политехн. ун-т

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИПУСКА НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин, С.Н. Макаров. Анализ способов визначення припуску на механічну обробку. Виконано порівняльний аналіз відомих способів розрахунку проміжних (операційних) припусків, проміжних розмірів оброблюваної деталі, а також номінального і граничних розмірів заготовки. Оцінено відмінність у результатах розрахунку і дано рекомендації щодо застосування.

Н.В. Лищенко, В.П. Ларшин, С.Н. Макаров. Анализ способов определения припуска на механическую обработку. Выполнен сравнительный анализ известных способов расчета промежуточных (операционных) припусков, промежуточных размеров обрабатываемой детали, а также номинального и предельных размеров заготовки. Оценено отличие в результатах расчета и даны рекомендации по применению.

N.V. Lishchenko, V.P. Larshin, C.N. Makarov. Analysis of methods for determining the allowances for machining. A comparative analysis of the known methods for calculating the intermediate (operational) allowances, intermediate-sized workpiece, as well as the nominal and the limit size of the workpiece, is carried out. The differences in the results of calculations are evaluated and recommendations on the application are given.

Актуальность работы. В процедуре определения припусков на обработку можно выделить ряд этапов: определение припусков на отдельные технологические переходы (операции), определение межоперационных размеров обрабатываемой детали и размеров исходной заготовки. Размеры исходной заготовки, то есть размеры полуфабриката, который изготавливают из исходного материала, определяют суммированием припусков, назначенных на отдельные переходы (операции) технологического процесса. Из этого следует, что для определения размеров исходной заготовки необходимо очень тщательно просчитать промежуточные припуски и промежуточные размеры обрабатываемой детали. С другой стороны, существующие технологии заготовительного производства (литье — ГОСТ 26645-85,ковка — ГОСТ 7829-70 и ГОСТ 7062-90, штамповка — ГОСТ 7505-89, прокат — ГОСТ 2590-88 и другие) относительно самостоятельно позволяют по указанным нормам определить допуски размеров и припуски на механическую обработку, которые, как правило, больше одноименных расчетных параметров (найденных поэтапным суммированием). Эта неопределенность дополнительно усложняется отсутствием единого подхода к расчету промежуточных припусков применительно к двум основным методам обеспечения точности механической обработки: методу пробных проходов и промеров (МППП) и методу автоматического получения размеров (МАПР). Особенности формирования припусков для этих методов впервые отмечались в работе [1], где был установлен механизм формирования припуска при ограниченной жесткости металлорежущих станков. Однако, имеющиеся в литературе методики определения припусков, как правило, соответствуют одному из этих методов (МППП или МАПР). Не исследовано различие в результатах расчета припусков этими методами для одной и той же поверхности детали при прочих одинаковых условиях. Например, не установлено различие в результатах между расчетно-аналитическим методом проф. В.М. Кована и табличным методом определения промежуточных припусков. К тому же величины номинальных промежуточных припусков приводятся разные [2, 3]. В этой связи следует

конкретизировать понятия: *номинальный промежуточный припуск* и *номинальные промежуточные размеры* заготовки. Под номинальным промежуточным припуском понимают разность между последующим и предыдущим номинальными промежуточными размерами заготовки, начиная от детали и заканчивая исходной заготовкой (прокат, штамповка, отливка). Иногда номинальные табличные припуски называют минимальными [4], что вносит путаницу в инженерные расчеты. Кроме того, под номинальным размером детали могут понимать ее номинальный конструкторский размер [5]. Например, при чертежном размере $\varnothing 80 f7 \begin{pmatrix} -0,03 \\ -0,06 \end{pmatrix}$

