

КОНЕЧНЫЕ ФАКТОРИЗУЕМЫЕ
ГРУППЫ С РАЗРЕШИМЫМИ
 \mathbb{P}^2 -СУБНОРМАЛЬНЫМИ ПОДГРУППАМИ

В. Н. Княгина, В. С. Монахов

Аннотация. Подгруппа H конечной группы G называется \mathbb{P}^2 -субнормальной, если существует цепочка подгрупп $H = H_0 \leq H_1 \leq \dots \leq H_n = G$, в которой $|H_{i+1} : H_i|$ делят квадраты простых чисел для всех i . Исследуется конечная группа $G = AB$ при условии, что подгруппы A и B разрешимы и индексы подгрупп в цепочках, соединяющих A и B с группой, делят квадраты простых чисел. В частности, без использования классификации конечных простых групп доказывается, что такая группа разрешима.

Ключевые слова: конечная группа, разрешимая группа, произведение подгрупп, индекс подгруппы.

В. Д. Мазурову в связи с его 70-летием

Введение

Рассматриваются только конечные группы. *Сверхразрешимой* называется группа, у которой факторы главного ряда имеют простые порядки. Согласно теореме Хупперта [1, VI.9.5] группа сверхразрешима тогда и только тогда, когда каждая ее максимальная подгруппа имеет простой индекс. Доказательство этой теоремы использует результат Холла [1, VI.9.4] о разрешимости группы, у которой индексы максимальных подгрупп являются простыми числами или квадратами простых чисел. Такие группы изучались в [2, 3].

В настоящей заметке данная тематика развивается в рамках факторизуемых групп на основе следующего определения.

Пусть \mathbb{N} и \mathbb{P} — множества всех натуральных и всех простых чисел соответственно. Для фиксированного натурального числа t положим

$$\mathbb{P}^t = \{p^k \mid p \in \mathbb{P}, k \in \{0\} \cup \mathbb{N}, k \leq t\}.$$

Подгруппа H называется \mathbb{P}^t -субнормальной подгруппой группы G , если существует цепочка подгрупп

$$H = H_0 \subseteq H_1 \subseteq \dots \subseteq H_n = G \tag{1}$$

такая, что $|H_i : H_{i-1}| \in \mathbb{P}^t$ для всех i , при этом используется обозначение $H \mathbb{P}^t \text{ sn } G$. Цепочку (1) будем называть \mathbb{P}^t -субнормальной цепью для подгруппы H . При $t = 1$ получается понятие \mathbb{P} -субнормальной подгруппы, введенное в [4].

Без использования классификации конечных простых групп доказываются следующие две теоремы.

Теорема 1. Пусть A и B — \mathbb{P}^2 -субнормальные подгруппы группы G и $G = AB$. Тогда справедливы следующие утверждения.

1. Если A и B разрешимы, то G разрешима.
2. Пусть r — наибольший простой делитель порядка группы G , подгруппы A и B разрешимы и r -замкнуты. Если $r > 3$, то G r -замкнута.
3. Если A и B сверхразрешимы и $H = \{2, 3\}'$ -холлова подгруппа группы G , то H обладает силовской башней сверхразрешимого типа и нормальна в G .

Теорема 2. Пусть A и B — \mathbb{P} -субнормальные разрешимые подгруппы группы G и $G = AB$. Пусть r — наибольший простой делитель порядка группы G . Если подгруппы A и B r -разложимы, то G r -замкнута и r -сверхразрешима.

ПРИМЕР 1. Простая группа $PSL(2, 7) = S_4([Z_7|Z_3])$ является произведением разрешимых подгрупп S_4 и $[Z_7|Z_3]$, где S_4 — симметрическая группа степени 4, а $[Z_7|Z_3]$ — нециклическая группа порядка 21. Так как

$$|PSL(2, 7) : S_4| = 7, \quad |PSL(2, 7) : [Z_7|Z_3]| = 8,$$

подгруппа S_4 \mathbb{P} -субнормальна, а $[Z_7|Z_3]$ \mathbb{P}^3 -субнормальна. Поэтому в формулировке теоремы 1 условие \mathbb{P}^2 -субнормальности в п. 1 нельзя заменить условием \mathbb{P}^3 -субнормальности.

ПРИМЕР 2. В формулировке теоремы 1 требование $r > 3$ убрать нельзя. Примером служит симметрическая группа степени 4, которая является произведением \mathbb{P} -субнормальной подгруппы порядка 8 и \mathbb{P}^2 -субнормальной подгруппы порядка 3.

ПРИМЕР 3. В формулировке теоремы 2 r -разложимость подгрупп A и B нельзя ослабить до r -замкнутости. Примером служит полупрямое произведение $G = [E_{7^2}]S_3$, в котором симметрическая группа S_3 неприводимо действует на элементарной абелевой группе E_{7^2} порядка 49. Группа $G = [E_{7^2}]S_3$ является минимальной несверхразрешимой группой и обладает факторизацией $G = ([E_{7^2}|Z_3])([E_{7^2}|Z_2])$. Подгруппы $[E_{7^2}|Z_3]$ и $[E_{7^2}|Z_2]$ сверхразрешимы, 7-замкнуты и \mathbb{P} -субнормальны в G , поскольку их индексы — простые числа. Но группа G не 7-сверхразрешима.

1. Вспомогательные результаты

Используются стандартные обозначения, которые соответствуют [1]. Через $\pi(G)$ и $\pi(G : H)$ обозначается множество всех простых делителей порядка группы G и множество всех простых делителей индекса подгруппы H в группе G , $H^G = \langle H^g \mid g \in G \rangle$ — подгруппа, порожденная всеми сопряженными с H подгруппами в группе G . Запись $G = [A]B$ означает полупрямое произведение подгрупп A и B с нормальной подгруппой A . Подгруппы Фраттини и Фиттинга обозначаются через $\Phi(G)$ и $F(G)$ соответственно, а $S(G)$ и $O_p(G)$ — наибольшая нормальная разрешимая подгруппа группы G и наибольшая нормальная p -подгруппа группы G соответственно.

Если $p \in \pi(G)$ и группа G содержит нормальную силовскую p -подгруппу, то G называют p -замкнутой. Если в p -замкнутой группе G имеется нормальная p' -холлова подгруппа, то группу G называют p -разложимой. Группа, у которой факторы главного ряда либо имеют порядок p , либо являются p' -группами, называется p -сверхразрешимой.

Пусть G — группа и

$$|G| = p_1^{a_1} p_2^{a_2} \dots p_k^{a_k}, \quad p_1 > p_2 > \dots > p_k, \quad a_i \in \mathbb{N}.$$

Говорят, что группа G обладает силовской башней сверхразрешимого типа, если существует цепочка подгрупп

$$1 = G_0 \subset G_1 \subset G_2 \subset \dots \subset G_{k-1} \subset G_k = G$$

такая, что подгруппа G_i нормальна в группе G и фактор-группа G_i/G_{i-1} изоморфна силовской p_i -подгруппе из G для всех i . Такие группы называют также *дисперсивными по Оре*.

Если H — подгруппа группы G , то

$$\text{Core}_G H = \bigcap_{x \in G} x^{-1} H x$$

— ее ядро, которое является наибольшей нормальной в G подгруппой, содержащейся в H . Группу, содержащую максимальную подгруппу с единичным ядром, называют *примитивной*. Общие свойства примитивных групп описаны в [1, гл. III].

Легко проверяется следующее утверждение.

Лемма 1. Пусть \mathfrak{F} — насыщенная формация, а G — разрешимая группа, не принадлежащая \mathfrak{F} . Если $G/N \in \mathfrak{F}$ для каждой нормальной в G неединичной подгруппы N , то G — примитивная группа.

Неоднократно будет использоваться следующее известное утверждение.

Лемма 2. Пусть A и B — подгруппы группы G такие, что $G = AB$. Если $A \cap B$ содержит подгруппу D , нормальную в A , то $D^G \subseteq \text{Core}_G B$.

Лемма 3. Пусть p — простое число и P — p -подгруппа группы G . Если $|G : N_G(P)| = p^a$, где $N_G(P)$ — нормализатор P в G , то $P \subseteq O_p(G)$.

Доказательство. Пусть G_p — силовская p -подгруппа из группы G , содержащая подгруппу P . Тогда $G = N_G(P)G_p$ и $P^G \subseteq G_p$ по лемме 2, поэтому $P \subseteq O_p(G)$.

Лемма 4. Пусть A и B — подгруппы группы G такие, что $G = AB$. Если $\text{Core}_G A = 1$, то $\pi(F(B)) \subseteq \pi(G : A)$.