номинальный конструкторский размер составляет $d_{\text{дет}}^{\text{ном}} = 80$ мм. В то же время для этого случая максимальный размер составляет $d_{\text{дет}}^{\text{max}} = 79,97$ мм, а минимальный — $d_{\text{дет}}^{\text{min}} = 79,94$ мм, т.е. номинальный размер $d_{\text{дет}}^{\text{ном}} = 80$ мм больше максимального размера $d_{\text{дет}}^{\text{max}} = 79,97$ мм. Иногда за *исходный расчетный размер* принимают при обработке наружных поверхностей вращения наибольший предельный (а не номинальный конструкторский) размер детали, а при обработке отверстий — наименьший предельный размер детали. Однако правомерность такого подхода не обосновывается [6]. Например, для шейки вала диаметром $\varnothing 80 m6 \begin{pmatrix} +0,030 \\ +0,011 \end{pmatrix}$ под подшипник качения номинальный диаметр шейки вала ($\varnothing 80,000$ мм) меньше его обоих предельных значений: $\varnothing 80,011$ мм и $\varnothing 80,030$ мм. При этом за *исходный расчетный размер* принимается максимальное значение диаметра.

В этой же работе делается сравнительный анализ результатов расчета табличным и расчетно-аналитическим методом. Однако, в табличном методе номинальный припуск (0,5 мм) под первое и второе шлифование выбирается с учетом предшествующей термообработки, а в расчетно-аналитическом методе термообработка перед шлифованием не предусматривается. Такая смена условий (наличие и отсутствие термообработки) методически некорректна, ибо приводит к несопоставимости результатов. Известно, что наличие термообработки перед шлифованием вносит дополнительные пространственные отклонения в размеры заготовки, которые складываются с одноименными отклонениями, оставшимися после выполнения предшествующего перехода [5].

Отмеченные несоответствия затрудняют выбор рационального способа определения промежуточных припусков и промежуточных размеров заготовки в связи с неопределенностью в терминологии и отсутствием обоснованных рекомендаций по выбору рационального способа определения припусков.

Постановка задачи. Целью работы является конкретизация термина *номинальные промежуточные припуски*, а также исследование различных способов определения промежуточных припусков для одной и той же поверхности детали и сравнение получаемых результатов с целью разработки рекомендаций по выбору рационального способа.

Сущность и методы исследования. Исследование выполним на примере определения припусков для цилиндрической шейки вала диаметром $\varnothing 80 m6 \begin{pmatrix} +0,030 \\ +0,011 \end{pmatrix}$ под подшипник качения. Материал — сталь 40Х, длина вала 422 мм. Характерной особенностью номинального размера диаметра является условие $d_{\text{дет}}^{\text{ном}} < d_{\text{дет}}^{\text{min}} < d_{\text{дет}}^{\text{max}}$, где $d_{\text{дет}}^{\text{ном}}$, $d_{\text{дет}}^{\text{min}}$ и $d_{\text{дет}}^{\text{max}}$ — номинальный, минимальный и максимальный диаметры детали, соответственно (см. рисунок).

Такое соотношение между номинальным и предельными значениями размера вызвано необходимостью обеспечения посадки с гарантированным натягом внутреннего диаметра внутреннего кольца подшипника на указанную шейку вала с номинальным размером $\varnothing 80,000$ мм. Минимальный натяг составляет 11 мкм, а фактический натяг будет больше на величину допуска изготовления указанного диаметра кольца в соответствии с ГОСТ 3325-85.

Указанная особенность номинального диаметра шейки вала не должна отражаться при определении припусков, в том числе и номинальных табличных припусков, которые должны быть прибавлены к максимальному (а не номинальному) размеру диаметра шейки. Другими словами, на этапе ТПП за исходный диаметр шейки вала, к которому прибавляются номинальные припуски, принимают максимальный его размер, т.е. $\varnothing 80,030$ мм. Этот размер, т.е. $\varnothing 80,030h6$ ($_{-0,019}$) мм, можно назвать *технологическим размером* детали, который принимают к расчету припусков на этапе ТПП. Поверхность поковки штампованной, соответствующая рассматриваемой поверхности детали, имеет размер $d_{\text{заг}} = 86,6^{+1,3}_{-0,7}$ мм. Этот размер найден по ГОСТ 7505-89. Примем, что поковка изготовлена штамповкой на горизонтально-ковочной машине [7]. Предварительно установлен маршрут обработки этой поверхности: 1) точение предварительное; 2) точение под шлифование; 3) шлифование предварительное; 4) шлифование окончательное.