Доказательство. Допустим противное, т. е. $O_p(B) \neq 1$ для простого числа p , не делящего индекс A в G . Согласно [1, VI.4.7] существуют силовские p -подгруппы A_p и B_p из A и B соответственно такие, что $A_p B_p = B_p A_p$ и $A_p B_p$ будет силовской p -подгруппой группы G . Поскольку p не делит индекс A в G , то A_p силовская в G и $O_p(B) \subseteq A_p$. По лемме 2 $O_p(B)^G \subseteq \text{Core}_G A = 1$; противоречие. Лемма доказана.

Лемма 5. Пусть A и B — подгруппы группы G такие, что $G = AB$. Пусть $|G : A| = p$ — простое число, а индекс B в G нечетен. Если B разрешима, то силовская 2-подгруппа в $G/\text{Core}_G A$ циклическая. В частности, если A и B разрешимы, то и G разрешима.

Доказательство. Предположим, что $\text{Core}_G A = 1$. Согласно [1, I.6.2] представление группы G перестановками на множестве правых смежных классов по подгруппе A будет точным степени p , где $p = |G : A|$. По [1, V.21.1] силовская p -подгруппа P из G имеет порядок p , а $N_G(P) = [P]H$ — группа

Фробениуса с ядром P и циклическим дополнением H . Так как B разрешима, то $F(B) \neq 1$ и по лемме 4 $F(B)$ — p -группа. Поэтому $B \subseteq N_G(P)$ и силовская 2-подгруппа B_2 из B циклическая. Но $|G : B|$ нечетен, значит, B_2 силовская в G и G разрешима.

Если $\text{Core}_G A \neq 1$, то к группе $G/\text{Core}_G A$ применима индукция. Лемма доказана.

Следующие две леммы известны в случае, когда $t = 1$ [5, 3.1, 4.1].

Лемма 6. Пусть H — подгруппа группы G , N — нормальная в G подгруппа и $t \in \mathbb{N}$. Тогда справедливы следующие утверждения:

- 1) если $H \mathbb{P}^t \text{sn } G$, то $(H \cap N) \mathbb{P}^t \text{sn } N$ и $HN/N \mathbb{P}^t \text{sn } G/N$;
- 2) если $N \subseteq H$ и $H/N \mathbb{P}^t \text{sn } G/N$, то $H \mathbb{P}^t \text{sn } G$;
- 3) если $H \leq K \leq G$, $H \mathbb{P}^t \text{sn } K$, $K \mathbb{P}^t \text{sn } G$, то $H \mathbb{P}^t \text{sn } G$;
- 4) если $H \mathbb{P}^t \text{sn } G$, то $H^g \mathbb{P}^t \text{sn } G$ для любого $g \in G$.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО. 1. Пусть (1) — \mathbb{P}^t -субнормальная цепь для подгруппы H . Рассмотрим цепочку подгрупп для подгруппы $(H \cap N)$:

$$H \cap N = (H_0 \cap N) \subseteq (H_1 \cap N) \subseteq \dots \subseteq (H_n \cap N) = N.$$

Так как

$$|H_i \cap N : H_{i-1} \cap N| = |(H_i \cap N)H_{i-1} : H_{i-1}|,$$

а по лемме об индексах

$$|H_i : H_{i-1}| = |H_i : (H_i \cap N)H_{i-1}| |(H_i \cap N)H_{i-1} : H_{i-1}|,$$

то $|H_i \cap N : H_{i-1} \cap N|$ делит p_i^t для некоторого $p_i \in \mathbb{P}$. Поэтому $H \cap N \mathbb{P}^t \text{sn } N$.

Рассмотрим в фактор-группе G/N цепочку подгрупп для подгруппы HN/N :

$$HN/N = H_0N/N \subseteq H_1N/N \subseteq \dots \subseteq H_nN/N = G/N.$$

Поскольку

$$|H_iN/N : H_{i-1}N/N| = |H_iN : H_{i-1}N| = \frac{|H_i : H_{i-1}|}{|H_i \cap N : H_{i-1} \cap N|},$$

то $HN/N \mathbb{P}^t \text{sn } G/N$.

2. Если

$$HN/N = H_0N/N \subseteq H_1N/N \subseteq \dots \subseteq H_nN/N = G/N$$

— \mathbb{P}^t -субнормальная цепь для H/N , то

$$H = H_0 \subseteq H_1 \subseteq \dots \subseteq H_n = G$$

будет \mathbb{P}^t -субнормальной цепочкой для подгруппы H .

Утверждения 3, 4 очевидны.

Лемма 7. Пусть A и B — \mathbb{P}^t -субнормальные подгруппы группы G и $G = AB$. Пусть существует цепочка

$$A = A_0 \subset A_1 \subset \dots \subset A_{n-1} \subset A_n = G$$

такая, что $|A_i : A_{i-1}| \in \mathbb{P}^t$ для всех i . Тогда пересечение $A_k \cap B$ является \mathbb{P}^t -субнормальной подгруппой в A_k для всех k .

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО. По условию существует цепочка

$$B = B_0 \subset B_1 \subset \dots \subset B_{m-1} \subset B_m = G$$

такая, что $|B_j : B_{j-1}| \in \mathbb{P}^t$ для всех j .

Зафиксируем подгруппу A_k . По тождеству Дедекинда

$$A_k = A(B \cap A_k), \quad A_k \cap B_j = (A \cap B_j)(B \cap A_k)$$

для всех j . Ясно, что $A \cap B_j \cap B \cap A_k = A \cap B$ для всех j . Поэтому

$$\begin{aligned} |A_k \cap B_j : A_k \cap B_{j-1}| &= \frac{|A_k \cap B_j|}{|A_k \cap B_{j-1}|} \\ &= \frac{|A \cap B_j| |B \cap A_k|}{|A \cap B_j \cap B \cap A_k|} : \frac{|A \cap B_{j-1}| |B \cap A_k|}{|A \cap B_{j-1} \cap B \cap A_k|} = |A \cap B_j : A \cap B_{j-1}|. \end{aligned}$$

Так как $G = AB$, то $B_j = (A \cap B_j)B$ для любого j . Поэтому

$$|B_j| = \frac{|A \cap B_j| |B|}{|A \cap B|}$$

для любого j , значит,

$$|B_j : B_{j-1}| = |A \cap B_j : A \cap B_{j-1}| \in \mathbb{P}^t.$$

Таким образом, $|A_k \cap B_j : A_k \cap B_{j-1}| \in \mathbb{P}^t$ для любого j . Это означает, что $A_k \cap B = A_k \cap B_0$ \mathbb{P}^t -субнормальна в A_k . Лемма доказана.

Лемма 8. Пусть p — наибольший простой делитель порядка группы G и A — некоторая p -подгруппа из G . Если A \mathbb{P} -субнормальна в G , то A субнормальна в G .

Доказательство. Пусть $|A| = p^\alpha$. Поскольку A является \mathbb{P} -субнормальной в G , существует цепочка подгрупп

$$A = A_0 \subset A_1 \subset \dots \subset A_{t-1} \subset A_t = G, \quad |A_i : A_{i-1}| \in \mathbb{P}, \quad 1 \leq i \leq t.$$

Так как $|A_1 : A_0| \in \mathbb{P}$, то $|A_1| = p^{1+\alpha}$ или $|A_1| = p^\alpha q$, $p \neq q$. Если $|A_1| = p^{1+\alpha}$, то A нормальна в A_1 . Если $|A_1| = p^\alpha q$, то $p > q$ и опять A нормальна в A_1 . Пусть уже известно, что A субнормальна в A_j . Тогда $A \subseteq O_p(A_j)$. Поскольку $|A_{j+1} : A_j| \in \mathbb{P}$, то $|A_{j+1}| = p|A_j|$ или $|A_{j+1}| = q|A_j|$, $p \neq q$. Если $|A_{j+1}| = p|A_j|$, то $O_p(A_j) \subseteq O_p(A_{j+1})$ по лемме 3 и A субнормальна в A_{j+1} . Если $|A_{j+1}| = q|A_j|$, $p \neq q$, то $p > q$. Рассматривая представление группы A_{j+1} перестановками на множестве правых смежных классов по подгруппе A_j , получаем согласно [1, 1.6.2], что $A_{j+1}/\text{Core}_{A_{j+1}} A_j$ изоморфна подгруппе симметрической группы S_q и силовская p -подгруппа из A_{j+1} содержится в подгруппе $\text{Core}_{A_{j+1}} A_j$. Поскольку A субнормальна в A_j , то A субнормальна в $\text{Core}_{A_{j+1}} A_j$, а так как $\text{Core}_{A_{j+1}} A_j$ нормальна в A_{j+1} , то A субнормальна в A_{j+1} . Итак, A субнормальна в A_i для любого i , значит, A субнормальна в G . Лемма доказана.