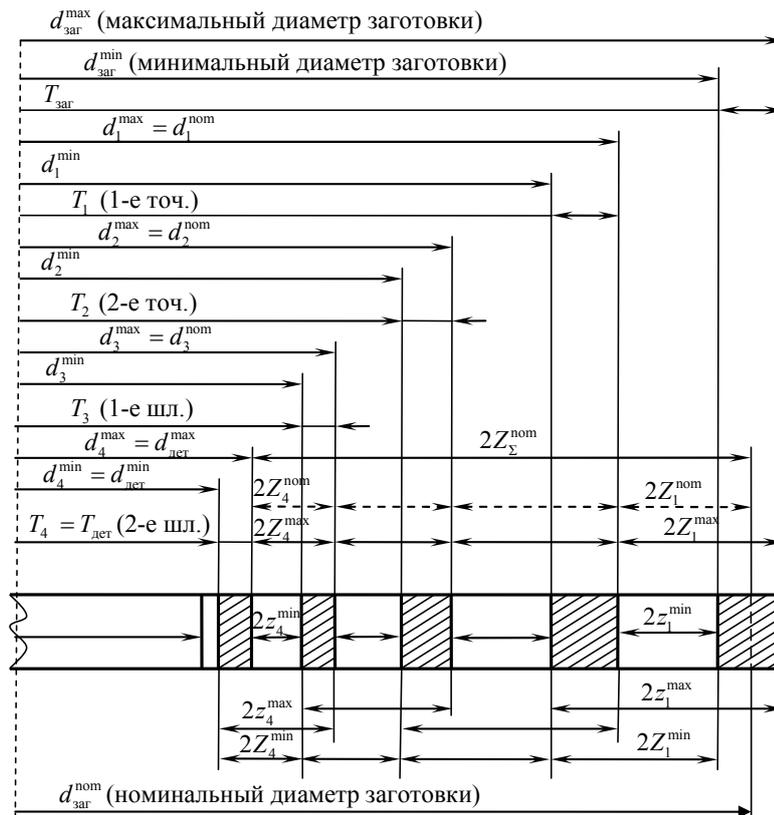


Схема графического расположения полей припусков, допусков, предельных и номинальных промежуточных, а также исходных размеров заготовки: $2Z_4^{\min} \dots 2Z_1^{\min}$ и $2Z_4^{\max} \dots 2Z_1^{\max}$ — минимальные и максимальные припуски для МАПР; $2z_4^{\min} \dots 2z_1^{\min}$ и $2z_4^{\max} \dots 2z_1^{\max}$ — минимальные и максимальные припуски для МППП; $2Z_4^{\text{ном}} \dots 2Z_1^{\text{ном}}$ — номинальные (табличные) припуски; $2Z_{\Sigma}^{\text{ном}}$ — номинальный суммарный припуск

Соотношение между минимальными и максимальными промежуточными припусками для МАПР и МППП имеют вид [7]

$$Z_{i\text{max}}^{\text{МАПР}} = Z_{i\text{min}}^{\text{МАПР}} + (T_{i-1} - T_i), \quad (1)$$

$$Z_{i\text{max}}^{\text{МППП}} = Z_{i\text{min}}^{\text{МППП}} + (T_{i-1} + T_i), \quad (2)$$

где $Z_{i\max}^{\text{МАПР}}$, $Z_{i\min}^{\text{МАПР}}$ — максимальное и минимальное значения припуска для i -й операции или i -го перехода для МАПР; T_{i-1}, T_i — предыдущий и последующий допуски на межоперационные (межпереходные) размеры заготовки; $Z_{i\max}^{\text{МППП}}$, $Z_{i\min}^{\text{МППП}}$ — максимальное и минимальное значения припуска для МППП.

В соответствии с расчетно-аналитическим методом проф. В.М. Кована при определении i -го промежуточного припуска (на i -ю технологическую операцию или i -й переход) указанные составляющие этого припуска следующие [7]: высота шероховатости поверхности $R_{z_{i-1}}$, глубина дефектного слоя T_{i-1} , пространственное отклонение ρ_{i-1} и погрешность установки ε_{yi} . Здесь индекс $i-1$ означает номер предыдущей технологической операции (перехода) и одновременно номер предыдущего промежуточного припуска. Таким образом, три составляющие от предыдущего перехода обработки ($R_{z_{i-1}}, T_{i-1}, \rho_{i-1}$) и одна составляющая (ε_{yi}) от текущего (выполняемого) перехода полностью определяют величину минимального промежуточного припуска ($Z_{i\min}$) на текущий (выполняемый) переход. Причем

$$2Z_{i\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2}). \quad (3)$$

Для случая МАПР (см. рисунок) установлены следующие минимальные, максимальные (табл. 1) и номинальные (табл. 2) расчетные припуски, найденные для случая четырех переходов для структуры припуска по уравнениям (1) и (3) [7].

Таблица 1

Расчетные значения промежуточных припусков и предельных размеров заготовки для МАПР

$d_{\text{дет}}^{\min} / d_{\text{дет}}^{\max}$	$2Z_4^{\min} / 2Z_4^{\max}$	$2Z_3^{\min} / 2Z_3^{\max}$	$2Z_2^{\min} / 2Z_2^{\max}$	$2Z_1^{\min} / 2Z_1^{\max}$	$d_{\text{зар}}^{\min} / d_{\text{зар}}^{\max}$
80,011/80,03	0,060/0,076	0,105/0,157	0,304/0,567	2,520/4,170	83,0/85,0

Таблица 2

Расчетные значения номинальных припусков и номинального размера заготовки для МАПР

$d_{\text{дет}}^{\max} = d_{\text{дет}}^{\text{исх}}$	$2Z_4^{\text{ном}}$	$2Z_3^{\text{ном}}$	$2Z_2^{\text{ном}}$	$2Z_1^{\text{ном}}$	$d_{\text{зар}}^{\text{ном}}$
80,030	0,076	0,157	0,567	4,170–1,300=2,87	83,7

Номинальные припуски для МАПР ($2Z_4^{\text{ном}}$, $2Z_3^{\text{ном}}$, $2Z_2^{\text{ном}}$) совпадают с их максимальными значениями, кроме значения $2Z_1^{\text{ном}}$, которое меньше максимального на величину верхнего отклонения допуска заготовки (см. таблицу 1)

$$d_{\text{зар}}^{\text{ном}} = d_{\text{дет}}^{\text{исх}} + \sum_{i=1}^4 2Z_i^{\text{ном}} = 80,03 + 0,076 + 0,157 + 0,567 + 2,87 = 83,7 \text{ мм},$$

т.е. $d_{\text{зар}} = 83,7_{-0,7}^{+1,3}$ мм.

Для случая МППП (см. рисунок) установлены следующие минимальные и максимальные (табл. 3), а также номинальные (табл. 4) расчетные припуски, найденные для тех же четырех переходов для структуры припуска по уравнениям (2) и (3).

Таблица 3

Расчетные значения промежуточных припусков и предельных размеров заготовки для МППП

$d_{\text{дет}}^{\min} / d_{\text{дет}}^{\max}$	$2z_4^{\min} / 2z_4^{\max}$	$2z_3^{\min} / 2z_3^{\max}$	$2z_2^{\min} / 2z_2^{\max}$	$2z_1^{\min} / 2z_1^{\max}$	$d_{\text{зар}}^{\min} / d_{\text{зар}}^{\max}$
80,011/80,030	0,060/0,114	0,105/0,227	0,304/0,741	2,520/4,870	83,5/85,5

Таблиця 4

Расчетные значения номинальных припусков и номинального размера заготовки для МППП

$d_{дет}^{max} = d_{дет}^{исх}$	$2z_4^{nom}$	$2z_3^{nom}$	$2z_2^{nom}$	$2z_1^{nom}$	$d_{заг}^{nom}$
80,030	0,06+0,035=0,095	0,105+0,087=0,192	0,304+0,35=0,654	2,52+0,7=3,22	84,2

Номинальный размер заготовки

$$d_{заг}^{nom} = d_{дет}^{исх} + \sum_{i=1}^4 2z_i^{nom} = 80,03 + 0,095 + 0,192 + 0,654 + 3,22 = 84,191 \approx 84,2 \text{ мм},$$

т.е. $d_{заг} = 84,2_{-0,7}^{+1,3}$ мм.