Лемма 9 [6, 7.2.5]. Если A и B — подгруппы группы G такие, что $AB^x = B^x A$ для всех $x \in G$, то подгруппа $A^B \cap B^A$ субнормальна в G .

2. Доказательство теоремы 1

1. Пусть A и B — \mathbb{P}^2 -субнормальные разрешимые подгруппы группы G и $G = AB$. Докажем, что группа G разрешима. Предположим, что утверждение неверно, и пусть группа G — контрпример минимального порядка. В силу леммы 6 условия теоремы наследуют все фактор-группы группы G , поэтому с учетом леммы 2 можно считать, что

(1) $S(G) = \text{Core}_G A = \text{Core}_G B = \text{Core}_A(A \cap B) = \text{Core}_B(A \cap B) = 1$.

(2) Подгруппы A и B максимальны в G , $|G : A| = p$ или p^2 , $|G : B| = q$ или q^2 , p и q — простые числа.

По условию существуют цепочки

$$A = A_0 \subset A_1 \subset \dots \subset A_n = G, \quad |A_i : A_{i-1}| \in \mathbb{P}^2, \quad i = 1, \dots, n;$$

$$B = B_0 \subset B_1 \subset \dots \subset B_m = G, \quad |B_j : B_{j-1}| \in \mathbb{P}^2, \quad j = 1, \dots, m.$$

По тождеству Дедекинда $A_{n-1} = A(A_{n-1} \cap B)$, а по лемме 7 подгруппа $A_{n-1} \cap B$ будет \mathbb{P}^2 -субнормальной в A_{n-1} . Так как подгруппа A \mathbb{P}^2 -субнормальна в A_{n-1} и $|A_{n-1}| < |G|$, по индукции A_{n-1} разрешима и $|G : A_{n-1}| \in \mathbb{P}^2$. Аналогично по индукции B_{m-1} разрешима и $|G : B_{m-1}| \in \mathbb{P}^2$. Ясно, что $G = A_{n-1}B_{m-1}$ и $|G : A_{n-1}|$ равно p или p^2 , $p \in \mathbb{P}$, $|G : B_{m-1}|$ равно q или q^2 , $q \in \mathbb{P}$. Поэтому без ущерба для доказательства можно считать подгруппы A и B максимальными в группе G . Из определения \mathbb{P}^2 -субнормальности следует, что $|G : A|$ равно p или p^2 , $|G : B|$ равно q или q^2 , p и q — простые числа.

(3) $p > q > 2$, $F(A)$ — q -группа, $F(B)$ — p -группа, $|G : A| = p^2$, $|G : B| = q^2$.

Пусть для определенности $p \geq q$. Так как подгруппа B разрешима и $|G : B|$ равно q или q^2 , то $q > 2$. Предположим, что $p = q$. Тогда $|G| = p^a m$, p не делит m и m делит $|A \cap B|$. Из леммы 2 заключаем, что $O_p(A) = O_p(B) = 1$. Поскольку подгруппы A и B разрешимы, то $O_{p'}(A) \neq 1$, а так как $O_{p'}(A) \subseteq B$, опять по лемме 2 $S(G) \neq 1$; противоречие. Поэтому $p > q > 2$. Поскольку $\text{Core}_G A = \text{Core}_G B = 1$, то $F(A)$ — q -группа, $F(B)$ — p -группа по лемме 4. Из леммы 5 следует, что $|G : A| = p^2$, $|G : B| = q^2$.

(4) $F(B)$ не является силовской p -подгруппой группы G , и p делит порядок $A \cap B$.

Из (3) следует, что силовская p -подгруппа из B является силовской в группе G . Предположим, что $F(B)$ силовская в G . Тогда $N_G(F(B)) = B$ и $q^2 \equiv 1 \pmod{p}$ по теореме Силова. Это возможно лишь при $p = 3$ и $q = 2$; противоречие. Итак, $F(B)$ не является силовской подгруппой в G , в частности, p делит $|B : F(B)|$. Если p не делит порядок $A \cap B$, то

$$F(B)(A \cap B) = [F(B)](A \cap B) \neq B, \quad p^2 = |G : A| = |B : A \cap B|,$$

поэтому $|F(B)| = p$. Поскольку $C_B(F(B)) \subseteq F(B)$, то $A \cap B$ циклическая порядка, делящего $p - 1$. В частности, силовская 2-подгруппа в G циклическая; противоречие. Следовательно, p делит порядок $A \cap B$.