Рассмотрен расчетно-аналитический метод определения припусков для МАПР и МППП. Установлено, что при прочих равных условиях размеры исходной заготовки соответственно равны $83,7_{-0,7}^{+1,3}$ и $84,2_{-0,7}^{+1,3}$, т.е. диаметр исходной заготовки, найденный для МППП, на 0,6 % больше, чем соответствующий диаметр для МАПР. Недостатком расчетно-аналитического метода является необходимость учета табличных значений элементов припуска: $R_{z_{i-1}}$, T_{i-1} , ρ_{i-1} , ε_{y_i} , причем два последние элемента (ρ_{i-1} , ε_{y_i}) необходимо вычислять с учетом особенностей технологического процесса. Возникает необходимость сопоставить результаты расчетно-аналитическим метода определения припусков с опытно-статистическим (табличным), преимуществом которого является отсутствие необходимости определения отдельных элементов припуска, в том числе ρ_{i-1} и ε_{y_i} . В соответствии с опытно-статистическим (табличным) методом [3] величину номинального припуска (см. рисунок) определяют без расчета (табл. 5).

Таблиця 5

Расчетные значения номинальных табличных припусков и номинального размера заготовки

$d_{дет}^{max} = d_{дет}^{исх}$	$2z_4^{nom}$	$2z_3^{nom}$	$2z_2^{nom}$	$2z_1^{nom}$	$d_{заг}^{nom}$
80,030	0,06	0,1	0,35	3,4	84,0

Номинальный размер заготовки

$$d_{заг}^{nom} = d_{дет}^{исх} + \sum_{i=1}^4 2z_i^{nom} = 80,03 + 0,06 + 0,1 + 0,35 + 3,4 = 83,94 \approx 84,0 \text{ мм},$$

т.е. $d_{заг} = 84_{-0,7}^{+1,3}$ мм.

Общие минимальные, максимальные и номинальные припуски (табл. 6) равны сумме соответствующих припусков по отдельным технологическим переходам (операциям).

Таблиця 6

Предельные и номинальные значения общих припусков

Общий припуск для МАПР, мм		
минимальный	максимальный	номинальный
2,989	4,970	3,670
Общий припуск для МППП, мм		
минимальный	максимальный	номинальный
2,989	5,952	4,161
Общий номинальный припуск (табличный), мм		
—	—	номинальный
—	—	3,91

Как следует из анализа данных таблицы 6 общие припуски (минимальный, максимальный и номинальный) для МППП больше одноименных значений припусков для МАПР. Например, относительное превышение по максимальным и номинальным припускам составляет соответственно

$$\frac{5,952 - 4,970}{4,970} 100\% = 19,8\% \quad \text{и} \quad \frac{4,161 - 3,670}{3,670} 100\% = 13,4\% .$$

Таким образом, общие максимальный и номинальный припуски, определенные для метода МППП, превышают одноименные припуски для МАПР на 19,8 % и 13,4 %, соответственно.

Номинальные припуски, найденные расчетом для МАПР и МППП, а также табличным методом, соотносятся как 3,670:3,910:4,161 (см. таблицу 6) или как 1,000:1,065:1,134. Видно, что величина общего номинального припуска, определенного по таблицам (3,910 мм), занимает среднее положение по отношению к одноименным припускам для МАПР (3,670 мм) и для МППП (4,161 мм).

Кроме того, найденные для одних и тех же условий, но разными методами, расчетные значения диаметра заготовки для МАПР ($83,7^{+1,3}_{-0,7}$), табличным методом ($84^{+1,3}_{-0,7}$), для МППП ($84,2^{+1,3}_{-0,7}$) и по ГОСТ 7505-89 ($86,6^{+1,3}_{-0,7}$) отличаются. Минимальное значение расчетного диаметра заготовки имеет место для МАПР ($83,7^{+1,3}_{-0,7}$), а максимальное — при расчете по ГОСТ 7505-89 ($86,6^{+1,3}_{-0,7}$). Метод использования табличных номинальных припусков ($84^{+1,3}_{-0,7}$) при тех же условиях дает средний результат между МАПР ($83,7^{+1,3}_{-0,7}$) и МППП ($84,2^{+1,3}_{-0,7}$).