(5) Подгруппа $A \cap B$ не является максимальной подгруппой в A .

Допустим, что $A \cap B$ максимальна в A . Так как $\text{Core}_A(A \cap B) = 1$ по лемме 2, согласно [1, I.6.2] представление A перестановками на множестве правых смежных классов по $A \cap B$ будет точным степени q^2 и A будет примитивной группой с разрешимой нормальной q -подгруппой $F(A)$. По [1, II.3.2]

$$A = [F(A)](A \cap B), \quad F(A) = C_A(F(A)).$$

Поэтому $A \cap B$ изоморфна подгруппе из $\text{Aut } Q = GL(2, q)$ и $|A \cap B|$ делит

$$(q^2 - 1)(q^2 - q) = q(q - 1)^2(q + 1).$$

Так как p делит $|A \cap B|$, то p делит $q + 1$ и $p = 3$, $q = 2$; противоречие. Следовательно, $A \cap B$ не максимальна в A .

(6) Окончание доказательства.

Поскольку $\text{Core}_A(A \cap B) = 1$, согласно [1, I.6.2] представление группы A перестановками на множестве правых смежных классов по подгруппе $A \cap B$ точное степени q^2 . Поэтому A — транзитивная импримитивная группа перестановок. Все области импримитивности имеют длину q , и их q штук, поэтому $|A|$ делит $q!(q!)^{q^1}$ [1, II.1.2]. Так как $p > q$, то p не делит $|A|$, что противоречит (4). Утверждение 1 теоремы 1 доказано.

2. Пусть A и B — разрешимые \mathbb{P}^2 -субнормальные подгруппы группы G и $G = AB$. Предположим, что подгруппы A и B r -замкнуты, r — наибольший простой делитель порядка группы G , $r > 3$. Требуется доказать, что группа G r -замкнута. Для определенности будем считать, что r делит $|A|$. Пусть A_r и G_r — силовские r -подгруппы из A и G соответственно, причем $A_r \subseteq G_r$. По условию A_r нормальна в A .

Из утверждения 1 следует, что группа G разрешима. Условия теоремы наследуют все фактор-группы, поэтому применима индукция по числу $|G : A| + |G : B|$. Поскольку класс всех r -замкнутых групп является насыщенной формацией, по лемме 1 группа G примитивна и в G минимальная нормальная подгруппа N единственна, $N = C_G(N) = F(G)$, $\Phi(G) = 1$ и $G = [N]M$ для некоторой максимальной подгруппы M группы G . Пусть для определенности N является p -подгруппой.

Если $p = r$, то $N \subseteq G_r$ и по индукции G_r/N нормальна в G/N , поэтому G_r нормальна в G . В дальнейшем считаем, что $p < r$. Если $N \subseteq A$, то $1 \neq A_r \subseteq C_G(N) = N$; противоречие. Поэтому подгруппа N не содержится в A .

Предположим, что подгруппа A максимальна в группе G . Тогда $G = [N]A$ и A изоморфна подгруппе из группы автоморфизмов группы N . Из \mathbb{P}^2 -субнормальности A следует, что либо $|N| = p$, либо $|N| = p^2$. Если $|N| = p$, то A — циклическая группа порядка, делящего $p - 1$; противоречие с тем, что r делит порядок A и $p < r$. Если $|N| = p^2$, то A — подгруппа полной линейной группы $GL(2, p)$, порядок которой равен $p(p - 1)(p + 1)$; противоречие с тем, что $r > 3$. Значит, A не максимальна в G .

Из \mathbb{P}^2 -субнормальности подгруппы A следует, что существует цепочка

$$A = A_0 \subset A_1 \subset \dots \subset A_n = A, \quad |A_i : A_{i-1}| \in \mathbb{P}^2, \quad i = 1, \dots, n, \quad n \geq 2.$$

По тождеству Дедекинда $A_{n-1} = A(A_{n-1} \cap B)$, а по лемме 7 подгруппа $A_{n-1} \cap B$ будет \mathbb{P}^2 -субнормальной в A_{n-1} . Так как $G = AB = A_{n-1}B$, то

$$|G : B| = |A : A \cap B| = |A_{n-1} : A_{n-1} \cap B|.$$

Теперь $A_{n-1} = A(A_{n-1} \cap B)$, подгруппы A и $A_{n-1} \cap B$ \mathbb{P}^2 -субнормальны в A_{n-1} и

$$|A_{n-1} : A| + |A_{n-1} : A_{n-1} \cap B| < |G : A| + |G : B|.$$

По индукции A_{n-1} r -замкнута. Далее, $G = A_{n-1}B$, A_{n-1} и B — \mathbb{P}^2 -субнормальные r -замкнутые подгруппы группы G и

$$|G : A_{n-1}| + |G : B| < |G : A| + |G : B|.$$

Поэтому к группе $G = A_{n-1}B$ с подгруппами A_{n-1} и B применима индукция. Утверждение 2 доказано.

3. Каждая сверхразрешимая группа обладает силовской башней сверхразрешимого типа. Из утверждения 2 по индукции группа $G = AB$ со сверхразрешимыми \mathbb{P}^2 -субнормальными подгруппами A и B будет обладать нормальной $\{2, 3\}'$ -холловой подгруппой H , а подгруппа H — силовской башней сверхразрешимого типа. Теорема 1 доказана полностью.

Следствие 1.1 [7, теорема 2]. Пусть A и B — разрешимые подгруппы конечной группы G и $G = AB$. Если $|G : A|$ равно p или p^2 , $|G : B|$ равно q или q^2 , где p и q — простые числа, не обязательно различные, то G разрешима.

Следствие 1.2 [5, теорема 4.2]. Пусть группа $G = AB$ — произведение разрешимых подгрупп A и B . Если A и B — \mathbb{P} -субнормальные подгруппы группы G , то G разрешима.

3. Доказательство теоремы 2

Пусть r — наибольший простой делитель порядка группы G , A и B — разрешимые \mathbb{P} -субнормальные r -разложимые подгруппы группы G и $G = AB$. Требуется доказать, что группа G r -замкнута и r -сверхразрешима. Ясно, что условия теоремы наследуют все фактор-группы группы G , поэтому применима индукция по порядку группы. Из [1, VI.4.7] следует, что $A_r B_r$ — силовская r -подгруппа группы G , где A_r и B_r — силовские r -подгруппы из A и B соответственно. Будем считать, что $A_r \neq 1$. Поскольку A разрешима, нормальная подгруппа A_r \mathbb{P} -субнормальна в A , поэтому она \mathbb{P} -субнормальна в G . Из леммы 8 получаем, что $A_r \subseteq O_r(G)$. Аналогично $B_r \subseteq O_r(G)$. Поэтому $A_r B_r = O_r(G)$ и группа G r -замкнута. Остается проверить, что группа G r -сверхразрешима.

Из теоремы 1 следует, что группа G разрешима. Поскольку класс всех r -сверхразрешимых групп является насыщенной формацией, в силу леммы 1 группа G примитивна и $\Phi(G) = O_{r'}(G) = 1$. Из r -замкнутости и примитивности группы G следует, что

$$N = O_r(G) = A_r B_r = F(G) = C_G(N)$$

и N — единственная минимальная нормальная в G подгруппа. Пусть M — дополнение к подгруппе N в группе G . Тогда M — максимальная в G подгруппа и $\text{Core}_G M = 1$. Предположим, что $N = A_r$. Тогда $N = A$, B — максимальная подгруппа и $|N| = r$, поскольку B — \mathbb{P} -субнормальная подгруппа группы G . Но теперь группа G r -сверхразрешима. Поэтому $A_r \neq N$ и аналогично $N \neq B_r$. Если $A_r \cap B_r \neq 1$, то $C_G(A_r \cap B_r) \supseteq \langle A, B \rangle = G$, а это противоречит тому, что N — минимальная нормальная подгруппа. Тем самым $A_r \cap B_r = 1$.

Так как A и B r -разложимы, то

$$A = A_r \times A_{r'}, \quad B = B_r \times B_{r'}.$$

Если $A_{r'} = 1$, то A_r нормальна в G ; противоречие. Поэтому $A_{r'} \neq 1 \neq B_{r'}$.