Выводы

1. Расчетные значения общих максимальных и номинальных припусков, найденные для структуры припусков МППП, превышают соответствующие значения общих припусков для МАПР на 19,8 % и 13,4 %, соответственно. При этом, численные значения общих минимальных припусков для указанных случаев приняты одинаковыми (2,989 мм). Другими словами, структура расположения допусков на промежуточные размеры заготовки и припусков для МАПР позволяет получить существенную экономию обрабатываемого материала при обработке на станках, настроенных на размер.

2. Различие в результатах расчета диаметра исходной заготовки для МАПР ($\varnothing 83,7^{+1,3}_{-0,7}$) и для МППП ($\varnothing 84,2^{+1,3}_{-0,7}$) незначительно и составляет 0,6 %.

3. На этапе ТПП, независимо от специфики расположения поля допуска относительно номинального размера детали, рекомендуется назначить *технологический расчетный размер детали*, который при обработке наружных и внутренних поверхностей вращения совпадает с максимальным и минимальным ее размером по чертежу. Этот размер будет *технологическим номинальным размером детали*. Прибавление номинальных табличных припусков позволяет получить промежуточные номинальные размеры заготовки по всем технологическим переходам, в том числе и номинальный размер исходной заготовки (поковки, проката, отливки).

4. Если в качестве технологического номинального размера детали принять ее номинальный размер по чертежу (который может оказаться больше или меньше соответствующих предельных значений размеров), то это отразится только на величине ближайшего к детали номинального промежуточного припуска. Он будет отличаться от определенного номинала, для наружных и внутренних поверхностей вращения на величину соответственно верхнего и нижнего отклонения поля допуска по чертежу. Все последующие промежуточные номинальные припуски, в направлении от детали к исходной заготовке, не изменятся.

5. По трудоемкости расчета наиболее рациональным следует признать метод табличного определения промежуточных номинальных припусков [3, 5] и промежуточных номинальных размеров заготовки. Получаемые этим методом результаты определения припусков занимают промежуточное положение между соответствующими данными, полученными для МАПР и МППП. При табличном методе нет необходимости определять составляющие элементы минимального припуска. Метод табличных припусков можно применять в учебных целях, а

также на этапе технологической подготовки производства в технологических службах машиностроительных предприятий.

Литература

1. Основы технологии машиностроения: учеб. для вузов / В.М. Кован, В.С. Корсаков, А.Г. Косилова и др.; под ред. В.С. Корсакова. — Изд. 3-е, доп. и перераб. — М.: Машиностроение, 1977. — 416 с. .
2. Обработка металлов резанием: справ. технолога / Г.А. Монахов, В.Ф. Жданович, Э.М. Радинский и др.; под ред. Г.А. Монахова. — Изд. 3-е. — М.: Машиностроение, 1974. — 600 с.
3. Харламов, Г.А. Припуски на механическую обработку: справочник / Г.А. Харламов, А.С. Тарапанов. — М.: Машиностроение, 2006. — 256 с.
4. Технология машиностроения: сборник задач и упражнений: учеб. пособие / В.И. Аверченков, О.А. Горленко, В.Б. Ильицкий и др.; под общ. ред. В.И. Аверченкова и Е.А. Польского. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ИНФРА-М, 2010. — 288 с.
5. Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении: учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов / Я.М. Радкевич, В.А. Тимирязев, А.Г. Схиртладзе, М.С. Островский; под ред. В.А. Тимирязева. — М.: Высш. шк., 2004. — 272 с.
6. Данилевский, В.В. Лабораторные работы и практические занятия по технологии машиностроения: учеб. пособие для машиностр. спец. техникумов / В.В. Данилевский, Ю.И. Гельфгат. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1988. — 222 с.
7. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Ф.В. Новиков, А.В. Якимов, А.А. Якимов и др.; под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В 10 т. — Т. 9: Проектирование технологических процессов в машиностроении. — Одесса: ОНПУ, 2005. — 584 с.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Усов А.В.

Поступила в редакцию 3 февраля 2011 г.