Пусть $g = ab \in G$ — произвольный элемент из группы, $a \in A$, $b \in B$. Тогда

$$A_{r'}^g B_{r'} = A_{r'}^b B_{r'} = B_{r'} A_{r'}^b = B_{r'} A_{r'}^g.$$

Применяя лемму 9 к подгруппам $A_{r'}$ и $B_{r'}$, получаем, что r' -подгруппа $A_{r'}^{B_{r'}} \cap B_{r'}^{A_{r'}}$ субнормальна в G . Поскольку $O_{r'}(G) = 1$, то $A_{r'}^{B_{r'}} \cap B_{r'}^{A_{r'}} = 1$.

Так как $A_{r'}^{B_{r'}}$ нормальна, $A_{r'} B_{r'}$ и $B_{r'}^{A_{r'}}$ нормальна в $A_{r'} B_{r'}$, то

$$[A_{r'}, B_{r'}] \subseteq [A_{r'}^{B_{r'}}, B_{r'}^{A_{r'}}] \subseteq A_{r'}^{B_{r'}} \cap B_{r'}^{A_{r'}} = 1.$$

Таким образом, $G \neq N_G(A_{r'}) \supseteq \langle A_r, B_{r'} \rangle$, и $|G : N_G(A_{r'})|$ делит $|B_r|$. Но теперь $M \subseteq N_G(A_{r'})^x$ для некоторого $x \in G$; противоречие. Теорема 2 доказана.

Следствие 2.1 [8, теорема 2]. Пусть A и B — \mathbb{P} -субнормальные нильпотентные подгруппы группы G . Если $G = AB$, то G сверхразрешима.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО. По условию подгруппы A и B p -разложимы для всех $p \in \pi(G)$. Из теоремы 2 следует, что группа G обладает силовской башней сверхразрешимого типа и p -сверхразрешима для каждого $p \in \pi(G)$. Поэтому группа G сверхразрешима.

ПРИМЕР 4. Группа, факторизуемая \mathbb{P} -субнормальными сверхразрешимыми подгруппами, не обязана быть сверхразрешимой. Подтверждением служит группа $G = [E_{72}]S_3$ из примера 3.

ПРИМЕР 5. Группа, факторизуемая нильпотентными \mathbb{P}^2 -субнормальными подгруппами, может не обладать силовской башней сверхразрешимого типа, а значит, быть несверхразрешимой. Простейшим примером служит знакопеременная группа A_4 , которая является произведением \mathbb{P} -субнормальной подгруппы порядка 4 и \mathbb{P}^2 -субнормальной подгруппы порядка 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Huppert B. Endliche Gruppen. I. Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verl., 1967.
2. Монахов В. С., Грибовская Е. Е. О максимальных и силовских подгруппах конечных разрешимых групп // Мат. заметки. 2001. Т. 70, № 4. С. 603–612.
3. Монахов В. С., Селькин М. В., Грибовская Е. Е. О разрешимых нормальных подгруппах конечных групп // Укр. мат. журн. 2002. Т. 54, № 7. С. 950–960.
4. Васильев А. Ф., Васильева Т. И., Тютянов В. Н. О конечных группах сверхразрешимого типа // Сиб. мат. журн. 2010. Т. 51, № 6. С. 1270–1281.
5. Васильев А. Ф., Васильева Т. И., Тютянов В. Н. О произведениях \mathbb{P} -субнормальных подгрупп в конечных группах // Сиб. мат. журн. 2012. Т. 53, № 1. С. 59–67.
6. Lennox J. C., Stonehewer S. E. Subnormal subgroups of groups. Oxford: Clarendon Press, 1987.
7. Монахов В. С. Факторизуемые группы с разрешимыми факторами нечетных индексов // Исследование нормального и подгруппового строения конечных групп. Минск: Наука и техника, 1984. С. 105–111.
8. Васильев А. Ф. Новые свойства конечных динильпотентных групп // Весці НАН Беларусі. 2004. № 2. С. 29–33.

Статья поступила 31 октября 2012 г.

Княгина Виктория Николаевна
Гомельский инженерный институт МЧС Республики Беларусь,
ул. Речицкое шоссе, 35-А, Гомель 246023, Беларусь
knyagina@inbox.ru

Монахов Виктор Степанович
Гомельский гос. университет им. Ф. Скорины,
ул. Советская, 104, Гомель 246019, Беларусь
Victor.Monakhov@gmail.com